

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RIO
CORREDORES PARA ESTABLECER UN MECANISMO DE CONTROL EN EL
APROVECHAMIENTO DEL CAUDAL DISPONIBLE, MEDIANTE UN BALANCE
HIDRICO SUPERFICIAL E INTEGRADO

JORDAN GODINEZ BENAVIDES

CARTAGO, 2018

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RIO CORREDORES
PARA ESTABLECER UN MECANISMO DE CONTROL EN EL APROVECHAMIENTO DEL
CAUDAL DISPONIBLE, MEDIANTE UN BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL E INTEGRADO

Jordan Godínez Benavides

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Isabel Guzmán Arias

Asesor

Marvin Villalobos Araya

Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2018

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecerle a Dios, por dejarme levantarme cada día con las ganas de superarme y seguir luchando en los caminos de la vida, sin importar los obstáculos.

A la Virgen de los Ángeles, por interceder ante su hijo en los momentos más difíciles de mi carrera y darme la sabiduría para continuar en el camino.

Seguidamente a mis padres, Marianela Benavides Aguilar y Danilo Godínez Azofeifa, ya que, por su esfuerzo y apoyo, tuve la oportunidad y la dicha de concluir mis estudios en tan prestigiosa Universidad y convertirme en un Ingeniero Agrícola.

A mis hermanos, por el apoyo y ejemplo que me mostraron siempre en esta etapa de mi vida.

Por último, agradecer a mi novia, Ann Hillary Lewis Monge por estar junto a mí, estos cinco años de carrera motivándome y acompañándome en todo momento sin importar la situación, siendo una compañera en mi camino.

Contenido

1	Resumen.....	XI
2	Introducción.....	2
3	Objetivos.....	3
3.1	Objetivo General.....	3
3.2	Objetivo Específicos.....	3
4	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	4
4.1	Situación actual del recurso hídrico en Costa Rica.....	5
4.1.1	Oferta Hídrica.....	5
4.1.2	Demanda Hídrica.....	5
4.2	Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).....	6
4.2.1	Dirección de Agua.....	6
4.3	Entes Prestatarios de servicio de agua potable.....	7
4.3.1	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados(AyA).....	8
4.3.2	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS).....	8
4.3.3	Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (ESPH S.A).....	9
4.3.4	Municipalidades.....	9
4.4	Dotación de agua en Costa Rica.....	10
4.5	Sistema Hidrológico de la cuenca.....	11
4.6	Balance Hídrico y sus componentes.....	12
4.6.1	Balance Hídrico Superficial.....	13
4.6.2	Escurrimiento de la cuenca.....	13
4.6.3	Retornos de Agua.....	13
4.6.4	Escurrimiento a la salida de la cuenca.....	13
4.6.5	Usos del agua.....	13
4.6.6	Volumen aportado por manantiales.....	14
4.6.7	Extracciones por bombeo.....	14
4.7	Disponibilidad del Agua.....	15
4.8	Sistemas de información y Monitoreo de Cuencas.....	16
4.9	Sistemas de Información de Cuencas para una gobernabilidad adecuada.....	17
4.10	Manejo Integrado de Cuencas.....	18
5	Metodología.....	20

5.1	Descripción del área de estudio.....	21
5.2	Balance hídrico integrado.	23
5.2.1	Balance Hídrico superficial.	23
5.2.2	Balance Hídrico Integrado.....	32
5.3	Recolección de información de usuarios ilegales.	38
5.4	Usuarios ilegales en la parte alta de la subcuenca.....	40
5.4.1	Producción de cultivos Agrícolas.	41
5.4.2	Consumo humano.	41
5.4.3	Agropecuario.	41
5.5	Determinación del volumen de consumo aprovechado por los usuarios ilegales.	41
5.5.1	Cálculo de caudal requerido para riego.	42
5.5.2	Módulo de riego.....	42
5.5.3	Uso consuntivo	43
5.5.4	Dotaciones para usos agroindustriales y pecuarios.....	43
5.5.5	Dotaciones para uso doméstico.....	44
5.5.6	Cálculo del aporte generado por los canales en la parte baja de la subcuenca. ...	44
5.5.7	Aforo de los principales afluentes que desfogan al río Corredor.	46
5.5.8	Mecanismo de control y monitoreo de los aprovechamientos ilegales.	47
5.5.9	Situación social de la subcuenca.....	47
5.5.10	Proyección económica.	48
5.5.11	Herramientas utilizadas.....	48
6	Resultados y Discusión de Resultados.....	49
6.1	Escenario I , Balance hídrico superficial con información existente	50
6.1.1	Oferta hídrica para la subcuenca total.....	50
6.1.2	Demanda de la subcuenca.....	61
6.1.3	Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca.....	62
6.2	Escenario II , balance hídrico superficial contemplando usuarios ilegales.....	65
6.2.1	Oferta potencial de la subcuenca	66
6.2.2	Demanda de la subcuenca.....	67
6.2.3	Volumen de escurrimiento en la salida de la subcuenca	68
6.3	Escenario III , balance integral utilizando la información actual.....	71
6.3.1	Oferta potencial.....	71
6.3.2	Demanda hídrica en la subcuenca.....	74

6.3.3	Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca.....	78
6.4	Escenario IV, balance integral utilizando la información actual y usuarios ilegales.	80
6.4.1	Oferta potencial de la subcuenca	84
6.4.2	Demanda de la subcuenca.....	84
6.4.3	Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca.....	88
6.5	Condición de aporte superficial por parte de los canales al río Corredor	89
6.5.1	Oferta hídrica para todas las secciones	90
6.5.2	Demanda en la sección media y alta de la subcuenca.....	95
6.6	Mecanismo de control y monitoreo de los aprovechamientos ilegales.....	96
6.6.1	Procedimiento para atender los casos ilegales encontrados.....	97
6.7	Análisis del caudal aforado en la subcuenca del río Corredores.....	99
6.7.1	Aforo río Caño seco.....	99
6.7.2	Aforo río Corredores.....	99
6.7.3	Aforo río Abrojo	100
6.7.4	Aforo río Caracol.....	101
6.7.5	Aforo río Nuevo.....	102
6.7.6	Aforo río Caracol y Nuevo	103
6.7.7	Comparación de caudales reales y estimados.....	104
6.8	Disponibilidad hídrica en la subcuenca del río Corredor.....	105
6.8.1	Disponibilidad hídrica en la microcuenca parte alta.....	105
6.8.2	Disponibilidad hídrica en la microcuenca parte media.....	107
6.9	Análisis social de la subcuenca del río Corredores.....	110
6.9.1	Parte alta de la subcuenca	110
6.9.2	Situación parte media y alta de la subcuenca	115
6.10	Proyección económica del caudal disponible en la subcuenca del río Corredores 116	
6.11	Análisis de impacto Ambiental	121
7	CONCLUSIONES	124
8	RECOMENDACIONES.....	126
9	Anexos.....	128
10	Bibliografía	130

Índice de Figuras

Figura 1. Roles Institucionales Fuente: Política Nacional de Agua Potable en Costa Rica 2017-2030(2016).....	10
Figura 2. Área de estudio.....	22
Figura 3. Mapa de ubicación de posibles poblados con usuarios ilegales.....	40
Figura 4. Dotaciones para distintos usos.....	43
Figura 5. Dotaciones para uso doméstico.....	44
Figura 6. Tipos de suelo en la subcuenca, Atlas 2014.....	56
Figura 7. Distribución en porcentaje de la oferta potencial.....	74
Figura 8. Volumen consumo en porcentaje.....	77
Figura 9. Oferta vs demanda mensual, en hm ³	79
Figura 10. Usuarios ilegales en la parte alta de la subcuenca.....	81
Figura 11. Porcentajes de consumo, en hectómetros cúbicos.....	87
Figura 12. Microcuencas comprendidas en la subcuenca del río Corredor.....	90
Figura 13. Sección Transversal del cauce, río Caño Seco.....	99
Figura 14. Sección Transversal del cauce, río Corredores.....	100
Figura 15. Sección Transversal del cauce, río Abrojo.....	101
Figura 16. Sección Transversal del cauce, río Caracol.....	101
Figura 17. Sección Transversal del cauce, río Nuevo.....	102
Figura 18. Sección Transversal del cauce, río Nuevo y Caracol.....	103
Figura 19. Conocimiento sobre la existencia de la Dirección de Aguas.....	111
Figura 20. Conocimiento sobre la existencia de la Ley de Aguas.....	112
Figura 21. Interés sobre conocer la DA.....	113
Figura 22. Interés sobre situación hídrica en el país.....	113
Figura 23. Interés sobre situación hídrica en el país.....	114

Índice de cuadros

Cuadro 1. Caudal Facturado según uso, años 2013-2015 Fuente: Departamento de Aguas de MINAE, 2016, recuperado de situación actual de los recursos hídricos en Centroamérica(GWP)(2016).....	6
Cuadro 2. Promedio de precipitaciones mensuales en milímetros..	51
Cuadro 3. Volumen de precipitación en la subcuenca.	52
Cuadro 4. Promedio de temperaturas mensuales en grados C°	53
Cuadro 5. Evapotranspiración utilizando el método de Thornthwaite	54
Cuadro 6. Datos de evapotranspiración real mensual, en hm ³	55
Cuadro 7. Datos de infiltración mensual real, en hm ³	57
Cuadro 8. Datos de intercepción mensual, en hm ³	57
Cuadro 9. Volumen anual de escurrimiento por cuenca propia, en hm ³	58
Cuadro 10. Aporte superficial por retorno de agua, en hm ³	59
Cuadro 11. Volumen ofertado por la subcuenca, en hm ³	60
Cuadro 12. Consumo a nivel superficial en la subcuenca, en hm ³	62
Cuadro 13. Escurrimiento a la salida de la subcuenca, en hm ³	63
Cuadro 14. Usuarios ilegales según tipo de uso y fuente	65
Cuadro 15. Volumen de demanda ilegal superficial, en hectómetros cúbicos.	67
Cuadro 16. Demanda total superficial contemplando ilegales y demanda de concesiones, en hectómetros cúbicos.....	68
Cuadro 17. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos	69
Cuadro 18. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos.	70
Cuadro 19. Volumen aportado por manantiales con concesión, en hm ³	71
Cuadro 20. Volumen aportado por pozos concesionados, en hm ³	72
Cuadro 21. Oferta hídrica total en la subcuenca, en hectómetros cúbicos	73
Cuadro 22. Volumen de consumo en manantiales, en hectómetros cúbicos.	75
Cuadro 23. Volumen de consumo en pozos, en hectómetros cúbicos	75
Cuadro 24. Volumen consumo en fuentes superficiales, en hectómetros cúbicos.	76
Cuadro 25. Volumen total de consumo, en hectómetros cúbicos.	77
Cuadro 26. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos	78
Cuadro 27. Clasificación de usuarios ilegales totales encontrados en la subcuenca	83
Cuadro 28. Oferta potencial, en hectómetros cúbicos	84
. Cuadro 29. Volumen de consumo ilegal en nacientes.	85
Cuadro 30. Volumen de consumo ilegal en pozos.....	85
Cuadro 31. Consumo de ilegales a nivel superficial.....	86
Cuadro 32 Consumo ilegal total, en hectómetros cúbicos.....	86
Cuadro 33. Consumo total (ilegales y concesionados), en hectómetros cúbicos.	88
Cuadro 34. Volumen de escurrimiento a la salida de la subcuenca.....	88
Cuadro 35. Volumen de consumo en las secciones que conforman la subcuenca, en hm ³	91
Cuadro 36. Volumen de evapotranspiración real mensual en todas las secciones, en hm ³	92

Cuadro 37. Volumen de infiltración en las secciones de la subcuenca, en hm ³	93
Cuadro 38. Volumen de intercepción en parte alta de la subcuenca, en hm ³	93
Cuadro 39. Volumen ofertado en secciones de la subcuenca, en hm ³	94
Cuadro 40. Volumen de consumo en las secciones, en hm ³	95
Cuadro 41. Volumen de escurrimiento en las secciones, en hm ³	96
Cuadro 42. Caudal del río Corredor, en metros cúbicos por medio de aforos.....	104
Cuadro 43. Disponibilidad hídrica mensual.	106
Cuadro 44. Disponibilidad hídrica mensual	107
Cuadro 45. Disponibilidad hídrica mensual, en hectómetros cúbicos.....	108
Cuadro 46 . Disponibilidad hídrica mensual, en hectómetros cúbicos.....	109
Cuadro 47. Cobro de canon según uso y tipo de fuente.	117
Cuadro 48. Canon sin percibir	118
Cuadro 49. Canon sin percibir.	119
Cuadro 50. Proyección de canon anual.....	120
Cuadro 51. Análisis de impacto ambiental	121
Cuadro 52. Tipos de impacto.....	122
Cuadro 53. Valor de los impactos.....	123

1 RESUMEN

El siguiente estudio fue realizado para la subcuenca del río Corredores, perteneciente al cantón de Corredor al sur de país, desarrollado con la finalidad de aportar a la gestión del recurso hídrico en la zona por parte de la Dirección de Agua (DA), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

Para este sistema hidrológico se estimó la disponibilidad hídrica mediante un balance hídrico, para ello se utilizó información existente registrada en la base de datos de la DA correspondiente a concesiones otorgadas, de igual manera se planificaron inspecciones para detectar usuarios ilegales en el área, encontrando un total de 12 a nivel superficial, de los cuales se obtuvo un volumen de consumo a nivel superficial de $0,118 \text{ hm}^3/\text{año}$. Partiendo de este dato y asumiendo que el escenario correspondiente al balance hídrico con usuarios ilegales es el más cercano a la realidad, se obtuvo el volumen de escurrimiento aguas debajo de la subcuenca con un valor de $368,79 \text{ hm}^3/\text{año}$, cabe mencionar que se utilizó este escenario como el base para el cálculo, debido a que en la actualidad en la subcuenca hay presencia de usuarios ilegales, por lo cual se asemeja a la realidad, sin embargo hay que mencionar que la cantidad de estos usuarios se estima que es mucho mayor a 12 en la subcuenca.

Por otro lado, se realizó un balance hídrico integrado, el cual trabaja con variables superficiales y subterráneas, obteniéndose un valor sin usuarios ilegales de $370,88 \text{ m}^3/\text{año}$ a la salida de la subcuenca y $370,428 \text{ m}^3/\text{año}$ contemplando usuarios ilegales.

Existen en la parte baja de la subcuenca, canales pertenecientes a la compañía Palma Tica S.A, los cuales hacen su aporte al escurrimiento. Mediante la división de la subcuenca en microcuencas, se logró determinar el aporte de estos canales por medio de una diferencia de volúmenes, entre el volumen total aportado y el volumen generado por las secciones, obteniendo un valor de $57,11 \text{ m}^3/\text{mes}$, lo que corresponde al 15,48% del volumen aguas abajo de la subcuenca total.

En referencia a la disponibilidad hídrica, el río Corredor presenta un caudal de $331,88 \text{ hm}^3/\text{año}$ en su cauce principal y de igual manera se calculó para sus afluentes, dejando un 10% de caudal ambiental. En el ámbito social, se presenta una problemática notoria en la parte baja de la subcuenca en la época lluviosa debido a las inundaciones, a su vez se presentan problemas de falta de potabilidad, así como también aislamiento de la sociedad debido a las crecidas del río, a nivel de subcuenca se detectó una problemática de desconocimiento acerca de las funciones de la DA y de la existencia de la Ley de Aguas, donde el 92% de los encuestados desconocen esta entidad.

La DA está dejando de percibir, por uso ilegal, una cantidad de dinero aproximada de 680.456 colones perteneciente al Canon por Aprovechamiento, lo cual significa que si se concesionara el caudal disponible en la subcuenca se tendría un monto anual de 366.540.344 colones.

Abstract

The following study was carried out for the Corredores river sub-basin, belonging to the Corredor canton in the south of the country, developed with the purpose of contributing to the management of water resources in the area by the Water Directorate (DA), Ministry of Environment and Energy (MINAE).

For this hydrological system, hydric availability is estimated through a water balance, the information registered in the database of the DA corresponding to concessions granted can be used, as well as inspections for the registration of illegal users in the area were planned, finding a total of 12 at the surface level, of which an annual volume of consumption was obtained at a surface level of $0,118 \text{ hm}^3/\text{year}$. Starting from this moment and assuming that the scenario is close to the water balance with the people closest to reality, the volume of runoff from the waters below the sub-basin was obtained with a value of $368.79 \text{ hm}^3/\text{año}$. He mentions that this scenario was used as the basis for the calculation, since at present in the sub-

basin their presence of illegal users, so it resembles the reality, however it must be said that the number of these users is estimated is much greater than 12 in the sub-basin.

On the other hand, an integrated water balance was carried out, which works with surface and underground variables, obtaining a value without illegal users of $370.88 \text{ hm}^3/\text{año}$ at the exit of the sub-basin and $370,428 \text{ hm}^3/\text{year}$ contemplating illegal users.

There are channels belonging to the company Palma Tica S.A in the lower part of the sub-basin, which contribute to runoff. By dividing the subbasin into microbasins, it was possible to determine the contribution of these channels by means of a difference in volumes, between the total volume contributed and the volume generated by the sections, obtaining a value of $57.11 \text{ hm}^3/\text{year}$, which corresponds to 15.48% of the volume downstream of the total sub-basin

In reference to water availability, the Corredor River has a flow of 331,8810.52 hm^3/year in its main channel and in the same way it was calculated for its tributaries, leaving 10% of the environmental flow. In the social field, there is a notorious problem in the lower part of the sub-basin in the rainy season due to flooding, in turn problems of lack of potability, as well as isolation of society due to flooding of the river At the sub-basin level, there was a problem of ignorance about the functions of the DA and the existence of the Water Law, where 92% of respondents do not know this entity.

The DA is not receiving, for illegal use, an approximate amount of money of 680,456 colons belonging to the Canon for Harvesting, which means that if the available flow in the sub-basin were granted, there would be an annual amount of 366,540,344 colons

2 INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es sinónimo de vida, este preciado líquido es el responsable de dar vida y sostener un sinnúmero de actividades necesarias para la subsistencia y mantenimiento del equilibrio en el planeta, esta molécula formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, se presenta en el planeta en cantidades abundantes, ya que este está compuesto por 70 % de agua, por lo cual su utilización, gestión y preservación adecuada depende directamente de la población, asegurándose la supervivencia de la humanidad de generación en generación.

Las deficiencias en la gestión y aprovechamiento del recurso hídrico se han venido dando desde generaciones atrás, debido a la idea de relativa abundancia del recurso.

Si bien es cierto, el planeta contiene agua en abundancia, no obstante, la cantidad de agua dulce constituye un pequeño porcentaje 2,5% aproximadamente del total de agua presente en la Tierra, además la gestión inadecuada y uso irracional de este recurso se puede decir en la actualidad que las proyecciones de disponibilidad de agua para los siguientes años no son alentadoras si se sigue la tendencia que se lleva hasta el momento. En la actualidad las extracciones de agua dulce han aumentado a nivel mundial en 1% anual desde los años 80, debido principalmente a la creciente demanda en los países en desarrollo, en gran parte los países más desarrollados del mundo las extracciones de agua dulce se han estabilizado o han disminuido ligeramente. (Unesco, 2016)

Se puede decir que aún se está a tiempo de detener y modificar los hábitos insostenibles que se tienen en cuanto a la utilización del recurso hídrico, teniendo la población mundial una gran capacidad de cambio, así como de implementar nuevas culturas o seguir las nuevas tendencias o hábitos de consumo más acordes con el uso racional de los recursos.

En Costa Rica, hace 50 años atrás un grupo de personas, visualizaron la problemática y el uso indiscriminado del agua que se venía dando en el país, detectando la necesidad de hacer el cambio y crear un ente encargado de velar por la regulación, preservación y concientización sobre el manejo del recurso hídrico, naciendo en ese momento un ente regulador del recurso hídrico, el cual era manejado por el Servicio Nacional de Electricidad (Dirección de Agua,

2013), en la actualidad dicha entidad lleva como nombre Dirección de Agua, perteneciente al Ministerio de Ambiente y Energía, con operación en cinco unidades hidrológicas del país, y un total de 70 funcionarios distribuidos en dichas sedes, teniendo un mejor control del territorio del país en cuanto a la utilización y preservación del recurso hídrico, no obstante, es importante recalcar que aun con el cambio que ha venido surgiendo en el país, el costarricense no debe rezagarse y seguir creciendo e inculcando en las nuevas generaciones que el agua es el líquido más importante para la vida.

Este estudio se presenta como un aporte más en la cuantificación del recurso hídrico disponible en las cuencas de Costa Rica por medio de un balance hídrico. Esta herramienta se aplicó en la subcuenca del río Corredores, ubicada al sur del país, iniciando desde la parte alta del cantón de Coto Brus hasta desembocar en el río Colorado, utilizando la información recolectada por la DA en cuanto a concesiones y aprovechamientos, así como también se llevó a cabo un muestreo de aprovechamientos por parte de usuarios ilegales, con la finalidad de obtener la condición más cercana a la realidad en la subcuenca.

2.1 Objetivos

2.2 Objetivo General

- Determinar la disponibilidad del recurso hídrico en el río Corredores para establecer un mecanismo de control en el aprovechamiento del caudal disponible, bajo diferentes escenarios.

2.3 Objetivo Específicos

- Analizar la demanda de agua por parte de los usuarios tanto legales como ilegales.
- Caracterizar el régimen de disponibilidad de caudal del río, mediante un balance hídrico.
- Determinar la disponibilidad hídrica del río Corredores, bajo dos escenarios.
- Proponer un mecanismo de monitoreo y control de los aprovechamientos.
- Analizar las situaciones a nivel social, ambiental y económico que se presenta en el trabajo.

3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Situación actual del recurso hídrico en Costa Rica

Según la asociación mundial para el agua Global Water Partnership muestra la situación actual de los recursos hídricos en Centroamérica (GWP, 2011).

3.1.1 Oferta Hídrica

En el último balance hídrico nacional, realizado para Costa Rica por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) en el año 2008, indica que en el país se dispone de un volumen de agua correspondiente a 1131000 hectómetros cúbicos al año, de los cuales se infiltran 38000 hectómetros cúbicos produciendo la recarga de los mantos acuíferos, teniendo así el país disponible 24.784 metros cúbicos por cápita de agua al año.

3.1.2 Demanda Hídrica

Según el análisis realizado (MINAE, BID, & IMTA, 2008) en el balance hídrico para Costa Rica, se logró determinar que para el año 2006 se estimó un volumen de 16.704,89 hm^3 al año, en donde la extracción superficial y el volumen utilizado en la producción de energía hidroeléctrica se estima en 13.066,26 hm^3 al año, por otro lado, los otros usos superficiales corresponden a 3.095,21, mientras que los pozos se extraen 244,61 hm^3 al año y un volumen de los manantiales de 298,81 hm^3 al año.

Nuestro país, cuenta con una gran diversificación en lo que al uso del agua se refiere, tanto así que en el pasado surgió la necesidad de desarrollar un ente regulador en materia al recurso hídrico, en este caso el Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) es la entidad del estado competente en la asignación de las concesiones de agua para

los distintos usos, los cuales se pueden mencionar; uso agrícola, industrial, consumo humano, hidroeléctrico, riego y turismo.

De acuerdo con el MINAE, para el año 2015 se tuvo un volumen de caudal concesionado de 3.436.865,56 litros por segundo, de esto el 93,2 % corresponde a fuerza hidráulica y un 4,7 con fines de riego, dejando un 2% para el resto de los usos. Incluyendo agroindustrial, agropecuario e industria y consumo humano, (Cuadro 1)

Cuadro 1. Caudal Facturado según uso, años 2013-2015 Fuente: Departamento de Aguas de MINAE, 2016, recuperado de situación actual de los recursos hídricos en Centroamérica(GWP)(2016).

Asignación	Caudal 2013 (litros/segundos)	Caudal 2014 (litros/segundos)	Caudal 2015 (litros/segundos)
Agroindustrial	22.846,71	22.567,85	27.616,28
Agropecuario	26.788,26	6.223,30	6.992,51
Comercial	443,37	544,08	593,02
Consumo Humano	10.404,36	9.918,44	22.698,50
Fuerza Hidráulica	4.056.940,08	3.448.882,31	3.204.669,54
Industria	7.097,86	8.715,16	7.997,41
Riego	137.496,01	149.513,94	161.794,49
Turismo	4.010,68	4.383,64	4.503,81
Total	4.266.027,33	3.650.748,72	3.436.865,56

3.2 Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

3.2.1 Dirección de Agua

En Costa Rica, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) tiene como función de ejercer la rectoría en materia del recurso hídrico, esto a través de la Dirección de Agua (DA), en dicha

dirección se ejecutan acciones orientadas a gestionar y proteger el recurso hídrico, por ejemplo: el otorgamiento de concesiones de aprovechamiento de agua y fuerza hidráulica, los permisos de vertido, dictámenes de cuerpos de agua, permiso para realizar obras en cauce y descargas de drenaje agrícola. (Dirección de Agua,2018).

El objetivo principal es administrar el recurso hídrico nacional y resolver sobre el dominio, control, aprovechamiento y utilización de los cuerpos de agua y cauces, se pueden mencionar algunas de sus funciones principales (Dirección de Agua,2018).

- Implementar acciones orientadas a operar las competencias de rectoría del sector hídrico.
- Implementar instrumentos económicos, normativos, de planificación e informáticos para una adecuada gestión del recurso hídrico.
- Implementar las acciones y proyectos identificado dentro de los documentos de planificación
- Cumplir de manera eficiente con lo establecido en la Ley de Agua N° 276

3.3 Entes Prestatarios de servicio de agua potable

De acuerdo con la Política Nacional de Agua de Costa Rica 2017-2030; en nuestro país existen algunas instituciones que ofrecen el servicio de agua potable para las comunidades, dichos organismos son los encargados de brindar el beneficio hacia la ciudadanía, asegurándose de que el recurso hídrico cumpla con las condiciones óptimas para consumo, uso en la industria, entre otras, de acuerdo con la política nacional de agua potable de Costa Rica 2017-2030, se menciona que ; La procuraduría General de la República, en su Dictamen C-236-2008 del 7 de julio del 2008, ha sido clara en señalar “ arribamos a la conclusión de que entes diversos de AyA, las municipalidades, Empresas de Servicios Públicos de Heredia, Asociaciones de Desarrollo Comunal (a través de los comités de Acueductos Rurales)u otros organismos locales

con los que el AyA llegue a celebrar convenio al intento, ajustándose a la reglamentación que se sancione, están impedidos para administrar acueductos públicos”.

De modo que, los prestatarios del servicio público de agua potable son los que a continuación se señalan según Política Nacional de Agua de Costa Rica 2017-2030:

4.3.1 Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados(AyA)

Está a cargo del AyA la administración y operación directa de los sistemas de acueductos y alcantarillados sanitarios en todo el país, esto de acuerdo con el Artículo 2 de la Ley N° 2726, dicha ente debe aprobar los proyectos de construcción ampliación o modificación de todos los sistemas de abastecimiento de agua potable, además de ejercer el control de las obras ejecutando las inspecciones necesarias para verificar que se estén cumpliendo los planes aprobados.

4.3.2 Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS)

Las ASADAS son asociaciones privadas constituidas al amparo de la Ley de Asociaciones N° 218, pero deben tener como único fin en sus estatutos, la administración y operación del sistema de agua potable, estas asociaciones prestan los servicios de agua potable en las áreas rurales y periurbanas y están reguladas por el Decreto Ejecutivo 32529-S-MINAE del 2005, este organismo tiene como principal responsabilidad es la construcción, administración, operación y mantenimiento de los acueductos rurales (ejerciendo dicha función, por delegación del AyA, como ente legalmente responsable de esos servicios, encontrándose subordinada a las potestades del AyA, así como también la conservación y aprovechamiento racional de las fuentes de agua.

4.3.3 Empresa de Servicios Públicos de Heredia Sociedad Anónima (ESPH S.A)

Esta sociedad se encuentra sometida al derecho privado en el giro normal de sus actividades, por medio de la Ley N° 7789 de 1998, esta ley creo un híbrido jurídico; una empresa municipal herediana que maneja recursos públicos y cuyo patrimonio esta constituidos por todos los acueductos de los municipios asociados, esta figura fue creada con el objetivo de facilitar y agilizar las actividades comerciales y contractuales de la empresa, para mejorar la prestación de los servicios, pero rescatando y manteniendo su carácter público, entre otros fines, tienen unificar esfuerzos para satisfacer las necesidades de agua potable y asumir la conservación, administración y explotación racional de los recursos hídricos en la región de Heredia.

4.3.4 Municipalidades

Las municipalidades, a través de sus gobiernos locales, tienen a su cargo la administración plena de los sistemas de abastecimiento de agua potable que tradicionalmente han estado bajo su competencia, por disposición de la Ley constitutiva del AyA, las municipalidades que estuvieran administrando y operando sistemas al momento de crearse el AyA, podrían continuar a cargo de estos siempre y cuando mantuvieran un servicio eficiente y con excepción de aquellos acueductos ubicados en el Área Metropolitana que deban ser administrados en forma exclusiva por el AyA, es importante mencionar que las municipalidades deben de acatar todas las recomendaciones técnicas de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento.

A continuación, se presenta un esquema donde se evidencia el rol de cada institución en cuanto al manejo de agua potable para consumo humano (Figura 1).

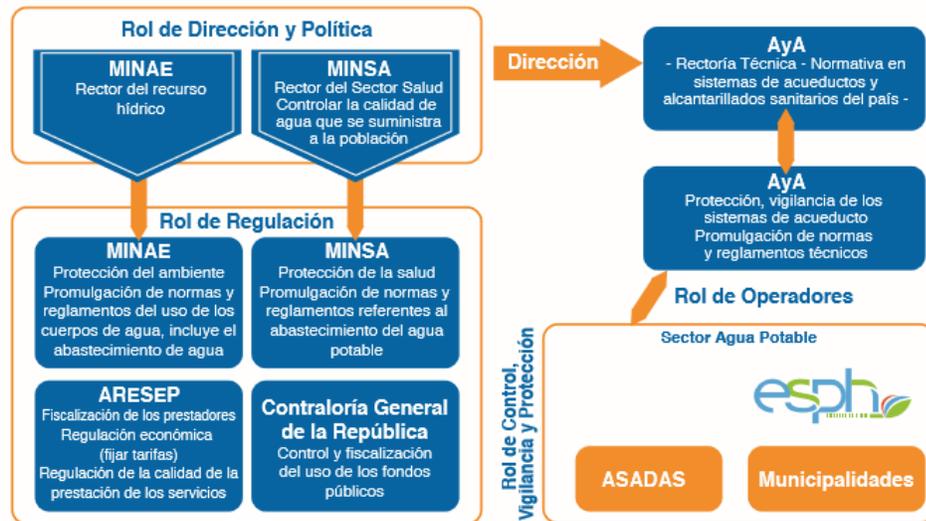


Figura 1. Roles Institucionales Fuente: Política Nacional de Agua Potable en Costa Rica 2017-2030(2016)

3.4 Dotación de agua en Costa Rica

Según el informe ambiental Costa Rica 2001, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el decimocuarto informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano sostenible 2008, arrojan los siguientes resultados para nuestro país (Alfaro, 2013)

- El 98,2 % de la población costarricense cuenta con servicio de agua para consumo humano distribuido por 2.235 acueductos.
- El 94,2% de la población recibe agua intra-domiciliariamente o por medio de un acueducto.
- El 81,2% de la población obtiene calidad de agua potable, mientras que un 76% de la población servida recibe agua sometida a control de la calidad, por lo cual se puede decir que toda la población que recibe este servicio está dotada de agua potable.
- El 17% de la población costarricense obtiene agua de calidad no potable.
- El 60% de las fuentes de abastecimiento de agua que suple a la población son de índice subterráneo.

3.5 Sistema Hidrológico de la cuenca

La cuenca es un sistema de captación y concentración de aguas superficiales en el que interactúan recursos naturales y asentamientos humanos dentro de un complejo de relaciones, apareciendo los recursos hídricos como un factor determinante, el territorio de la cuenca facilita la relación entre sus habitantes , independientemente de si estos se agrupan en comunidades delimitadas por razones político-administrativas, debido a su dependencia común a un sistema hídrico compartido, el concepto de cuenca hidrográfica posee connotaciones amplias dependiendo de los objetivos de los objetivos que se persigan, estos determinan de algún modo su definición y caracterización y por consiguiente su planificación y manejo, en términos generales la cuenca hidrográfica se ha entendido como una fuente de recursos hidráulicos, en un espacio ocupado por un grupo de humanos, que genera una demanda sobre la oferta de los recursos naturales renovables y realiza transformaciones del medio, por estas razones se convierte en un espacio natural (un conjunto de sistemas entrelazados) idóneo para llevar a cabo la labor conjunta de la gestión y manejo de los recursos naturales (Charria, SF).

El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes corresponden a la precipitación, evaporación y escorrentía, a su vez comprende otras fases del ciclo hidrológico, estos pueden agruparse en subsistemas del ciclo total, este sistema posee una estructura o volumen en el espacio, estando rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, operando internamente en ella y produciendo salidas (Cabrera, 2011).

Por otro lado de acuerdo con (Villón, 2004), el ciclo hidrológico no presenta un principio ni un final, su descripción puede comenzar en cualquier punto, el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre ríos, lagos y mares se evapora por efecto de la radiación solar y el viento, el vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento, en determinadas ocasiones el vapor se condensa formando las nubes que pueden presentar precipitaciones; en el trascurso de tener contacto dichas precipitaciones con la superficie de la tierra, estas pueden

evaporarse, ser interceptada por las plantas, edificaciones, a su vez al caer al suelo pueden infiltrarse o redireccionarse al cauce de los ríos.

3.6 Balance Hídrico y sus componentes

No solo en Costa Rica, sino a nivel mundial en los últimos años se ha despertado el interés sobre generar una cultura sobre el uso racional del agua, así como también la necesidad de contar con planes reguladores, tal como lo menciona (Lafragua & Gutierrez, 2010). En los últimos años, casi en todos los países de América Latina y el Caribe se han sucedido e implementado reformas en las legislaciones y organizaciones orientadas a la gestión y el aprovechamiento del recurso hídrico, la diversidad de culturas, climas, así como también las políticas de desarrollo y financiamiento en cada uno de estos países ha ocasionado que cada día se busquen nuevos y mejores procedimientos para garantizar y llevar a cabo una gestión integrada de los recursos hídricos, así mismo los procesos de globalización y regionalización hidrológica permiten día con día afinar el detalle de los estudios hasta lograr obtener una concreta administración a nivel de cuencas.

El balance hídrico se basa, en la ecuación de la continuidad, separando las variables en dos grupos, los aportes a la cuenca se clasifican como oferta potencial, mientras que la demanda corresponde a los volúmenes extraídos en la cuenca.

De acuerdo con el manual técnico para la evaluación de los recursos hídricos (UNESCO, 2006), se cuentan con dos tipos de balances hídricos, primeramente, a nivel superficial, el cual está basado en la superficie como plano de referencia, y el segundo corresponde a un balance subterráneos, involucrando variables subterráneas, a su vez, mediante la agrupación de ambas variables es posible generar un balance integral, las principales variables para la realización de estos balances así como su integración se mencionan a continuación:

3.6.1 Balance Hídrico Superficial

Este balance al considerar variables meramente superficiales presenta a la precipitación como su parámetro más importante, debido a que esta será la encargada de determinar cuándo oferta o disponibilidad hídrica se tiene en la cuenca.

Para este análisis se tienen ciertas variables involucradas en el balance hídrico tanto a nivel superficial como integral esto de acuerdo con (Jaquez, 2002), se mencionan a continuación

3.6.2 Esgurrimiento de la cuenca

Corresponde al esgurrimiento causado después de satisfacer las necesidades hídricas naturales, como evapotranspiración, infiltración e intercepción, mediante las precipitaciones generadas en la cuenca.

3.6.3 Retornos de Agua

Este volumen representa la cantidad de agua que es derivada de una fuente superficial para su utilización y posteriormente un cierto porcentaje es redirigido nuevamente hacia la fuente para reincorporarse.

3.6.4 Esgurrimiento a la salida de la cuenca

Es el esgurrimiento generado a la salida de la cuenca una vez que se realiza la diferencia entre la oferta potencial y la demanda, en cuestiones de disponibilidad cuando no se cuenta con volúmenes de agua reservados, este valor corresponde a la disponibilidad.

3.6.5 Usos del agua

Esta variable hace referencia a los usos que se le da al agua en la subcuenca, independientemente de la actividad, es un volumen esencial para obtener la demanda hídrica en la subcuenca.

Al hacer la integración entre las variables antes mencionadas es posible trabajar con una ecuación de balance integrado, pero primeramente se deben de conocer ciertas variables subterráneas que tienen similitud con el balance superficial.

3.6.6 Volumen aportado por manantiales

Corresponde al volumen generado por las afloraciones en la superficie proveniente de aguas subterráneas.

3.6.7 Extracciones por bombeo

Este volumen corresponde al agua extraída a niveles subterráneos por medio de bombeo.

No solamente consiste en obtener conocimiento para realizar una gestión adecuada del recurso hídrico, sino también generar las bases para la fomentación sobre la conservación de las cuencas, para asegurar por más tiempo las ofertas hídricas generadas por estos sistemas.

El ser humano juega un papel sumamente importante en la preservación de los sistemas hidrológicos como lo son las cuencas, ya que depende de la utilización que se le brinde a la misma en términos de usos de suelos, consumo racional de agua, vertido entre otras, así será afectado su potencial y por ende el balance de las aguas también, según (Batres & Gómez, 2014) entre las principales actividades de origen humano que afectan el balance hídrico, se tiene el abuso de extracción de los mantos acuíferos subterráneos, los cambios de uso de suelo, la deforestación, el vertido de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, prácticas agrícolas inadecuadas y el incremento de urbanizaciones en la zona de recarga o producción agrícola, son los más marcados en la actualidad.

3.7 Disponibilidad del Agua

La disponibilidad natural del agua depende principalmente del balance entre el agua que entra al sistema (cuenca) por medio de la precipitación y de lo que se pierde por efecto de la evaporación en los cuerpos de agua y por la evaporación vegetal, la diferencia entre lo que llueve y se evapora puede escurrir superficialmente, en arroyos, ríos, almacenarse en los cuerpos de agua superficiales o llegar al subsuelo y recargar los mantos acuíferos (SEMARNAT, 2013-2014)

El agua dulce es esencial para el mantenimiento de la vida y que actualmente su disponibilidad se está convirtiendo en el principal problema mundial, tanto en el corto como el mediano plazo. La calidad del recurso hídrico superficial y el subterráneo, se ve afectado por las diferentes actividades humanas como, el uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura, la lluvia ácida, la descargas contaminantes provenientes de la industria (metales, pesados compuestos orgánicos), estos son generados en los grandes núcleos urbanos, aguas residuales sin tratamiento y la intrusión marina en acuíferos sobreexplotados, a continuación se mencionan algunos efectos según (Nereida & Rodriguez, 2004) :

- La salud de la población, especialmente aquella que carece del acceso de agua potable adecuado.
- La salud de los sistemas reflejados en los procesos de eutrofización y aparición de las mareas rojas marrones.
- La calidad del agua que a través de la contaminación se afecta negativamente a la riqueza piscícola de ríos, lagos, mares y franja costera.

El mantenimiento de los acuíferos, de los que dependen un tercio de la población mundial para su abastecimiento, por lo que su sobreexplotación ha llevado a que el manto freático en muchos de los casos hay descendido decenas de metros, provocando hundimientos en el terreno e intrusión salina a aguas subterráneas.

3.8 Sistemas de información y Monitoreo de Cuencas

Según el sitio de gestión sostenible GIDAHATARI; es fundamental el contar con un fácil acceso a la información sobre el estado de dichos recursos y de los ecosistemas, así como también sobre las tendencias en uso y contaminación del agua, esto para que la gestión de los recursos hídricos tenga éxito. Por otro lado, los encargados de la gestión de recursos hídricos deben ser capaces de contar con información confiable, actualizada y pertinente cada vez que lo precisen, en un formato accesible (GIDAHATARI, 2017)

Siguiendo la metodología propuesta por (GIDAHATARI, 2017); Para la creación de un sistema de información de cuencas implica realizar un trabajo sobre dos frentes, primeramente, abordando cuestiones institucionales y organizacionales, por un lado, seguidamente resolviendo por otro lado problemas técnicos relacionados con la construcción de un sistema de información, se mencionan a continuación las buenas prácticas aplicadas (GIDAHATARI, 2017):

- Reconocer que los sistemas de información de cuencas constituyen una herramienta importante para la gestión del recurso hídrico.
- Identificar las necesidades de información.
- Asegurarse de que la información sea libre acceso para todas las partes interesadas (Políticas de puertas abiertas)
- Desarrollar una red de socios y grupos de trabajo a fin de facilitar la colaboración de las instituciones en la gestión de datos de cuencas.
- Inventariar las fuentes de datos e información existentes, explorar como se producen y si es posible acceder o no a ellas.
- Definir una estrategia, responsabilidades y reglas para producir y administrar los datos, procesar y divulgar información y respetar la confidencialidad.
- Adoptar normas, criterios y nomenclaturas comunes, de modo que los datos sean comparables e Inter operativos.

- Desarrollar capacidades en recursos humanos e infraestructura para recolectar administrar y procesar datos, y producir y divulgar información, emplear la infraestructura técnica de los socios donde sea posible.
- Producir y divulgar información que sirva para tomar decisiones, gestionar el recurso e informar e involucrar a la comunidad.
- Elaborar programas de monitoreo de recursos hídricos y uso del agua, y desarrollar indicadores (procesos, resultados e impactos) para evaluar cómo se está realizando la gestión del recurso.

3.9 Sistemas de Información de Cuencas para una gobernabilidad adecuada

Al administrar los recursos hídricos a nivel de cuenca, es importante que los entes encargados de tomar las decisiones cuenten con un fácil acceso a información representativa, confiable y de manera exhaustiva en todos los niveles selectos a los siguientes parámetros:

- Calidad y cantidad de los recursos a nivel de agua, tanto superficial como subterránea y a las variaciones presentes anualmente y periódicamente.
- Ecosistemas y entornos acuáticos a sus grados de sensibilidad.
- El uso del recurso como extracciones, particularmente aplicadas para riego, aplicaciones industriales y agua potable; y las fuentes de contaminación (descargas), sean puntuales o no puntuales.
- Los riesgos de fenómenos extremos recurrentes, tales como inundaciones sequias y contaminaciones accidentales.
- Los indicadores socioeconómicos, como por ejemplo costos, precios e impuestos.

Es importante recalcar que, los sistemas de información de cuencas no necesariamente tienen que ser sofisticados, en los países en desarrollo, pueden ser bastante simples, lo importante en este caso es que sean asequibles y que funcionen, a su vez un sistema de información de cuenca no debe ser una base de datos que este alojado solamente dentro de un

organismo de gobierno, debe ser una herramienta accesible e interactiva, asequible, adecuada y equitativa.

Un sistema de información geográfico para cuenca debe cumplir con las siguientes características:

- Describe las condiciones y tendencias de los recursos naturales de la cuenca.
- Subraya problemas acuciantes en gestión de recursos hídricos, y donde se manifiestan.
- Permite a la comunidad acceder a información y conocimiento acerca de la gestión del recurso.
- Informa a la comunidad de la cuenca sobre el proceso de gestión.
- Intercambian información para ayudar a especificar las mejores opciones de gestión.
- Comparte información entre quienes se dedican a la gestión de cuencas.

Las buenas prácticas y el monitoreo adecuado de la cuenca representan solo una parte del seguimiento a la dinámica del balance hídrico, también el concepto del manejo integrado de cuencas es fundamental para el equilibrio del sistema, este tema se detalla mejor a continuación.

3.10 Manejo Integrado de Cuencas

El manejo integrado de cuencas toma en cuenta la perspectiva de todos los sectores y factores: recursos naturales, recursos humanos, ambiente actividades socioeconómicas , instituciones, entre otras, el manejo integral de carácter táctico y operático tiene como base las relaciones y el balance adecuado entre los componentes del geo sistema que es la cuenca , este puede ser aplicado a una área específica a uno o varios recursos, por lo que es posible considerar un manejo integrado en la actividad agrícola y forestal, así como un manejo integrado de los recurso hídricos (Cotler, 2004).

El manejo integral de cuencas hidrográficas es una parte fundamental de las acciones de gestión ambiental, que busca contrarrestar efectos ambientales negativos y alcanzar efectos ambientales positivos, los cuales pueden ser evaluados por la cantidad, calidad, de los recursos de una cuenca, a su vez busca satisfacer las necesidades del hombre, conservando los recursos naturales encontrados dentro de la cuenca, en fin de poder obtener una mejor calidad de vida e armonía con el medio en el que se desarrollan, esto se lleva a cabo mediante la implementación de acciones que permitan lograr un desarrollo sustentable, tanto en la cuenca alta, media y baja, en resumidas cuentas se trata de alcanzar el bienestar de la población mediante el uso sostenible de los recursos naturales, conservándolos para que estos sean aprovechados por generaciones futuras (Lopez, 2015).

4 METODOLOGÍA

4.1 Descripción del área de estudio.

El área de estudio fue analizada mediante el Software Qgis; colocando como base un polígono realizado en el software Google Earth, correspondiente al área de interés, seguido de la obtención del modelo de elevación digital a través de información geoespacial disponible en la red USGS (Science For a Changing World), obtenida del satélite ALOS PALSAR con una resolución 12x12.

Con las herramientas de procesamiento para formato ráster de QGis se realizó un corte sobre el DEM y las curvas de nivel, tomando como molde el área de estudio.

Luego, se realizó la delimitación de la cuenca, para ello se utilizó un complemento del software QGis r.fill con el cual se hizo uso del geo algoritmo de análisis de terreno para hidrología, este permite completar los espacios vacíos sin información que pueda tener los píxeles en el DEM.

Con base en el DEM y con información confiable de los valores que se tienen, se procedió a extraer la red de drenaje con el geo algoritmo GRASS correspondiente a análisis de terreno para canales, el cual se llama “Red de canales y cuencas de drenaje”, generándose la red de drenaje de la subcuenca, observándose la trayectoria de los drenes y sus puntos de desfogue.

Seguidamente ya con los drenajes naturales ubicados en la subcuenca, se realizó un polígono para delimitar la subcuenca abarcando dentro a todos los afluentes que pertenecen al río Corredor, de igual manera, tratando de obtener la delimitación lo más exacta posible, se usó una herramienta tipo plugin del software Qgis, denominada Google physical, el cual muestra el comportamiento del terreno, facilitando la delimitación y definición de parte aguas en la subcuenca (Figura 2).

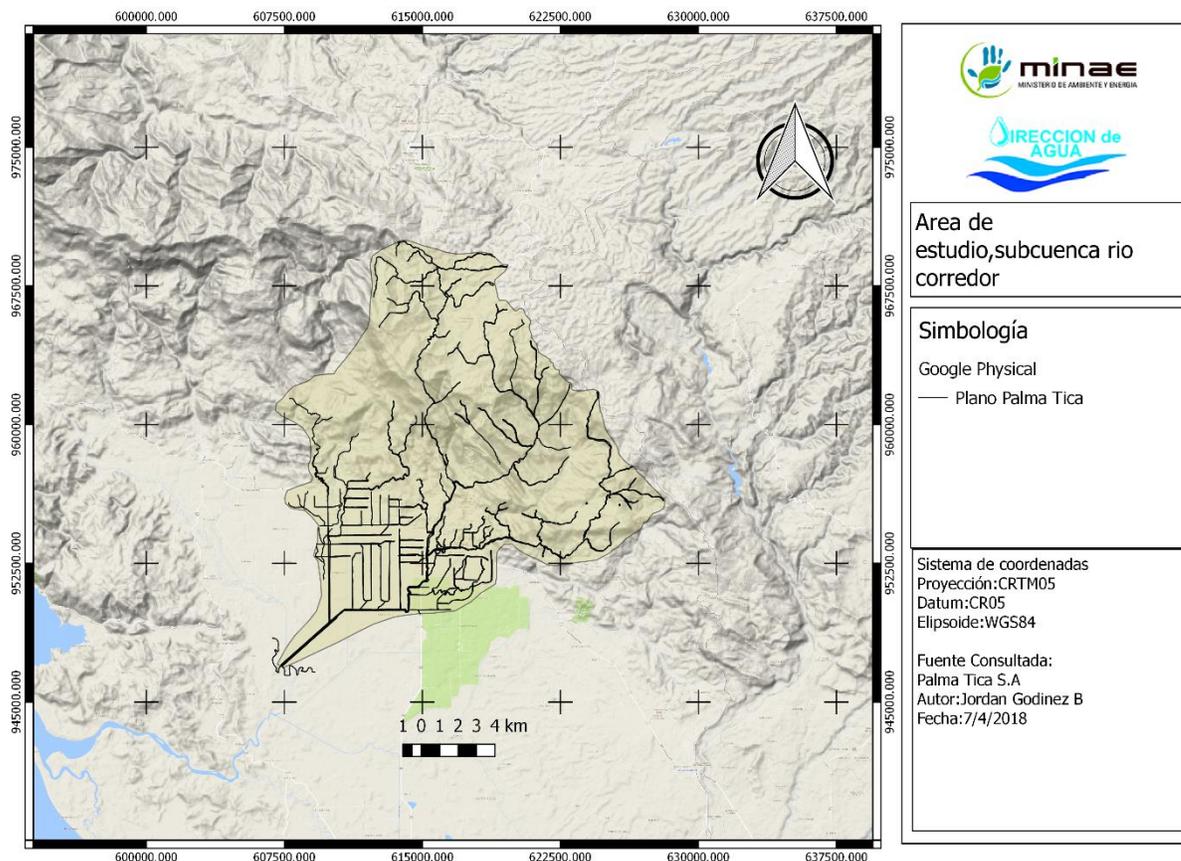


Figura 2. Área de estudio

En la figura anterior se observa la subcuenca delimitada con sus correspondientes drenajes naturales, a su vez se observa en la parte baja de la misma los canales de drenaje implementados por la compañía Palma Tica S.A.

Una vez delimitada el área de trabajo, se dispuso a recolectar información sobre los usuarios ilegales que se encuentran en la zona.

4.2 Balance hídrico integrado

Para realizar un balance hídrico integrado es necesario contar con datos a nivel superficial y subterráneo, Se siguió la metodología para el cálculo de balance hídrico integrado mencionada en el documento técnico “Evaluación de los de los recursos hídrico” creado por el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe (UNESCO, 2006).

4.2.1 Balance Hídrico superficial

La ecuación utilizada para el cálculo del balance de agua superficial tomando como base un plano de referencia superficial se detalla a continuación, ecuación 1

$$\Delta V = (Cp + Ar + Re + Im) - (Ab + Uc + Ev + Ex) \dots \dots \dots (1)$$

Donde

ΔV = Variación de volumen

Cp =Escurrimiento natural por cuenca propia (hm^3/mes)

Ar =Escurrimiento Aguas Arriba (hm^3/mes)

Re = Retornos de Agua (hm^3/mes)

Im =Importaciones desde cuencas vecinas

Ab =Escurrimiento a la salida de la cuenca (Aguas abajo) (hm^3/mes)

Uc = Usos del agua (hm^3/mes)

Ev =Evaporación en cuerpos de agua

Ex =Exportaciones hacia cuencas vecinas

Partiendo de la ecuación 1, se procede a despejar la variable correspondiente al escurrimiento a la salida de la subcuenca (Ab), se calculó considerando toda el área de drenaje de la cuenca hasta la desembocadura con el mar, la variable a determinar corresponde a él

volumen de escurrimiento hacía aguas abajo, siendo este el caudal de salida de la subcuenca en el punto de desfogue, ecuación 2.

$$Ab = (Cp + Ar + Im + Re) - (Uc + Ev + Ex) - \Delta V \dots \dots \dots (2)$$

Las ecuaciones mencionadas anteriormente, son utilizadas para el estudio de una cuenca que presenta con todos los datos necesarios para aplicar cada variable, en los casos donde no se cuenta con suficientes registros, se procede a modificar las ecuaciones y adecuarlas a las variables con las que se cuenta en la zona de estudio, tal es el caso del balance hídrico realizado en Costa Rica (2008), por el Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Ambiente y Energía, donde utilizaron las variables que contaba cada una de las 15 cuencas analizadas. En nuestro caso no se utilizó la variación de volumen, debido a que la subcuenca es de cabecera.

Debido a las características que presenta la subcuenca en estudio, se trabajó el balance hídrico superficial bajo dos posibles escenarios en la subcuenca, las cuales se detallan a continuación.

4.2.1.1 Escenario I, balance hídrico superficial con información existente

En este escenario se trabajó únicamente con los usos de consumo correspondiente a las concesiones registradas en la base de datos de la DA a la actualidad, a los cuales se les llamará demanda y al escurrimiento por cuenca propia y retornos de agua será la oferta, quedando la ecuación 3 de la siguiente manera.

$$Ab = (Cp + Re) - (Uc) \dots \dots \dots (3)$$

Ab =Escurrimiento a la salida de la cuenca (m^3/mes)

Cp=Escurrimiento natural por cuenca propia (m^3/mes)

Re = Retornos de Agua (m^3/mes)

Uc = Usos de consumo concesionados (m^3/mes)

- **Cálculo de la oferta en la subcuenca**

En esta ocasión la oferta (OP) está compuesta por el escurrimiento natural por cuenca propia y retornos de agua, en hm^3/mes , se muestra en la ecuación 4

$$OP = Cp + Re \dots \dots \dots (4)$$

- **Escurrecimiento propio de la subcuenca**

Este parámetro corresponde al escurrimiento que realiza la subcuenca de manera natural antes de cualquier extracción o uso.

De acuerdo con la (UNESCO, 2006), para realizar este cálculo se presentan dos escenarios, el primero es utilizado cuando se cuenta con registros de datos hidrométricos confiables correspondientes a la cuenca de estudio, el segundo es utilizando datos de precipitaciones cuando no se tiene información hidrométrica, por lo general las unidades utilizadas en este componente son hm^3 .

En este caso como no se cuenta con información hidrométrica, se utilizará la siguiente ecuación 5, contemplando explícitamente las pérdidas.

$$Cp = Vll - Inter - ET - In \dots \dots (5)$$

Donde

Cp = Volumen de escurrimiento por cuenca propia (hm^3)

Vll = Volumen de lluvia (hm^3)

$Inter$ = Intercepción (hm^3)

ET = Evapotranspiración (hm^3)

In =Infiltración (hm^3)

- **Volumen de lluvia**

Este volumen se encuentra en función de área en estudio, en este caso el área de la subcuenca y la precipitación media obtenida en la zona, ecuación 6

$$Vll = P * A \dots\dots\dots (6)$$

Siendo:

Vll = Volumen de lluvia (hm^3)

P = Precipitación media (m)

A =Área de la subcuenca (m^2)

Este cálculo se realizó mediante registros satelitales de precipitación media obtenidos del sitio web NASA GIOVANI, en un rango de 15 años (1998-2018).

Los datos de precipitación obtenidos en dicha plataforma corresponden a datos del satélite TRMM, mostrando un promedio de área de la tasa de precipitación mensual, con una resolución de 0.25 grados, dichos datos se encontraban en mm/h por lo cual se realizaron las conversiones pertinentes para obtenerlos mensual y anualmente.

Por otro lado, para obtener el área de la cuenca, se utilizaron herramientas del software Qis y mediante herramientas de geoprocésamiento se determinó el área de la subcuenca.

- **Intercepción**

Para este cálculo se utilizó un método indirecto, primeramente, se trabajó con capa de tipos de bosque, suministrada por el Atlas de Costa Rica 2014, donde se realizó un corte a dicha capa con la zona de estudio, y mediante una herramienta del software denominada Group Statics, se categorizo la subcuena según su uso de suelo, aplicando la ecuación 7.

$$\text{Intercepción total} = (Av * P) * \%v + (Abo * P) * \%bo \dots\dots\dots (7)$$

Donde

Intercepción total = Intercepción total (m^3/mes)

P = Precipitación media (m/mes)

Av = Área de vegetación (m^2)

Abo = Área de bosque (m^2)

$\%vo$ = Porcentaje de vegetación (m^2)

$\%bo$ = Porcentaje de bosque (m^2)

Es importante mencionar que los bosques corresponden a bosque primarios y secundarios, y la vegetación a lo restante (Tacotales, matorrales, pastos, etc.)

- **Evapotranspiración**

- **Evapotranspiración potencial**

En este caso, primeramente, se calculó la evapotranspiración potencial media, utilizando la ecuación de Thornwaite, este método fue desarrollado en los Estados Unidos y se puede aplicar en regiones húmedas como lo es Costa Rica, utilizando el siguiente procedimiento como lo menciona (Villón, 2004).

- a) Se calculó la evaporación mensual, en milímetros por mes de 30 días con 12 horas de duración, ecuación 8

$$e = 16 * (10 * \frac{t}{I})^a \dots\dots\dots (8)$$

Donde

e = evapotranspiración mensual en milímetros por mes de 30 días y 12 horas de duración

t = temperatura media mensual en grados Celsius.

I = índice térmico anual

a = exponente con variación según el índice térmico anual de la localidad

Para el cálculo del índice térmico anual fue necesario calcular el índice térmico mensual con se muestra a continuación, ecuación 9

i = Índice térmico mensual

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \dots\dots\dots (9)$$

De igual manera se utilizó la siguiente ecuación para calcular el exponente de variación según el índice anual de calor, ecuación 10

$$a = 0.675I * 10^{-6} * I^3 - 0.771 * 10^{-4} * I^2 + 0.017921 * I + 0.49239 \dots\dots\dots (10)$$

- b) Se corrigió el dato de evapotranspiración considerando el mes y la latitud de la localidad, determinado esta las horas sol, dicha corrección consiste en multiplicar el valor de evapotranspiración por un factor según la ubicación de la localidad, utilizando una serie de valores tabulados en una tabla
- c) Una vez obtenidos los valores de evapotranspiración corregida, se procedió a dividir dicho valor en cada mes, esto para obtener la evapotranspiración diaria corregida.

- **Evapotranspiración real**

Seguidamente, se dispuso a realizar el cálculo de la evapotranspiración real, mediante la ecuación usada en el balance hídrico para Costa Rica, 2008 el cual es implementado por (Lafragua & Gutierrez, 2010), ecuación 11

$$ETr = \frac{1+w\frac{ETP}{P}}{1+w\frac{ETP-1}{P}} * P \dots\dots\dots(11)$$

Donde

Etr = evapotranspiración real (mm)

w = coeficiente de agua disponible en la planta, representa la diferencia relativa en la manera que la planta usa el agua del suelo para transpiración, en este caso se utilizó una tabla de valores según el uso del suelo

Etp = Evapotranspiración potencial por el método de Thornwaite (mm)

P = Precipitación media mensual de la zona en estudio (mm)

Seguidamente este dato se transformó en evapotranspiración real en metros y se multiplico por el área de la subcuenca para obtener el volumen por mes.

- **Infiltración**

Para el cálculo de infiltración se utilizó una cuadro generado por la homologación de tipos de suelo, entre la infiltración en suelos de México y suelos de Costa Rica, generada en el balance hídrico para Costa Rica (2008), para determinar el tipo de suelo presente en la subcuenca se utilizó la capa de tipos de suelo con la que cuenta el Atlas de Costa Rica 2014, realizándose un corte mediante las herramientas de geoprociamiento de QGis, predominando en esta sección

los inceptisoles y entisoles. Debido a esto se estimó un valor total para toda la subcuenca promediando ambos porcentajes de infiltración, ecuación 12.

$$Inf = (\%inf * P) * A \dots \dots \dots (12)$$

inf = Infiltración total en la subcuenca (m^3/mes)

$\%inf$ = Porcentaje de infiltración promediado

P = Precipitación media mensual de la zona en estudio (m)

A = Area de la subcuenca (m^2)

- **Retornos de Agua**

En este caso, para calcular los retornos de agua correspondientes al volumen devuelto a la fuente después de aprovechada, se utilizó un método indirecto, ya que en las situaciones donde se presenta esta variable no cuentan con ningún registro de medición en la entrada de la fuente, por lo cual se decidió utilizar una tabla en función del tipo de actividad en que se aprovecha el recurso, de acuerdo con (UNESCO, 2006), se utilizó un porcentaje para uso agrícola de 10% de retorno, ecuación 13.

$$Retornos\ de\ agua = (Qc * \%re) \dots \dots \dots (13)$$

Qc = caudal concesionado (m^3/mes)

$\%re$ = Porcentaje de retorno

- **Cálculo de la demanda en la subcuenca**

Debido al escenario en el que se está trabajó, la demanda potencial (DP) corresponde a los usos de consumo que se presentan en la subcuenca, correspondiendo estos al caudal

calculado por medio del manual de dotaciones de la DA, según las necesidades para las cuales se haya solicitado la concesión, para obtener este volumen se utilizaron todas las concesiones que se encuentran registradas en la subcuenca a la actualidad.

- **Usos de consumo**

Para realizar el cálculo de este volumen se utilizó la siguiente, ecuación 14.

$$DP = \sum Uc \dots\dots\dots (14)$$

DP = Demanda potencial de la cuenca (m^3/mes)

Uc = Usos de consumo (m^3/mes)

Una vez obtenidos los datos correspondientes a la oferta y demanda potencial de la subcuenca, se procede a determinar el escurrimiento aguas abajo de la subcuenca.

- **Escurrecimiento aguas abajo de la subcuenca**

Este volumen se calculó realizando la diferencia entre la oferta potencial de la subcuenca y la demanda potencial, obteniéndose el valor a la salida del cauce principal de la subcuenca, el cual corresponde al caudal que transporta el afluente principal de la subcuenca, en este caso corresponde al río Corredores, se aplicó la siguiente ecuación 15.

$$Ab = OP - DP \dots\dots\dots (15)$$

Ab = Escurrecimiento a la salida de la subcuenca (m^3/mes)

$OP =$ Oferta potencial (m^3/mes)

$DP =$ Demanda potencial (m^3/mes)

4.2.1.2 Escenario II, balance hídrico superficial incluyendo usuarios ilegales

Esta condición involucra los mismos cálculos que en el escenario I, únicamente presenta una única variación respecto a su demanda, ya que en esta se involucra el volumen de consumo por parte de los ilegales, para ello se utilizan todas las ecuaciones antes mencionadas y la variable que corresponde al volumen de consumo por ilegales, quedando la ecuación de la siguiente manera, ecuación 16.

$$Ab = (Cp + Re) - (Uc + Ui) \dots \dots \dots (16)$$

$Ab =$ Escurrimiento a la salida de la cuenca (m^3/mes)

$Cp =$ Escurrimiento natural por cuenca propia (m^3/mes)

$Re =$ Retornos de Agua (m^3/mes)

$Uc =$ Usos de consumo concesionados (m^3/mes)

$Ui =$ Usos de consumo ilegal (m^3/mes)

Ahora bien, para determinar los aprovechamientos ilegales se coordinaron dos muestreos de ilegales, primeramente, se realizó uno en la parte baja de la subcuenca del río Corredor, con acompañamiento de funcionarios de la fuerza pública y el Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

4.2.2 Balance Hídrico Integrado

En este caso el balance hídrico integrado a diferencia del superficial contempla variables subterráneas de manera integrada, tal es el caso, como los aportes por extracciones por bombeo

y volumen aportado por manantiales, esto en la oferta, en el caso de la demanda se agrega una única variable, la cual corresponde a fugas generadas en la red de distribución.

Es importante mencionar que en el caso de los usos de consumo en la demanda se tomaran en cuenta a los aprovechamientos tanto de nacientes con concesión así como ilegales.

La ecuación utilizada para el cálculo del balance de agua superficial tomando como base un plano de referencia superficial, es la utilizada por la UNESCO, mencionada en el documento Evaluación de los recursos Hídricos (UNESCO, 2006), se detalla a continuación, ecuación 17

$$Ab = (Cp + Ar + Im + Re + B + Vm) - (Uc + f + Ev + Ex) - \Delta V \dots \dots \dots (17)$$

Donde

Ab = Esgurrimiento a la salida de la subcuena (m^3/mes)

Ar =Esgurrimiento Aguas Arriba (m^3/mes)

Cp =Esgurrimiento natural por cuenca propia (m^3/mes)

Ar =Esgurrimiento Aguas Arriba (m^3/mes)

Re = Retornos de Agua (m^3/mes)

Im =Importaciones desde cuencas vecinas (m^3/mes)

Uc = Usos del agua (m^3/mes)

Ev =Evaporación en cuerpos de agua (m^3/mes)

Ex =Exportaciones hacia cuencas vecinas (m^3/mes)

Vm = Volúmenes aportado por manantiales (m^3/mes)

B = Extracciones por bombeo (m^3/mes)

F = Fugas en la red de distribución (m^3/mes)

De igual manera que en el balance superficial, se trabajó bajo dos escenarios, primeramente, utilizando los datos con los que cuenta la DA y seguidamente con los obtenidos en el muestreo de ilegales, mencionados en apartados anteriores.

4.2.2.1 Escenario III, balance integral utilizando la información actual

A diferencia del escenario I para balance hídrico superficial, en este se contemplan variables subterráneas que generan aporte, tal es el caso del volumen aportado por nacientes y extracciones por bombeo.

De la misma manera que en las situaciones anteriores, se reacomodo la ecuación según las características de la subcuenca, quedando de la siguiente manera ecuación 18

$$Ab = (Cp + Re + B + Vm) - (Uc) \dots \dots \dots (18)$$

Donde

Ab = Escurrimiento a la salida de la subcuenca (m^3/mes)

Cp =Escurrimiento natural por cuenca propia (m^3/mes)

Re = Retornos de Agua (m^3/mes)

Uc = Usos del agua (m^3/mes)

Vm = Volúmenes aportado por manantiales (m^3/mes)

B = Extracciones por bombeo (m^3/mes)

- **Cálculo de la Oferta en la subcuenca**

En este caso de igual manera la oferta potencial está compuesta por los aportes a la subcuenca, contemplando en este balance integrado al volumen aportado por manantiales y extracciones por bombeo, con respecto a la demanda, esta se comporta de igual manera, involucrando los usos de consumo, pero en este caso no solo a nivel superficial sino también a nivel subterráneo.

En el balance integrado para el cálculo de la oferta potencial se utilizó la ecuación utilizada en el balance superficial, ecuación 4, contemplando está el aporte por escurrimiento propio y volúmenes de retorno, solamente se le agregó, el volumen aportado por manantiales y extracciones por bombeo, ecuación 19

$$Op = (Cp + Re + B + Vm) \dots \dots \dots (19)$$

Siendo

Op = Escurrimiento a la salida de la subcuenca (m^3/mes)

Cp =Escurrimiento natural por cuenca propia (m^3/mes)

Re = Retornos de Agua (m^3/mes)

Vm = Volúmenes aportado por manantiales (m^3/mes)

B = Extracciones por bombeo (m^3/mes)

En este caso se mencionará únicamente como se determinaron las nuevas variables subterráneas, ya que en aportados anteriores se mencionó de la manera en que se obtienen los datos de escurrimiento por cuenca propia y volúmenes de retorno correspondientes al balance hídrico superficial.

- **Volumen aportado por manantiales**

Este volumen corresponde al aporte que realizan los nacientes desde su afloramiento, por lo cual, para calcular dicho aporte se realizó una capa en el software Qgis indicando los nacientes en el lugar, posteriormente se procedió a indagar en cada expediente y obtener el caudal aflorado en dicha fuente por los funcionarios de la DA.

Una vez obtenidos estos datos se dispone a realizar el cálculo a nivel mensual, ya que al ser un caudal se encuentra en metros cúbicos por segundo, por lo cual para calcular el volumen

aportado se multiplica dicho volumen por la serie de tiempo que se desee calcular y se realiza una sumatoria de todos los volúmenes, ecuación 20 en este caso se trabajó en meses.

$$Vt = \left(\sum Vm \right) \dots \dots \dots (20)$$

Siendo

Vt =volumen total aportado por manantiales (m^3/mes)

Vm = Volumen de cada manantial registrado en la concesión (m^3/mes)

▪ **Volumen aportado por extracciones de bombeo**

Se procedió a determinar las concesiones que se encuentran en la zona de estudio, para posteriormente mediante la prueba de bombeo presente en cada expediente determinar el caudal aportado, seguidamente se dispuso a calcular el volumen total aportado en la subcuenca, utilizando la ecuación 21

$$Vtb = \left(\sum VB \right) \dots \dots \dots (21)$$

Siendo

Vtb =volumen total aportado por bombeo (m^3/mes)

VB = Volumen de cada pozo registrado en la concesión (m^3/mes)

▪ **Demanda**

Esta demanda corresponde a los usos de consumo presentes en la subcuenca, sin embargo en este apartado al ser un balance hídrico integral se deben contemplar dos variables subterráneas, como lo es el caso de los volumen de consumo por extracciones de bombeo y volumen de consumo en nacientes, aparte de los usos de consumo a nivel superficial, al igual que en los volúmenes aportados, en esta ocasión se determinan los usos de consumo para cada concesión, siendo esto los dictados en la resolución de cada expediente, es por ello que se ubicaron en el área de estudio para posteriormente realizar una sumatoria de los mismos, ecuación 22.

$$DP = \sum Uct \dots \dots \dots (22)$$

Dp =Demanda potencial de la subcuenca (m^3/mes)

Uc = Usos de consumo (m^3/mes)

En este caso los usos de consumo corresponden tanto a nivel superficial (ríos y quebradas) como subterráneo (pozos, nacientes).

Obtenidos los parámetros antes mencionados se realizó el cálculo del escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, mediante la diferencia entre la oferta y la demanda.

4.2.2.2 Escenario IV, balance integral utilizando la información actual e incluyendo usuarios ilegales

En este escenario a diferencia del escenario 2 para balance superficial, se agregan una variable más, siendo esta el volumen utilizado por los usuarios ilegales de forma subterránea, como lo es el caso del aprovechamiento de los pozos y nacientes sin contar con permiso de explotación de dichas fuentes.

Se modifica la ecuación en cuanto a la demanda, ya que al ser estos aprovechamientos ilegales no es posible realizar una medición de las fuentes que están siendo captadas, por lo cual solo se contemplan los usos de consumo basados en cálculos realizados con el manual de dotaciones, suponiendo que dichos ilegales utilizan el caudal que se le otorgaría en la DA, ecuación 23.

$$Ab = (Cp + Re + B + Vm) - (Uc + Uci) \dots \dots \dots (23)$$

Donde

Ab = Esgurrimiento a la salida de la subcuena (m^3/mes)

Cp =Esgurrimiento natural por cuena propia (m^3/mes)

Re = Retornos de Agua (m^3/mes)

Uc = Usos del agua (m^3/mes)

Vm = Volúmenes aportado por manantiales (m^3/mes)

B = Extracciones por bombeo (m^3/mes)

UCi = Uso de consumo ilegal (m^3/mes)

Cabe mencionar que los usos de consumo ilegal contemplan aprovechamientos ilegales a nivel subterráneo, tal como es el caso de los pozos y manantiales.

Con respecto al cálculo de la oferta potencial no se hizo énfasis en el mismo, ya que el procedimiento es igual al mencionado en el apartado anterior, al igual sucede con la demanda potencial, se realizó de la misma manera que se mencionó en el balance hídrico superficial, mediante un muestreo de usuarios ilegales, simplemente que en esta situación se suman los caudales de consumo ilegal correspondientes a pozos y manantiales, de igual manera una vez obtenida la oferta y la demanda se puede calcular el escurrimiento aguas abajo para la subcuena mediante la diferencia entre ambos parámetros.

Seguidamente se menciona el proceso realizado para determinar el volumen utilizado por los usuarios ilegales, este volumen es utilizando en el cálculo del escenario II y IV.

4.3 Recolección de información de usuarios ilegales

Este proceso consistió en visitar algunos poblados que se encuentran dentro de la subcuena del río Corredor, para esto se utilizó el software Qgis 2.18 “Las Palmas”, donde se cargó la capa perteneciente al río corredores y mediante herramientas de procesamiento se realizó un análisis espacial de 1 kilómetro en ambas márgenes del río (Figura 3), esto para

optimizar el área, ya que realizar un muestreo en toda la subcuenca en general demandaría demasiado tiempo, ya que la misma presenta zonas con alta densidad de bosque lo cual imposibilita el acceso, a su vez se realizó una clasificación del índice de vegetación en dicho análisis espacial, pretendiendo poder visualizar las áreas donde se encuentran las zonas boscosas en estado saludable asumiendo esto como zonas que posiblemente utilizan algún tipo de riego para la producción agrícola, cabe mencionar que esta recolección se realizó con el acompañamiento del SINAC y la Fuerza Pública.

De igual manera en dicho análisis espacial vectorial se muestran los poblados aledaños al río Corredor y sus afluentes en la parte baja, esto para tener un punto de referencia a visitar en primera instancia y así realizar consultas sobre el aprovechamiento hídrico en el sector, dando una idea de la situación y posibles aprovechamientos ilegales. Seguidamente en conjunto con oficiales de fuerza pública y funcionarios del SINAC, se procede a visitar los puntos estratégicos, siendo estos los poblados que están situados en las propiedades de la compañía Palma Tica, una vez estando en el lugar se dispuso a tomar un punto con coordenadas y así conformar una capa de ilegales.

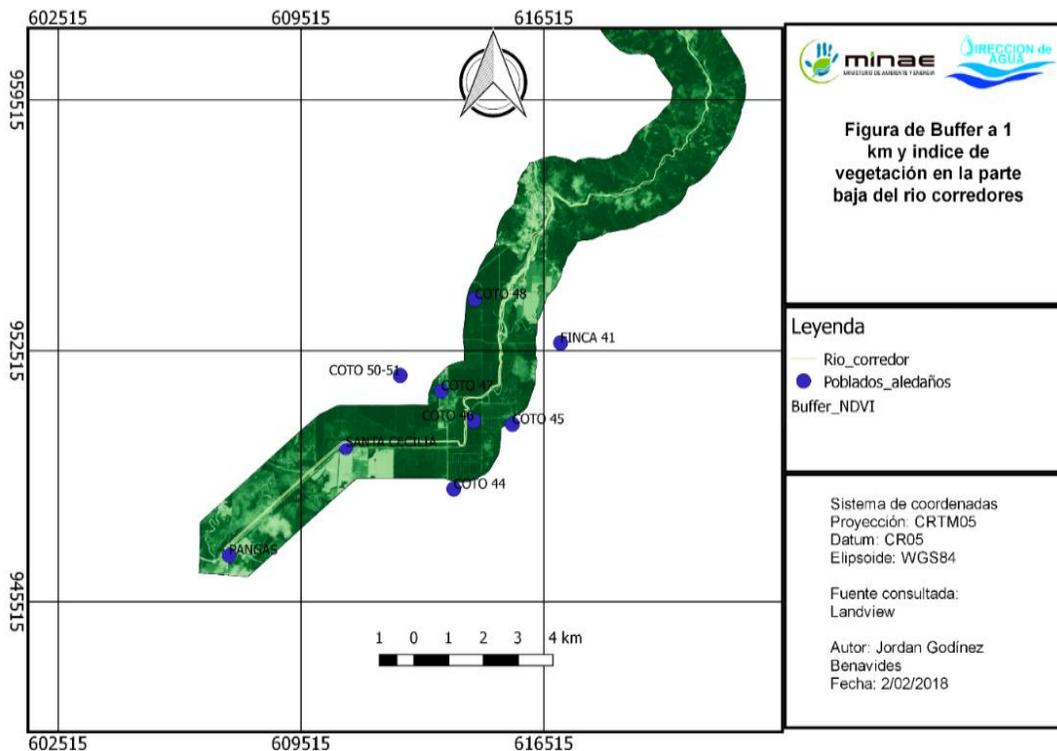


Figura 3. Mapa de ubicación de posibles poblados con usuarios ilegales.

Aunado al muestreo de ilegales anterior, se implementó otro en la parte alta de la subcuenca, en este caso la estrategia utilizada corresponde a aplicar una serie de indicadores, generando información sobre los posibles sectores donde se están dando este tipo de aprovechamientos ilegales.

4.4 Usuarios ilegales en la parte alta de la subcuenca

Para determinar estos usuarios se utilizaron 3 indicadores de posibles usos, se mencionan a continuación

4.4.1 Producción de cultivos Agrícolas

Mediante este indicador, se trató de monitorear las zonas donde existen sembradíos, en este caso principalmente hortalizas, las cuales, debido a las necesidades hídricas en la época de estiaje, necesitan ser regadas mediante sistemas de riego.

4.4.2 Consumo humano

En esta ocasión, se visitaron sectores donde las personas no cuentan con acueducto, por lo cual se ven en la necesidad de instalar tuberías para transporte de agua desde nacientes cercanas.

4.4.3 Agropecuario

En este caso, se monitorearon sectores donde posiblemente se encontrarán operando granjas destinadas a la producción animal y necesitarán de la utilización de agua para sus procesos.

Con estos tres indicadores antes mencionados y mediante mapas de poblados realizados en el software QGIS, se dispuso a realizar visitas de campo en los lugares potenciales según los indicadores, estando en dichos sectores, mediante la inspección visual se lograron determinar posibles ilegales, mediante un GPS se levantaba el punto donde se estaba aprovechando el agua, para posteriormente realizar la verificación en la base de datos y así determinar si el involucrado cuenta con concesión de aprovechamiento.

4.5 Determinación del volumen de consumo aprovechado por los usuarios ilegales

Una vez con los datos de campo procesados se procedió a calcular el volumen de consumo, para esto se utilizó el manual de dotaciones, ya que este documento es el que se está

utilizando en la actualidad para el otorgamiento de concesiones, se mencionan a continuación los métodos utilizados para dicho cálculo

4.5.1 Cálculo de caudal requerido para riego

En este caso, cuando se habla de dotaciones para riego se utiliza la siguiente ecuación 24

$$Qr = A * Mr \dots\dots\dots(24)$$

Siendo

Qr = caudal de riego (l/s)

A = Área de riego (ha)

Mr =Módulo de riego (l/s/ha)

4.5.2 Módulo de riego

Para el cálculo de este parámetro se utilizó la ecuación 25, en función del uso consuntivo y eficiencia de riego

$$Mr = \left(\frac{Uc}{Ef}\right) * 0,116 \dots\dots\dots(25)$$

donde

Mr = Módulo de riego (l/s/ha)

Uc = Uso consuntivo (mm)

Ef = Eficiencia de riego (%)

0,116 factor de conversión de unidades

4.5.3 Uso consuntivo

Con respecto al uso consuntivo se utiliza la siguiente ecuación 26

$$U_c = K * ETO \dots \dots \dots (26)$$

U_c = Uso consuntivo (adimensional)

K = coeficiente de cultivo (adimensional)

ETO = Evapotranspiración (mm)

4.5.4 Dotaciones para usos agroindustriales y pecuarios

A continuación, se muestra en la (Figura 4), una serie de dotaciones utilizadas para el cálculo del volumen de consumo por parte de los usuarios ilegales.

Abrevadero:		
Equino y bovino		70 L/d/cabeza.
Ovejas, cabras, terneros		40 L/d/cabeza.
Cerdos		15 L/d/cabeza.
Pollos		250 L/d/1000 pollos.
Conejos		300 L/d/1000 conejos
Gallinas Ponedoras		350 L/d/1000 gallinas.
Lavado instalaciones agropecuarias:		
Depto Aguas.		
Lecherías vacunos		130 L/d/cabeza.
Porquerizas		65 L/d/cabeza.
Matadero vacunos		3000 L/d/cabeza.
Matadero porcino		2000 L/d/cabeza.
Matadero aves		20 L/d/ave.
Proceso industrialización de carnes:		
Depto Aguas.		
Industria cárnica		10 L/Kg. Procesado.
Producción Peces:		
Truchas y Tilapias*		0.006 Lps/m ² espejo agua

*Dotación calculada en base al volumen de peces por metro cúbico, asumiendo 10 peces por metro cúbico, (Engorde 1) con 2 recambios al día. Fuente; INCOPESCA.

Figura 4. Dotaciones para distintos usos

4.5.5 Dotaciones para uso doméstico

Se muestran las dotaciones correspondientes para uso doméstico, en este caso se utilizó una dotación de 0,10 litros/segundo/vivienda (Figura 5).

A y A	
Zona Rural:	200 Litros/día/persona.
Zona Urbana:	300 Litros/día/persona.
Zona Turística o costera	350 Litros/día/persona.
Con proyección de un crecimiento poblacional de un 3% anual.	
1.4 Dotaciones uso domestico unipersonal.	
Depto Aguas.	
Todas las Zonas:	0.02 Litros/segundo/vivienda.
7 personas por vivienda.	
Para 1-10 personas:	250 Litros/día/persona.
Cuando se solicita uso doméstico se puede contemplar riego de media hectárea, derecho otorgado por el artículo 37 de la Ley de Aguas Vigente 276, dentro del uso doméstico, según artículo 37.	
Se recomienda:	0.10 Litros/segundo/vivienda.

Figura 5. Dotaciones para uso doméstico

Obtenida la información acerca de los aprovechamientos ilegales se dispuso a calcular la disponibilidad hídrica, mediante un balance hídrico en la subcuenca, se menciona a continuación:

4.5.6 Cálculo del aporte generado por los canales en la parte baja de la subcuenca

Una vez obtenido el volumen de escurrimiento a la salida de la subcuenca a nivel superficial se dispuso a calcular el aporte generado por los canales, para ellos se estableció que mediante la diferencia entre los volúmenes de escurrimiento a la salida de las secciones

correspondientes a la subcuenca alta-media y la subcuenca total, se obtiene como resultado el escurrimiento aportado por los canales al río Corredores.

4.5.6.1 Delimitación de las secciones

En este apartado se procedió a calcular el aporte a nivel superficial generado por los canales, primeramente, se dividió la subcuenca total en tres secciones, las cuales corresponden a la subcuenca parte alta y subcuenca parte baja, dicha delimitación se realizó utilizando el software QGis y la red de drenaje generada al inicio del trabajo, seguidamente se realizó una capa de polígonos para cada sección, cada sección se trabajó de manera separada.

4.5.6.2 Oferta potencial en las secciones

En este caso como lo que se pretende es determinar el caudal de escorrentía aportado por los canales al río Corredores, se trabajó únicamente de manera superficial, utilizando el escurrimiento generado por subcuenca propia a causa de la precipitación, restándoles las variables de demanda naturales, como lo son la infiltración, evapotranspiración y interceptión, obteniendo la escorrentía superficial.

Se utilizó el mismo procedimiento detallado en páginas anteriores correspondientes al cálculo de escurrimiento natural por cuenta propia, esto para las tres secciones, obteniéndose un volumen total de escurrimiento.

4.5.6.3 Demanda potencial en las secciones

De igual manera se calculó la demanda potencial, correspondiente al uso de consumo para las tres secciones, en función del número de concesiones en cada sección con su respectivo caudal, obteniéndose un volumen de consumo total correspondiente para las tres secciones

El procedimiento de cálculo referente a la demanda potencial es el mismo mencionado en los balances hídricos anteriores.

4.5.6.4 Determinación del escurrimiento generado por los canales, en la parte baja de la subcuenca

Para este cálculo se utilizó el volumen generado en el apartado correspondiente al balance hídrico superficial contemplando ilegales, ya que es la condición que más se acerca a la realidad, restándole el volumen de escurrimiento obtenido en la subcuenca media y alta, teniendo como resultado el escurrimiento en la cuenca baja utilizando el método de diferencia de caudal.

4.5.7 Aforo de los principales afluentes que desfogan al río Corredor

Primeramente, se dispuso a analizar los principales afluentes que aportaban agua hacia el río Corredor, una vez determinados utilizando la capa de ríos suministrada por el Atlas de Costa Rica 2014, seguidamente se colocaron puntos de coordenadas en posibles lugares donde realizar el aforo.

Posteriormente se cargan los puntos en un sistema de posicionamiento global (GPS), y se verifican en campo, estando ahí, se determinó si la sección en el cauce del río era la adecuada, ya que, debido a la topografía, en ocasiones fue imposible el acceso, así como también la presencia de fauna peligrosa.

Luego se definieron los lugares más convenientes y se procedió a realizar el aforo utilizando un correntómetro, el proceso a seguir se detalla se continuación de acuerdo con (Villón, 2004);

- Primeramente, se dividió la sección transversal del río, para ello se midió la longitud del espejo de agua del río, utilizando una cinta.

- Seguidamente se dividió el espejo de agua en tramos, en esta ocasión debido a que el espejo de agua era alrededor de 16 metros se utilizó una medida para cada tramo de 0.5 m.
- En cada tramo se tomaron medidas de profundidad total y velocidad al 60% de la misma, generando una serie de datos para cada tramo.
- Cada medición se realizó para 40 segundos.
- Una vez tomados todas las medidas en cada tramo, se procede a calcular en la oficina el caudal de cada río, utilizando el software HidroEsta.

Una vez obtenidos los datos anteriores se procedió a analizar la disponibilidad hídrica para cada afluente al río Corredores, mediante la metodología del balance hídrico mencionada anteriormente.

4.5.8 Mecanismo de control y monitoreo de los aprovechamientos ilegales

Este mecanismo se desarrolló utilizando como referencia la experiencia generada en la DA, a su vez aplicando algunos criterios de cómo se abarcan los casos según lo estipula el coordinador de la regional.

Lo que se hizo fue proponer una guía a seguir, partiendo desde la programación de las visitas a campo hasta contar con toda la información pertinente en un archivo geoespacial para su posterior ampliación y seguimiento. Dicha guía fue compuesta por 11 pasos a seguir, que contemplan lo estipulado en la legislación en materia de tiempos de respuesta y atención a los casos.

4.5.9 Situación social de la subcuenca

Para este proceso, básicamente lo que se aplicó fue el diálogo con los habitantes de la subcuenca, mientras se realizan inspecciones al lugar y en el muestreo de ilegales, se trataba de conversar con las personas y obtener los puntos de vista sobre los acontecimientos que viven en

la actualidad, en relación con el abastecimiento, distribución y aprovechamiento de fuentes superficiales y subterráneas.

Se aplicó una encuesta a 60 personas para tener información de la situación en la subcuenca. La encuesta está compuesta por las siguientes preguntas:

1. ¿Sabe usted que existe la DA del MINAE y cuál es su función?
2. ¿Conoce la Ley de Aguas vigente?
3. ¿Le interesaría conocer más acerca sobre la DA y la respectiva Ley?
4. ¿Cuál cree usted que es la situación hídrica actual en el país?
5. ¿Cree importante implementar educación sobre el uso eficiente y adecuado del recurso hídrico en las nuevas generaciones?

4.5.10 Proyección económica

El análisis económico se hizo en relación con el pago de usuarios por servicio de uso de agua según lo estipulado en la tarifa del Canon de Aprovechamiento de Agua. De esta manera se calculó el monto correspondiente a las concesiones actuales sobre la fuente y el monto que le correspondería pagar a los usuarios ilegales.

Finalmente se mencionan las herramientas utilizadas para el desarrollo adecuado del proyecto:

4.5.11 Herramientas utilizadas

- Software informático Google Earth Pro
- Software especializado para integración de sistemas de información geográfica (QGis), versión Las Palmas 2.18.3.
- Base de datos Atlas Digital de Costa Rica 2014.
- Base de datos del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)
- Sitio Web NASA GIOVANI
- AutoCAD 201

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Escenario I , Balance hídrico superficial con información existente

5.1.1 Oferta hídrica para la subcuenca total

5.1.1.1 Volumen de escurrimiento por cuenca propia

Utilizando una imagen satelital perteneciente al satélite TRMM 3B437 con una resolución de 0,25 grados, se obtuvo valores de precipitación en la zona de estudio (Cuadro 2)

Cuadro 2. Promedio de precipitaciones mensuales en milímetros..

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
1998	3,35	62,98	68,21	107,90	307,4	379,68	516,49	472,25	401,22	514,26	395,19	413,99	3643,01
1999	124,40	142,70	90,29	274,09	443,22	583,74	315,71	508,49	699,32	475,78	310,33	263,11	4231,18
2000	57,38	48,58	99,05	231,80	469,32	261,93	244,73	246,39	612,11	360,02	279,72	121,21	3032,22
2001	91,18	72,49	83,10	122,86	528,16	302,27	408,14	349,26	392,47	615,73	386,52	115,63	3467,82
2002	62,04	19,23	36,33	137,64	336,40	228,08	393,40	353,93	513,89	393,17	266,41	49,59	2790,10
2003	50,07	25,49	100,91	210,07	413,46	496,94	463,09	299,04	404,46	467,71	535,86	165,40	3632,49
2004	31,26	82,36	35,37	226,63	696,41	316,81	306,21	362,45	423,20	487,58	225,00	99,83	3293,11
2005	134,08	58,65	240,40	211,29	335,31	336,54	272,08	440,42	371,99	367,31	658,66	126,45	3553,18
2006	219,10	29,07	84,36	243,48	400,80	387,26	486,07	331,24	386,95	560,83	322,10	238,17	3689,42
2007	37,06	16,08	56,84	224,28	545,99	255,04	325,86	873,68	429,92	568,50	296,89	235,57	3865,72
2008	19,77	166,82	86,29	188,70	543,93	284,51	625,33	638,82	425,80	707,42	531,40	165,57	4384,35
2009	56,95	84,48	185,89	58,46	673,35	283,99	375,18	431,55	233,77	572,79	392,03	115,57	3464,03
2010	69,42	223,54	166,47	295,92	333,59	420,07	620,21	619,83	470,76	495,68	516,96	230,95	4463,41
2011	66,04	82,21	71,69	203,21	410,91	403,58	419,80	531,01	388,03	719,99	341,27	155,93	3793,68
2012	48,91	38,48	70,01	255,14	410,15	292,33	262,06	403,94	333,72	378,89	295,41	79,75	2868,78
2013	45,32	53,93	106,27	237,91	311,80	244,81	294,44	348,49	490,97	482,74	258,88	106,39	2981,96
2014	48,99	30,87	87,93	202,19	579,64	533,73	280,76	257,86	676,29	577,43	379,14	163,14	3817,96
2015	9,63	78,40	58,81	168,02	236,54	337,89	278,91	302,73	366,49	480,99	576,34	154,70	3049,47
2016	57,06	13,47	59,22	195,72	277,95	342,88	226,26	418,65	250,86	500,00	685,45	138,95	3166,46
2017	35,08	32,36	110,57	186,28	524,98	318,63	330,73	381,59	284,14	305,35	444,98	79,02	3033,71
Promedio	63,36	68,11	125,70	199,08	438,97	350,54	372,27	428,58	427,82	501,61	404,93	160,94	3511,10

Como se muestra anteriormente, mediante los 19 años de registros de precipitación se obtuvo un promedio mensual y por consiguiente se estimó la precipitación anual en la zona, correspondiente está a 3511,10 mm/año, comparando este valor con estudios realizados en la zona, de acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional y Comité Regional de Recursos Hidráulico (2008), donde menciona que la precipitación promedio de la región es cercana a los 3700 mm anuales, ya que los variados accidente geográficos generan un régimen de lluvias contrastado con relación al resto de las regiones de la vertiente del pacifico, esta heterogeneidad se percibe en un clima donde el periodo seco es corto, mientras el lluvioso es largo y extenso. (CRRH), 2008).

La comparación anterior muestra que el valor obtenido mediante los registros satelitales presenta una resolución aceptable para desarrollar el proyecto.

5.1.1.2 Volumen de lluvia mensual en la zona

Conociendo el área de estudio, correspondiente a 26779,82 hectáreas se calculó el volumen de lluvia generado en la zona por mes, mediante la ecuación 6, es importante mencionar que estos valores se presentan en hectómetros, debido a los altos volúmenes generados, como se muestra en la (Cuadro 3).

Cuadro 3. Volumen de precipitación en la subcuenca.

Volumen mensual de lluvia, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	oct	Nov	Dic	Anual
16,97	18,24	25,41	53,31	117,56	93,87	99,69	114,77	114,57	134,33	108,44	43,10	940,27

En el cuadro anterior, se puede observar los volúmenes de lluvia obtenidos en la subcuenca del río Corredores, donde se logra evidenciar que los meses con más lluvias corresponden a agosto y octubre con un valor de 114,77 y 134,33 hectómetros cúbicos en ese

orden, a su vez, se tiene que en un año se generan 940,27 hm^3 debido a las precipitaciones presentes en la zona.

5.1.1.3 Evapotranspiración media

En este caso, también se utilizaron datos satelitales de temperatura del programa NASA GIOVANNI, para un registro de años de 1995 al 2010 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedio de temperaturas mensuales en grados C°

Promedio de temperaturas mensuales en grados C°											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
24,90	24,98	25,91	26,32	25,97	25,39	25,63	25,21	24,84	24,71	24,28	24,25

En la tabla anterior se tienen los valores obtenidos al promediar mensualmente los 16 años de registros de temperatura que se tienen para la zona, pudiéndose evidenciar que los meses donde se presentan las temperaturas más altas corresponden a marzo, abril y mayo.

De igual manera se obtuvo una temperatura anual promedio con un valor de 25,19 grados C°, comparándola con los 26 °C, que menciona (Ramírez, SF) para el Pacífico en el sur en el apartado anterior denominado escurrimiento por cuenta propia, se puede decir que la diferencia es mínima, por lo cual es un valor aceptable.

Una vez con los datos de temperatura, mediante el método de Thornthwaite ecuación (8,9,10), se calculó la evapotranspiración potencial, como se muestra (Cuadro 5).

Cuadro 5. Evapotranspiración utilizando el método de Thornthwaite

Cálculo de evapotranspiración diaria, método de Thornthwaite							
Mes	T	índice i	a	e	factor f	e corregida (mensual)	e diaria
Enero	24,90	11,36	3,30	109,96	0,98	107,76	3,48
Febrero	24,98	11,42		111,16	0,91	101,15	3,61
Marzo	25,91	12,07		125,47	1,03	129,23	4,17
Abril	26,32	12,36		132,09	1,03	136,06	4,54
Mayo	25,97	12,11		126,36	1,08	136,47	4,40
Junio	25,39	11,70		117,26	1,06	124,29	4,14
Julio	25,63	11,87		120,98	1,08	130,66	4,21
Agosto	25,21	11,58		114,67	1,07	122,69	3,96
Septiembre	24,84	11,32		109,10	1,02	111,28	3,71
Octubre	24,71	11,24		107,32	1,02	109,47	3,53
Noviembre	24,28	10,94		101,26	0,98	99,23	3,31
Diciembre	24,25	10,92		100,87	0,99	99,86	3,22
	Sumatoria I	138,91					

Se puede observar en el cuadro anterior los valores de evapotranspiración potencial mensuales y diarias obtenidas, presentando los valores más altos de evapotranspiración en los meses de abril y mayo, con valores promedios diarios para esos meses alrededor de los 4 a 4,5 mm/día.

Seguidamente se calculó la evapotranspiración real de la subcuenca utilizando la ecuación 11 utilizando un valor coeficiente $w = 1$ (Anexo 1) correspondiente a un uso de suelo

mixto, según lo analizado en el Atlas 2014 de Costa Rica, ya que en la subcuenca se presentan plantaciones forestales, no forestales, pastos, bosque secundario y primario.

Este coeficiente corresponde al agua disponible en la planta y representa la diferencia relativa en la manera que la planta usa el agua del suelo para la transpiración (Lafragua & Gutierrez, 2010)., Se muestra a continuación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Datos de evapotranspiración real mensual, en hm^3

Evapotranspiración mensual real, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
13,93	14,35	19,39	28,52	34,04	30,46	32,07	30,89	28,28	28,21	25,35	21,61	307,10

Anteriormente en la tabla, se muestran los resultados obtenidos al determinar la evapotranspiración real mensual para la zona, donde se obtiene un valor anual de evapotranspiración de 307,10 hectómetros cúbicos.

5.1.1.4 Infiltración

Esta variable se encuentra en función del tipo de suelo que presenta la subcuenca, en este caso se utilizó la capa de suelos presente en el Atlas 2014 de Costa Rica (Figura 6).

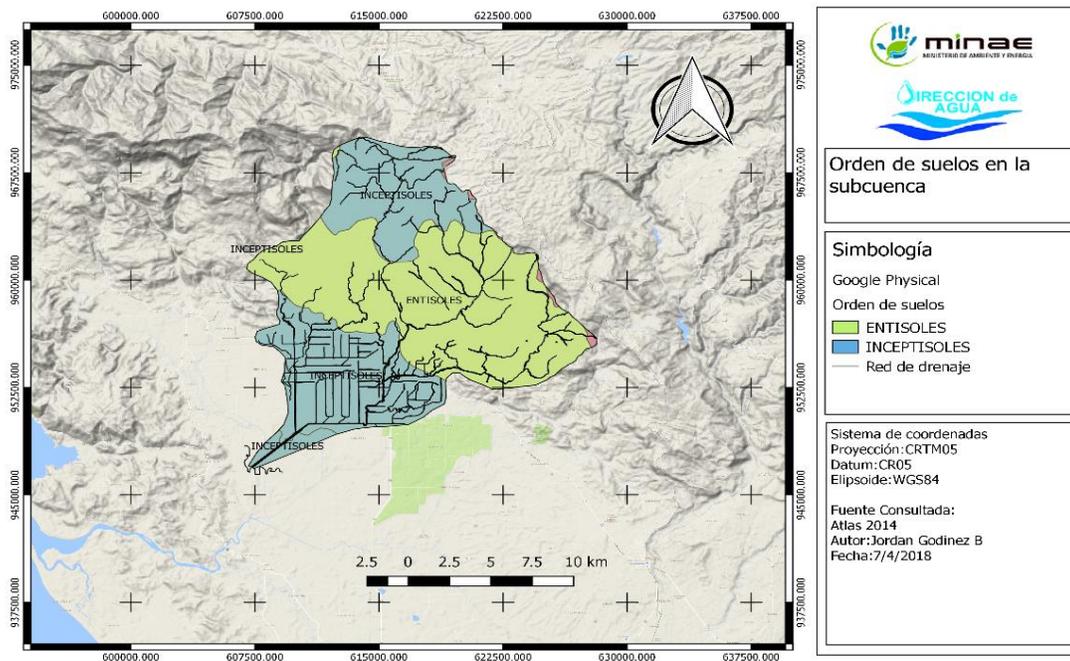


Figura 6. Tipos de suelo en la subcuenca, Atlas 2014

Se puede evidenciar que, la subcuenca está compuesta por suelos inceptisoles y entisoles, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); los suelos Inceptisoles de los valles del pacífico sur pueden presentar problemas de toxicidad de Cu, generados en el pasado por aplicaciones masivas de este elemento en el cultivo de banano, constituido por varias décadas, junto con el cacao, en la actualidad estas áreas se siembran con palma de aceite con fertilizantes y sistemas de drenaje. (Henríquez, Cabalceta, Bertsch, & Alvarado, SF).

Mediante un cuadro (Anexo 2) desarrollada por homologación de suelos y un ajuste de coeficientes de infiltración realizada por la FAO-UNESCO, 2006, (citada en el Balance Hídrico

Mensual para Costa Rica, (IMTA, 2008) se tienen los valores de infiltración supuestos para Costa Rica en función del tipo de suelo, en este caso como se presentan suelos Inceptisoles-Entisoles, el valor a utilizar corresponde al 15% de infiltración del volumen de lluvia generado, se tiene lo siguiente en el (cuadro 7)

Cuadro 7. Datos de infiltración mensual real, en hm^3

Volumen de infiltración mensual en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	oct	Nov	Dic	Anual
2,54	2,74	3,81	8,00	17,63	14,08	14,95	17,22	17,19	20,15	16,27	6,47	141,04

Se puede observar los volúmenes de infiltración para cada mes, así como también se obtiene una infiltración anual promedio de 141,04 hectómetros cúbicos para la subcuenca del río Corredores.

5.1.1.5 Intercepción.

Para el cálculo de intercepción se utilizó tabla (Anexo 3) de información recolectada para Costa Rica, desarrollada en el Balance hídrico para Costa Rica, elaborado por el Banco Interamericano de Desarrollo, MINAE e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, mayo 2008, donde se eligió un porcentaje de intercepción de 20 % para bosques primarios y secundarios, y 12 % para la vegetación restante (pastos, forestal, no forestal, charral, tacotales, etc.), (SEGOB, 2015) se muestran los resultados en la (Cuadro 8).

Cuadro 8. Datos de intercepción mensual, en hm^3

Intercepción, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2,19	2,35	3,28	6,87	15,15	12,10	12,85	14,79	14,77	17,31	13,98	5,55	121,18

Se puede observar los valores de intercepción para cada mes, estos valores se encuentran en función del área de cada cobertura, ya que dependiendo de la cobertura que presente el área, así será la intercepción, en este caso se tienen una intercepción anual en la subcuenca de 121,18 hectómetros cúbicos.

5.1.1.6 Volumen de escurrimiento propio de la subcuenca

Con los resultados generados anteriormente se obtuvo el escurrimiento por cuenca propia, mediante la ecuación 5, como se muestra a continuación, Cuadro 9.

Cuadro 9. Volumen anual de escurrimiento por cuenca propia, en hm^3

Volumen anual de escurrimiento propio de la subcuenca, en hectómetros cúbicos				
Volumen de lluvia	Intercepción	Evapotranspiración	Infiltración	Escurrimiento por cuenca propia
940,27	121,18	307,10	141,04	370,95

En el cuadro anterior se pueden evidenciar los valores de intercepción, evapotranspiración, e infiltración, así como también el volumen de lluvia promedio presente en la subcuenca del río Corredores.

Se tiene un volumen de lluvia de 940,27 hm^3 anuales, el cual es distribuido en una serie de procesos naturales, tal es el caso de la intercepción la cual registra un valor de 121,18 hm^3 , los cuales son interceptados por la vegetación presente, por otro lado la evapotranspiración real presenta un volumen de 307,10 hm^3 , divididos en la evaporación y transpiración de la vegetación para satisfacer sus procesos naturales, así como también se presenta un volumen de 141,04 hm^3 correspondiente a la infiltración de los suelos en la subcuenca, obteniendo así un valor de escurrimiento natural producto de las precipitaciones en la subcuenca, para un valor de 370,95 hm^3 anuales.

Este volumen corresponde básicamente a la escorrentía superficial de la subcuenca, en presencia de precipitaciones, en otras palabras, es la oferta natural.

5.1.1.7 Retornos de volumen de Agua

A continuación, se muestran los retornos de agua a nivel superficial para la subcuenca, estos se generan de manera mensual y en hectómetros cúbicos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Aporte superficial por retorno de agua, en hm^3

Volumen aportado por retorno, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,0084	0,0076	0,0084	0,0074	0,0076	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0394

Los volúmenes denominados como retornos de agua se muestran en el cuadro anterior; en este caso dicho volumen se asumió utilizando un retorno de agua del 10% (SEGOB, 2015) de lo otorgado en la resolución de cada concesión, esto cuando se utiliza el recurso hídrico con fines agrícolas.

A su vez se puede observar que, en algunos meses, específicamente después de abril hasta diciembre no se presentan datos, esto se debe a que los retornos son tomados solo de las concesiones que fueron otorgadas con fines de producción agrícola, por lo cual se otorga la concesión solo para utilizarla con fines de riego en la época de estiaje.

Para determinar dicho retorno se utilizaron dos expedientes (Dirección de Agua, 2013) ya que son los únicos registros que se tienen de aprovechamiento de aguas superficiales, en este caso directamente sobre el río Corredores, específicamente para regar arroz.

5.1.1.8 Oferta potencial de la subcuenca

La oferta potencial se calculó utilizando la ecuación 5, obteniéndose resultados mensuales como se muestra en el (Cuadro 11).

Oferta Potencial, en hectómetros cúbicos													
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Escurrimiento por cuenca propia	-1,70	-1,20	-1,06	9,92	50,74	37,24	39,83	51,88	54,34	68,66	52,85	9,47	370,95
Volumen de retorno	0,008	0,008	0,008	0,007	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,039
Oferta Potencial	-1,69	-1,19	-1,05	9,93	50,74	37,24	39,83	51,88	54,34	68,66	52,85	9,47	370,99

Cuadro 11. Volumen ofertado por la subcuenca, en hm^3 .

En el cuadro anterior, se evidencia los volúmenes generados por escurrimiento por subcuenca propia, básicamente estos corresponden al comportamiento natural de la subcuenca, ya que este volumen se obtiene al realizar la diferencia entre la lluvia que cae en toda la subcuenca y los procesos naturales, tales como: evapotranspiración de las plantas, intercepción de bosques y por último la infiltración en el suelo, dando origen al escurrimiento, conocido como escurrimiento por cuenca propia.

En este caso se puede observar que se presentan valores negativos en algunos meses, como lo son enero, febrero y marzo, esto sucede debido a que en los mismos se presenta la época de estiaje, por lo cual en ocasiones no se registran precipitaciones, debido a esto la oferta de agua en ese momento no es suficiente para satisfacer las necesidades antes mencionadas.

A su vez se puede observar que, conforme pasan los meses se nota un aumento en la oferta, esto se debe a que comienzan a aparecer las precipitaciones de manera más prolongada, contribuyendo así con los procesos naturales, sencillamente esto se puede entender visualizando el comportamiento de la vegetación en la época de estiaje, donde las plantas comienzan a deshidratarse y mostrar una coloración más opaca, reflejando así la falta de agua en el suelo.

Cabe mencionar que estos parámetros dependen de muchos factores, como lo son el tipo de suelo de la zona, vegetación, temperatura, radiación solar, entre otras, por lo cual el comportamiento del área depende mucho de su ubicación.

Se puede observar que los valores de oferta crecen en los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre, siendo octubre el mes donde más escorrentía presenta la subcuenca, estos se deben a que este mes registra las precipitaciones más altas.

Con respecto a los volúmenes de retorno a las fuentes, se tienen valores poco significantes, esto debido a que en la base de datos de la DA solo se tienen registrados dos derivaciones del río Corredores con fines de riego en cultivo de arroz.

Finalmente se suman estos dos volúmenes para obtener la oferta de la subcuenca del río Corredores, obteniéndose un caudal $370,99 \text{ hm}^3/\text{año}$, correspondiendo este a la escorrentía anual que genera la subcuenca a nivel superficial.

5.1.2 Demanda de la subcuenca

A continuación, se presenta los volúmenes de consumo de la subcuenca a nivel superficial, en el (Cuadro 12).

Cuadro 12. Consumo a nivel superficial en la subcuenca, en hm^3 .

Volumen de consumo, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
0,183	0,166	0,183	0,170	0,175	0,168	0,174	0,174	0,168	0,174	0,168	0,175	2,081

De igual manera que en la situación anterior se tiene poca información sobre los aprovechamientos de las fuentes a nivel superficial (ríos y quebradas), por lo cual, dicho volumen se calculó basándose en las concesiones actualmente registradas en la base de datos, obteniéndose un valor anual de consumo de $2,081 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Es importante mencionar que para este cálculo se presentaban cinco concesiones, de las cuales 3 están otorgadas para utilizarse solo en algunos meses, ya que estas son utilizadas para riego de arroz, por lo cual se los otorga el permiso solo en los meses correspondientes a la época de estiaje, debido a esto se registran los valores de consumo más elevado en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, ya que ellos corresponden a esta época.

5.1.3 Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca

Obtenido la oferta potencial como se presentó anteriormente y ya con la demanda calculada se obtuvo el volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, es decir la diferencia entre la oferta potencial y la demanda potencial, ecuación 15. Dicha diferencia genera el volumen de escurrimiento en la salida de la subcuenca, ver (cuadro 13).

Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Oferta Potencial	-1,69	-1,19	-1,05	9,93	50,74	37,24	39,83	51,88	54,34	68,66	52,85	9,47	370,99
Demanda potencial	0,18	0,17	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	2,08
Escurrimiento a la salida de la subcuenca	-1,87	-1,36	-1,23	9,76	50,57	37,07	39,66	51,71	54,17	68,49	52,68	9,30	368,91

Cuadro 13. Escurrimiento a la salida de la subcuenca, en hm^3

En el cuadro anterior se muestra el comportamiento mensual de la subcuenca del río Corredores en cuando a oferta y demanda se refiere, por medio de la diferencia entre ambas variables se logra determinar el volumen de escurrimiento que se tendrá en el punto más bajo de la subcuenca, en otras palabras, en el punto de aforo.

De igual manera como se mencionó anteriormente en el apartado de la oferta potencial, los meses de enero y febrero siguen presentando valores negativos, en este caso más altos, esto se debe a que en esos meses como se explicó anteriormente, no se cuenta con oferta hídrica, ya que en su mayoría no se presentan precipitaciones, lo cual suele ser una época de estiaje marcada en esos tres meses.

Los valores negativos aumentan en este caso debido a que, aunque no haya oferta en ese tiempo la demanda si existe, ya que los ríos en esta época conservan el caudal ecológico, debido

a la recarga subterránea generada por los acuíferos, es por este motivo que los ríos no cesan del todo su cauce en esta época, sino que presentan un caudal base.

Por lo cual es importante mencionar que el volumen de agua que se está consumiendo en los meses donde no hay oferta, corresponden al caudal base, por lo cual se está dando un aprovechamiento del caudal que aporta el acuífero al río, debido a esto surge la importancia de salvaguardar el caudal ecológico de las fuentes superficiales. En la actualidad no se cuenta con certeza que el caudal ecológico es el 10% en ningún estudio, pero se asume debido a que es el porcentaje utilizado por la DA para obtener algunos cálculos.

Ahora, la contra parte de esta situación se tiene cuando se empiezan a presentar precipitaciones con intensidades importantes, lo cual contribuye tanto en generar escorrentía superficial, así como también para recargar las fuentes de agua subterránea, como se puede observar en el mes de marzo, se nota un aumento en la oferta potencial, este incremento se prolonga en los meses correspondientes a invierno, por lo general hasta octubre, ya que en diciembre se nota considerablemente la disminución, para nuevamente volver a la misma situación de déficit hídrico.

Esto se debe a que la hidrología se comporta de manera cíclica, es importante que, aun así, al ser este ciclo un proceso natural, se deben de tomar las medidas para evitar la sobreexplotación de las fuentes en las épocas que no se presenta oferta, sino más bien organizar y planificar una gestión adecuada del recurso hídrico.

En este primer escenario se refleja el comportamiento de la escorrentía superficial en la subcuenca del río Corredores, notándose así la ausencia de registros de concesiones para aprovechamiento del recurso hídrico, ya que en la actualidad se encuentran registradas muy pocas para la zona. Por lo cual conlleva a tener un caudal anual de escurrimiento en la salida del río Corredores aproximadamente de $11,69 \text{ m}^3/\text{s}$ sin aplicar el 10% de caudal ecológico.

5.2 Escenario II , balance hídrico superficial contemplando usuarios ilegales

En visitas a campo, siguiendo los indicadores; riego, consumo humano y Agropecuario se determinaron una serie de aprovechamientos ilegales, en este escenario se mostrarán solamente los que corresponden a aguas superficiales (Cuadro 14).

Cuadro 14. Usuarios ilegales según tipo de uso y fuente

Aprovechamientos ilegales			
CRTM05			
Coordenada Norte	Coordenada Este	Fuente	Uso
967944	615115	Quebrada	Agropecuario
967820	615165	Quebrada	Agropecuario
967067	615208	Quebrada	Agropecuario
967924	615444	Quebrada	Agropecuario
968031	615677	Quebrada	Agropecuario
960144	615078	Rio	Acuicultura
966603	616983	Quebrada	Agropecuario
966666	615280	Quebrada	Agropecuario
958229	608573	Quebrada	Agroindustrial
966284	615126	Quebrada	Consumo Humano
966284	615126	Quebrada	Acuicultura
965454	616807	Quebrada	Agropecuario

Se puede evidenciar en el cuadro anterior, la clasificación de los aprovechamientos ilegales encontrados en las visitas realizadas a campo, donde predominan los usos destinados a

la agricultura, principalmente para satisfacer las necesidades de los cultivos mediante la utilización de riego en la época de estiaje.

De igual manera, con la ayuda de los indicadores, específicamente el de uso agropecuario, se logró dar con una granja porcina ubicada a un costado de la carretera interamericana (sentido a ciudad Neily), dicha compañía cuenta con al menos cuatro captaciones diferentes en la quebrada Mina, utilizando caudales sumamente altos, ya que cuentan con un aproximado de 2500 cerdos, utilizando el agua para abrevadero 15 litros/día/cerdo y para lavado de instalaciones 65 litros /día /cerdo (Dirección de Aguas), lo cual se convierte en un aprovechamiento diario de 80 litros/día/cerdo, correspondiendo esto a un volumen de agua diario de 200000 litros, ya que cuentan con alrededor de 2500 cerdos: Es importante mencionar que estos caudales son los recomendados por la DA, es decir los caudales utilizados realmente suelen ser mucho mayores debido a la falta de regulación, lo cual aumentaría la demanda y disminuiría el escurrimiento a la salida de la subcuenca.

A su vez se presentan personas utilizando de manera ilegal el recurso hídrico para su consumo humano, no obstante, es importante mencionar que en la mayoría de los casos que se presenta esta situación es porque las personas no cuentan con servicio de agua potable en sus comunidades, lo cual se abarcara en el análisis social actual.

5.2.1 Oferta potencial de la subcuenca

En este escenario de ilegales, se trabajó con la misma oferta potencial generada en el primer escenario, correspondiendo está a la oferta potencial superficial.

Cabe mencionar que se realizó de esta manera, debido a que no es posible cuantificar el aporte de las fuentes captadas ilegalmente a la subcuenca, principalmente por motivos de tiempo, ya que para acceder a las tomas es necesario contar con previa autorización y apoyo de

personeros del SINAC y fuerza pública, ya que en ocasiones los funcionarios se han enfrentado a situaciones penales por acceder a propiedades sin el respectivo permiso, así como también los involucrados (Ilegales) en ocasiones arremeten en contra de los funcionarios, por lo cual queda abierta la posibilidad de calcular este aporte en estudios posteriores y así acercarse aún más al comportamiento real de la subcuenca.

5.2.2 Demanda de la subcuenca

Como se mencionó anteriormente, basándose en los caudales propuestos por el manual de dotaciones, se generó un cuadro donde se presentan los valores mensuales, posteriormente se obtuvo el volumen anual en hectómetros cúbicos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Volumen de demanda ilegal superficial, en hectómetros cúbicos.

Demanda ilegal superficial, en hectómetros cúbicos													
Datos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Ilegales	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,008	0,008	0,008	0,008	0,011	0,118

En la tabla anterior se muestran los volúmenes obtenidos al calcular mensualmente el consumo utilizado por los usuarios ilegales, en las visitas a los lugares según los indicadores se lograron obtener 12 aprovechamientos ilegales, estos para distintos usos, que van desde uso agrícola (riego), consumo humano y agropecuario, para obtener un valor de $0,118 \text{ hm}^3$.

Ahora bien, se realizó el cálculo de la demanda total a nivel superficial, considerando la demanda generada por ilegales y la demanda calculada en el primer escenario, basándose esta última en los datos con los que cuenta la dirección, se muestra en la siguiente (Cuadro 16).

Cuadro 16. Demanda total superficial contemplando ilegales y demanda de concesiones, en hectómetros cúbicos.

Demanda total a nivel superficial, en hectómetros cúbicos													
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Demanda ilegal	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
Demanda de concesiones	0,18	0,17	0,18	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	2,08
Total	0,19	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	2,20

Se tienen los volúmenes mensuales obtenidos al sumar los volúmenes de consumos generados por los usuarios ilegales y los calculados según las concesiones que se tienen registrados, obteniéndose un volumen anual de 2,20 $hm^3/año$.

Es importante mencionar que este valor se acerca más a la realidad en cuanto a consumo se refiere en la subcuenca, aun así, no es posible contabilizar todos los aprovechamientos ilegales que se encuentran en la zona, debido a razones por falta de tiempo, accesibilidad, entre otras, ya que la subcuenca del río Corredores presenta una extensión de 26779,82 hectáreas.

De igual manera queda anuente obtener más información acerca de aprovechamientos ilegales, esto para estudios posteriores, el realizar una contabilización más exhausta de los posibles ilegales existentes, planificando barridos en conjunto con otras instituciones.

5.2.3 Volumen de escurrimiento en la salida de la subcuenca

Seguidamente se presenta el volumen de escurrimiento que se tendrá a la salida de la subcuenca en este escenario. (Cuadro 17).

Cuadro 17. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos

Volumen de escurrimiento a la salida de la subcuenca, en hectómetros cúbicos													
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Oferta Potencial	-1,69	-1,19	-1,05	9,93	50,74	37,24	39,83	51,88	54,34	68,66	52,85	9,47	370,99
Demanda	0,19	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	2,20
Escurrimiento a la salida de la subcuenca	-1,88	-1,37	-1,24	9,75	50,55	37,06	39,65	51,70	54,16	68,48	52,67	9,28	368,79

En la tabla anterior se puede observar que, la diferencia entre el escurrimiento a la salida de la subcuenca en el primer escenario es mínima en comparación con el escurrimiento a la salida de la cuenca en el segundo escenario, esto se debe a que el volumen que se tiene por aprovechamientos ilegales es poco significativo en comparación con la oferta de la subcuenca.

En este escenario se tienen un volumen de escurrimiento por cuenca propia de 368,79 $hm^3/año$. Mientras que en el primer escenario se tiene un volumen de escurrimiento por subcuenca propia de 368,91 $hm^3/año$, presentando una diferencia anual de 0,12 hm^3 , se muestra en la siguiente (cuadro 18).

Comparación entre el volumen de escurrimiento a la salida de la subcuenca, en hectómetros cúbicos													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Primer escenario	-1,87	-1,36	-1,23	9,76	50,57	37,07	39,66	51,71	54,17	68,49	52,68	9,30	368,91
Segundo escenario	-1,88	-1,37	-1,24	9,75	50,55	37,06	39,65	51,70	54,16	68,48	52,67	9,28	368,79
Diferencia	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,12

Cuadro 18. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos.

Anteriormente en la tabla se presentan los volúmenes de escurrimiento a la salida de la subcuenca, correspondientes al primer y segundo escenario, donde se contempla los volúmenes de consumo según los datos registrados en la base de datos de la DA y los volúmenes obtenidos mediante el manual de dotaciones, los cuales corresponden a aprovechamientos ilegales.

En los meses de enero, febrero y marzo se nota un aumento en los volúmenes del escenario dos en comparación con el primer escenario, solo que en esta ocasión aumentando en un $0,01 \text{ hm}^3$, debido a la presencia de nuevos volúmenes de consumo por parte de los consumos ilegales, sin embargo, en el caso de los meses restantes se evidencia una disminución en el volumen de salida, debido al aumento ocasionado por el consumo de manera ilegal, siendo este este volumen de $0,01 \text{ hm}^3$, resultando una disminución anual en el volumen de salida de la cuenca de $0,12 \text{ hm}^3$, con respecto al primer escenario.

En esta ocasión al contemplar los usuarios ilegales, se tiene un acercamiento más acertado a las condiciones reales que se presentan en la subcuenca del río Corredores, lo cual es sumamente importante ya que basándose en estos resultados se obtiene información para realizar gestiones de distribución posteriores, así como también para un mejor control en cuanto aprovechamientos ilegales.

5.3 Escenario III , balance integral utilizando la información actual

En esta ocasión se utilizará la ecuación 18, ya que para fines de mostrar la situación actual en cuestión de concesiones es necesario cuantificar el volumen aportado por manantiales y extracciones por bombeo, ya que la mayoría de las concesiones registradas con las que cuenta la DA corresponden a nacientes (manantiales) y pozos (extracciones por bombeo), de igual manera estas variables se tomarán en cuenta para el cálculo de la demanda (consumo).

Al igual que en los escenarios anteriores, se partirá de los volúmenes de escurrimiento por cuenca propia calculados en el primer escenario, con la única variación que en este apartado se tomarán en la oferta potencial, los aportes generados por nacientes y extracciones de bombeo, de igual manera estos serán tomados en la demanda potencial en la sección de uso de consumo.

5.3.1 Oferta potencial

5.3.1.1 Volumen aportado por manantiales

Este volumen se obtuvo utilizando el caudal aforado que se encuentra en la ficha de información técnica de cada expediente, dicho caudal fue aforado por funcionarios de la DA en las visitas técnicas de campo previamente antes de otorgar la concesión.

La DA cuenta con una cantidad de 14 nacientes registrados con concesión en la subcuenca del río Corredores, de ellos 11 cuentan con registro de caudal, siendo estos con los que se realizó el siguiente cálculo (Cuadro 19).

Cuadro 19. Volumen aportado por manantiales con concesión, en hm^3 .

Volumen aportado por manantiales, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,162	0,147	0,162	0,157	0,162	0,157	0,162	0,162	0,157	0,162	0,157	0,162	1,911

Se puede evidenciar el volumen mensual aportado por los 11 nacientes que se encuentran concesionados ante la DA, esto para tener un aporte a la oferta de la subcuenca por nacientes, correspondiente a un valor de 1,911 hm^3 año, lo cual representa un valor poco significativo, debido a que en la subcuenca se cuenta con una serie de manantiales sin registrar aportando un caudal natural hacia la subcuenca, por lo cual existe un aporte real mayor.

5.3.1.2 Volumen aportado por extracciones de bombeo

Este apartado corresponde a las extracciones realizadas en los pozos, las cuales se convierten en un aporte superficial al llegar a la superficie desde los acuíferos, se realizó el cálculo utilizando los pozos registrados en la base de datos de la DA. (Cuadro 20).

Cuadro 20. Volumen aportado por pozos concesionados, en hm^3

Volumen aportado por pozos, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	1,01

En el caso de los pozos, son muy pocos con los que se tienen registrados en la base de datos, la mayor parte de estos se encuentran en la parte baja de la subcuenca, correspondiente está a las fincas de Palma Tica S.A, específicamente 12 pozos de los cuales, se están utilizando solamente 2 y los otros 10 se encuentran en proceso de sellado, debido a que no se están utilizando, de igual manera no se cuenta con registro de caudal de los que están en uso, por lo cual no se tomaron en cuenta en el estudio.

Se tienen registrados dos pozos concesionados por la Caja Costarricense de seguro social en el sector de Ciudad Neily, y uno de Compact Seeds And Clones en finca de Palma Tica, generando un aporte total por pozos anual de 1.0092 hm^3 .

5.3.1.3 Retornos de volumen de Agua

En este caso se utilizó el valor de volumen de retorno calculado en el primer escenario, correspondiente este a $0,04 \text{ hm}^3$, correspondiente al volumen regresado al río Corredor después de utilizar riego en las fincas arroceras.

5.3.1.4 Oferta hídrica en la subcuenca de río Corredores para balance integrado

Obtenidos los volúmenes de los parámetros anteriores, se procedió a calcular la oferta disponible en la subcuenca en la actualidad, mediante la ecuación 19, se muestra en (cuadro 21).

Cuadro 21. Oferta hídrica total en la subcuenca, en hectómetros cúbicos

Oferta hídrica total por subcuenca, en hectómetros cúbicos	
Aporte por escurrimiento por cuenca propia	370,95
Aporte por manantiales	1,91
Aporte por retorno	0,04
Aporte por extracciones Bombeo	1,01
Oferta total	373,91

Es evidente observar que se cuenta con un aproximado de $373,91 \text{ hm}^3$ anuales disponibles para satisfacer las necesidades hídricas en la zona. A continuación, se muestra la distribución en porcentaje (Figura 7)

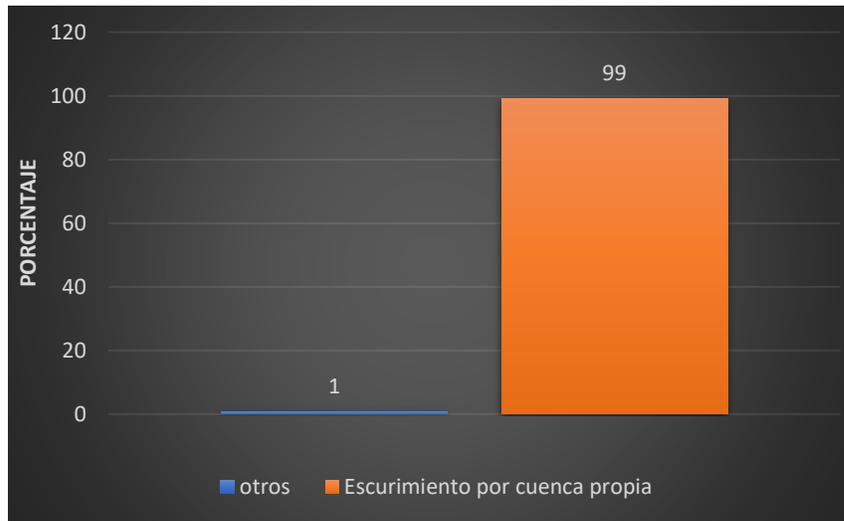


Figura 7. Distribución en porcentaje de la oferta potencial

Se puede observar en la figura anterior que, el 99% de la oferta hídrica de la subcuenca corresponden al escurrimiento superficial, generado por las precipitaciones a lo largo de todo el año, siendo este el parámetro más importante para analizar la disponibilidad hídrica en dicho sector, por otro lado, solo el 1% de la oferta corresponde a otras fuentes, como lo son: los aportes por manantiales (nacientes), extracciones por bombeo y retornos de agua.

5.3.2 Demanda hídrica en la subcuenca

Esta demanda corresponde al caudal aprovechado por los concesionarios tanto en los nacientes como en los pozos, tomando como consumo lo que se dictó en la resolución de la concesión y su respectivo tiempo de uso.

5.3.2.1 Volúmenes de consumo

A continuación, se presentan los valores obtenidos al analizar las concesiones registradas a la fecha. (cuadro 22)

Cuadro 22. Volumen de consumo en manantiales, en hectómetros cúbicos.

Volumen de consumo en subcuenca en manantiales, en hectómetros cúbicos												
En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,50

Se tienen los valores mensuales consumidos por la población en la subcuenca, a nivel de manantial (naciente) esto según la resolución de cada concesión, es importante visualizar que los valores se mantienen de manera constante en algunos meses, esto se debe a que el caudal es otorgado en litros por segundo por lo cual se calculó el consumo por mes variando únicamente según la cantidad de días el mes.

Seguidamente se presenta el volumen de consumo en pozos, se muestra en el (cuadro 23).

Cuadro 23. Volumen de consumo en pozos, en hectómetros cúbicos

Volumen de consumo en subcuenca por medio pozos, en hectómetros cúbicos												
En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,028	0,025	0,028	0,027	0,028	0,027	0,028	0,028	0,027	0,028	0,027	0,028	0,331

De igual manera para el cálculo del volumen consumido en el caso de los pozos, básicamente se realizó de la misma manera, siguiendo la dotación presente en la resolución de

la concesión, ya que esta dotación es calculada tomando en cuentas las necesidades para las cuales se está solicitando dicha concesión.

En el caso de los pozos, se tienen un volumen anual de consumo correspondiente a 0,331 hm^3 , es importante mencionar que para este calculo se utilizaron solo los pozos que se encuentran concesionados.

De igual manera, también se cuantifico un volumen de consumo en las fuentes superficiales restantes, para ello se utilizó el volumen de consumo obtenido en el primer escenario, se muestran en la siguiente Cuadro 24.

Cuadro 24. Volumen consumo en fuentes superficiales, en hectómetros cúbicos.

Volumen de consumo, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
0,19	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	2,20

En la tabla anterior se muestra un volumen anual relativamente mayor en comparación con los demás volúmenes de consumo, esto se debe a la presencia de una empresa dedicada a la industria cárnica, la cual genera una gran demanda de consumo hídrico para sus procesos, según el manual de dotaciones se requieren 10 litros por cada kilogramo procesado, al igual en este volumen de consumo se contemplan tanto los registrados en la base de datos de la Dirección, así como también el consumo ilegal.

Una vez teniendo el volumen de consumo tanto de nacientes, pozos, quebradas y ríos, se calculó la demanda total para la subcuenca, se evidencia en el Cuadro 25

Cuadro 25. Volumen total de consumo, en hectómetros cúbicos.

Volumen total de consumo, en hectómetros cúbicos													
Fuente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Manantiales	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,50
Pozos	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,33
Ríos, quebradas	0,19	0,18	0,19	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	2,20
Total, consumo	0,26	0,24	0,26	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	3,03

El volumen de consumo total generado por las fuentes analizadas mensualmente presenta un volumen anual total de 3,03 $hm^3/año$, lo cual corresponde al volumen extraído de la subcuenca para satisfacer las necesidades hídricas de la población existente en la subcuenca, en distintos usos, se presenta el porcentaje para cada uso de sus usos (Figura 8).

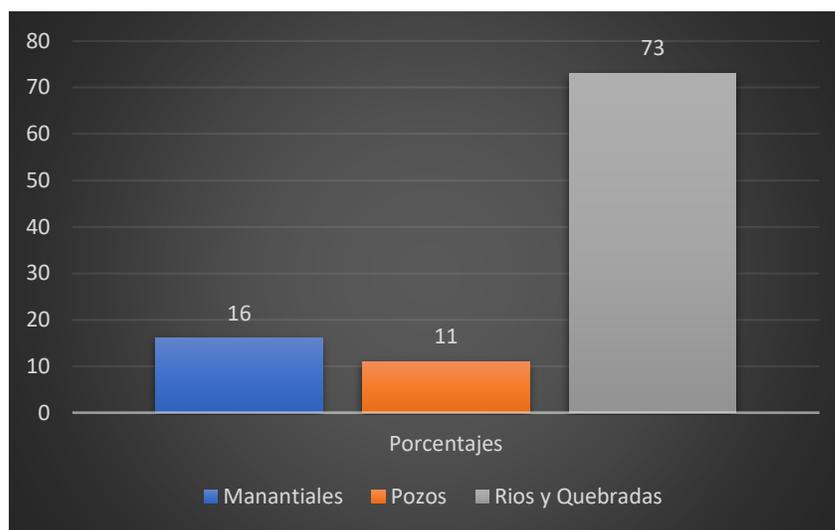


Figura 8. Volumen consumo en porcentaje.

En la figura anterior se puede observar el porcentaje de consumo según el tipo de fuente que se está aprovechando, donde se tiene que el 72 % del volumen de consumo corresponden al extraído por ríos y quebradas, siendo esta la fuente más utilizada por las personas según la información que se tienen en la base de datos de la DA en la actualidad, seguidamente el 17% corresponden a los nacientes y finalmente el 11% del volumen consumido corresponde a los pozos.

Según esto, el consumo a nivel superficial se ubica como la fuente más utilizada en cuanto a consumo, en esta subcuenca sucede de esta manera, debido a que se cuentan con dos derivaciones importantes en la margen del río Corredores como se mencionó en el inicio de los resultados, esto para cultivar arroz inundado.

El segundo lugar lo tienen los nacientes, debido a que en la zona se abastecen algunas comunidades por medio de ASADAS, como en el caso de Miramar de Abrojo, Puntarenas y Abrojo-Montezuma.

5.3.3 Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca

Este volumen corresponde a la diferencia entre la oferta potencial y la demanda potencial de la subcuenca, dando como valor al volumen de agua en la salida de la subcuenca, se evidencia en el (cuadro 26).

Cuadro 26. Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, en hectómetros cúbicos

Volumen de escurrimiento, en hectómetros		
Oferta Potencial	Demanda	Volumen escurrimiento
373,91	3,03	370,88

Se puede observar el volumen ofertado por la subcuenca del río Corredores para un valor de 373,91 $hm^3/año$ y una demanda de consumo de 3,03 $hm^3/año$, obteniéndose un volumen

de escurrimiento a la salida de la subcuenca de $370,88 \text{ hm}^3/\text{año}$, el cual corresponde al caudal disponible aguas debajo de la subcuenca para ser aprovechado de manera racional y equitativa.

No obstante, a pesar de que la oferta sobrepasa la demanda anualmente, se presentan meses donde la oferta es menor que la demanda potencial, se muestra en la siguiente (Figura 9)

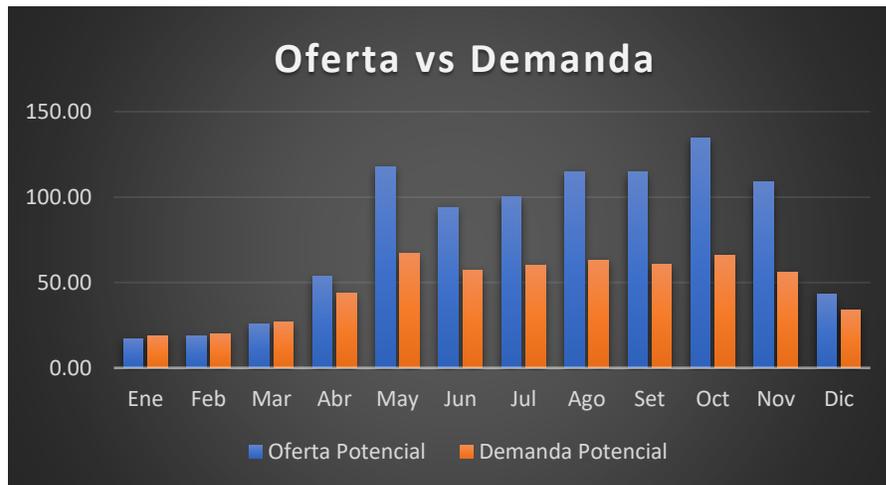


Figura 9. Oferta vs demanda mensual, en hm^3 .

En la figura anterior, se tiene la comparación entre la oferta y demanda hídrica de la subcuenca del río Corredores, cabe mencionar que se utilizó como oferta, el aporte obtenido mediante las precipitaciones, manantiales, extracciones por bombeo y retornos de agua.

Por otro lado, para la demanda se usaron el volumen utilizado por los procesos naturales, tales como evapotranspiración, infiltración e intercepción, así como también los usos de consumo correspondiente a nacientes, pozos, ríos y quebradas.

Ahora bien, dicho grafico nos muestra el comportamiento mensual de la subcuenca, evidenciándose un déficit hídrico para los meses de enero, febrero y marzo, donde la demanda supera ligeramente la oferta de la subcuenca, conforme se avance en el grafico a razón mensual, se nota el aumento de la oferta, ya que esta es directamente proporcional a las precipitaciones,

ambas aumentan, es por eso que , los meses donde la subcuenca puede ser explotada comienzan a partir de mayo hasta noviembre, ya que es notable en medida la disponibilidad hídrica.

5.4 Escenario IV, balance integral utilizando la información actual y usuarios ilegales

Es importante mencionar que este escenario, es el que se utilizara finalmente para determinar el caudal generado por la subcuenca aguas abajo del río Corredores, ya que en este escenario se contemplaran los datos acumulados en cada escenario, esto con la finalidad de obtener el comportamiento más acertado a la actualidad en cuestión del comportamiento hidrológico de la subcuenca del río Corredores.

Al igual que en el segundo escenario, se realizó un levantamiento de ilegales en las zonas donde se encuentra más presencia de aprovechamientos ilegales según los indicadores (Figura 10).

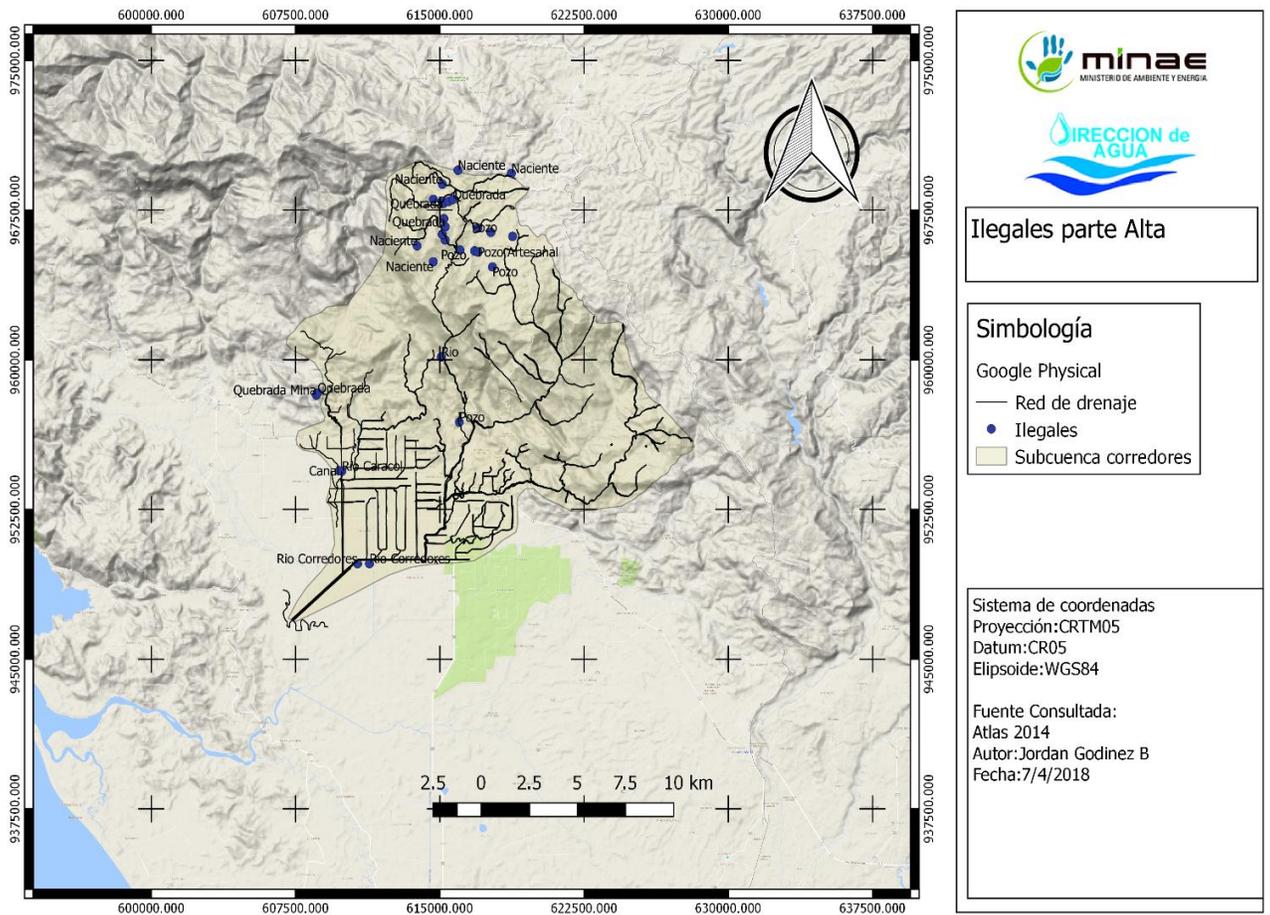


Figura 10. Usuarios ilegales en la parte alta de la subcuenca.

Se puede observar en la Figura 10, que se tienen la mayoría de los usuarios ilegales en la parte alta de la subcuenca, además, es importante mencionar que en las visitas de forma visual y mediante las consultas realizadas a las personas en el lugar se logró determinar el aprovechamiento que se está dando y el tipo de fuente utilizada, posteriormente basándose en el manual de dotaciones se calculó un volumen de consumo para cada ilegal.

A su vez, en este escenario se contemplan los usos ilegales en fuentes como nacientes, pozos, ríos y quebradas.

No obstante, es importante mencionar que en los casos donde se utiliza la fuente para riego, se asumieron las mismas características para todos los aprovechamientos, asumiendo una misma área de 0,3 ha para todos, se hizo de esta manera ya que se consultó con los dueños de predios y se promediaron las áreas.

De igual manera es importante mencionar que la única variación en el cálculo de dotaciones con fines de riego corresponde a el tipo de riego que se está utilizando, ya que la eficiencia es diferente, por otro lado, los volúmenes calculados corresponden a los meses correspondientes a la época de estiaje, desde diciembre-abril, añadiendo mayo y junio, debido a que se encuentra presencia de riego en la zona en dichos meses.

Mientras se realizan las inspecciones en el campo, se determinó que algunos de los usuarios ilegales correspondían a personas que no cuentan con acceso al servicio de agua potable brindado por el AYA.

Se utilizo una dotación de 0,1 litros/segundo/vivienda, contemplando riego de media hectárea según lo menciona la Ley de Aguas Vigente 276, dentro del uso doméstico, según artículo 37.

A continuación, en (cuadro 27) se muestran la clasificación de usos ilegales encontrados en la zona.

Cuadro 27. Clasificación de usuarios ilegales totales encontrados en la subcuenca

Aprovechamientos ilegales			
Norte	Este	Fuente	Uso
966180	618782	Naciente	Riego
964650	617736	Pozo	Riego
969497	615942	Naciente	Riego
968793	615133	Naciente	Riego
968037	614662	Naciente	Domestico
967944	615115	Quebrada	Riego
967820	615165	Quebrada	Riego
967067	615208	Quebrada	Riego
967924	615444	Quebrada	Riego
968031	615677	Quebrada	Riego
965710	613813	Naciente	Consumo Humano
960144	615078	Rio	Estanque
969342	618721	Naciente	Riego
966603	616983	Quebrada	Riego
966384	617656	Pozo	Domestico
966666	615280	Quebrada	Riego
954423	609904	Rio Caracol	Industrial
954435	609770	Canal	Industrial
958229	608573	Quebrada Mina	Agropecuario
956877	616012	Pozo	Turismo
965996	615280	Naciente	Riego
966284	615126	Quebrada	Consumo Humano
966284	615126	Quebrada	Agropecuario
964908	614656	Naciente	Consumo Humano
965494	616049	Pozo	Consumo Humano
965454	616807	Quebrada	Riego
965396	616984	Pozo Artesanal	Riego
965396	616984	Pozo Artesanal	Riego

Se tienen aproximadamente 28 usuarios ilegales, distribuidos en aprovechamientos subterráneos y superficiales, así como también según su uso.

5.4.1 Oferta potencial de la subcuenca

De igual manera que en el segundo escenario, en este no se contabilizó los aportes generados por las fuentes, por las mismas situaciones mencionadas anteriormente (Accesibilidad, tiempo, personal, disponibilidad, etc.), por lo cual, el estudio queda abierto y anuente a modificaciones y contabilizaciones futuras.

Sin embargo, la oferta potencial se trabajó de la misma manera que en el escenario tres, ya que en este escenario la única variación corresponde al volumen consumido por los usuarios ilegales, se muestra en la (Cuadro 28).

Cuadro 28. Oferta potencial, en hectómetros cúbicos

Oferta Potencial, en hectómetros cúbicos													
Aporte	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Escorrentía cuenca propia	-1,70	-1,20	-1,06	9,92	50,74	37,24	39,83	51,88	54,34	68,66	52,85	9,47	370,95
Manantiales	0,16	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,91
Pozos	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	1,01
Retorno	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Total	-1,44	-0,96	-0,80	10,17	50,99	37,47	40,08	52,13	54,57	68,91	53,08	9,72	373,91

5.4.2 Demanda de la subcuenca

Como se ha mencionado en escenarios anteriores, para el manejo del caudal de consumo de los ilegales se implementó lo dictado en el manual de dotaciones según sea el caso, en este

apartado se tienen una demanda por uso de manantiales, pozos, ríos y quebradas, a diferencia del segundo escenario, donde solo se contemplaban los ilegales a nivel superficial.

De igual manera en este escenario se contempla la misma demanda obtenida en el escenario tres, ya que simplemente se le suma el volumen consumido por los aprovechamientos ilegales.

Seguidamente en el (Cuadro 29), se muestran los volúmenes de consumo pertenecientes a los manantiales (nacientes), en este caso se cuenta con 8 aprovechamientos ilegales, los cuales se calcularon para obtener volúmenes mensuales y anuales.

. Cuadro 29. Volumen de consumo ilegal en nacientes.

Volumen de consumo ilegal en nacientes, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,019	0,017	0,019	0,018	0,019	0,018	0,019	0,017	0,017	0,017	0,017	0,019	0,216

Se puede evidenciar los volúmenes de consumo ilegal en manantiales (nacientes), presentando los valores mayores en la época de estiaje, esto se debe a que son explotados para aplicar riego en cultivos de hortalizas y consumo humano, obteniéndose un valor anual de 0,216 hm^3 . En el (Cuadro 30) se muestra el volumen de consumo en pozos ilegales.

Cuadro 30. Volumen de consumo ilegal en pozos.

Volumen de consumo ilegal en pozos, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
0,010	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,118

Se observa los valores de consumo utilizados de manera ilegal en pozos, los cuales no se encuentran inscritos ante la DA, predominando de igual manera el aprovechamiento para riego de cultivos agrícolas y consumo humano, se evidencian los valores más elevados en los meses de abril, mayo, junio y julio, con 0,010 hm^3 , a su vez se tienen un valor de 0,118 hm^3 anuales, (Cuadro 31).

Cuadro 31. Consumo de ilegales a nivel superficial

Volumen de consumo ilegal a nivel superficial, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Octu	Nov	Dic	Anual
0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,008	0,008	0,008	0,008	0,011	0,118

Los volúmenes de consumo mayores a nivel superficial se presentan en los meses contemplados en la época de estiaje, tal como sucedió en los casos mencionados anteriormente, obteniéndose un volumen anual de 0,118 hm^3 , (Cuadro 32).

Cuadro 32 Consumo ilegal total, en hectómetros cúbicos

Volúmenes totales ilegales de consumo, en hectómetros cúbicos													
Fuente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Octu	Nov	Dic	Anual
Nacientes	0,019	0,017	0,019	0,018	0,019	0,018	0,019	0,017	0,017	0,017	0,017	0,019	0,216
Pozos	0,010	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,118
Superficial	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,008	0,008	0,008	0,008	0,011	0,118
Total	0,040	0,037	0,040	0,039	0,040	0,039	0,040	0,034	0,033	0,034	0,033	0,040	0,452

El cuadro anterior, corresponde a la suma de todos los volúmenes de consumo aprovechados ilegalmente, en nacientes, pozos y aguas superficiales (ríos, lagos), obteniéndose

un valor anual de consumo total de $0,452 \frac{hm^3}{año}$, de igual manera se puede observar en porcentaje los aprovechamientos para distintas fuentes (Figura 11)

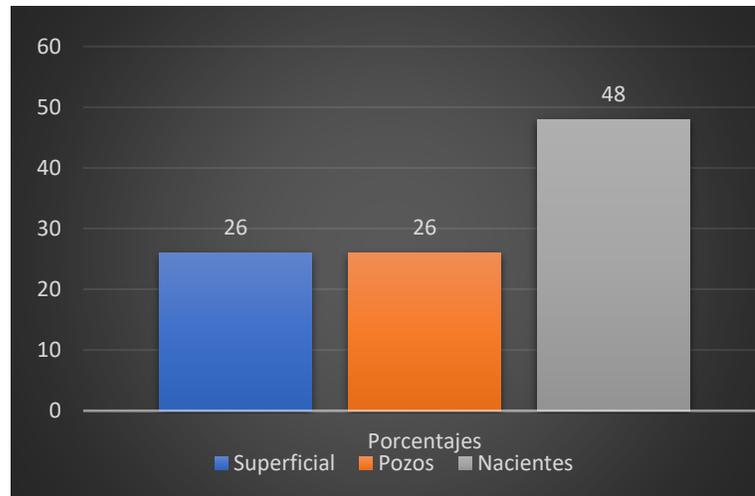


Figura 11. Porcentajes de consumo, en hectómetros cúbicos.

En el grafico se puede evidenciar los porcentajes de consumo según el tipo de fuente, donde se puede afirmar que el 48 % de los aprovechamientos ilegales se dan en nacientes, esto se debe a que en el campo se notan las necesidades hídricas en las comunidades al no contar con acueducto, por lo cual todas estas familias recurren a la utilización de los nacientes para consumo humano.

A su vez se obtienen un valor de 26% de aprovechamientos ilegales en agua superficial, tales como ríos y quebradas, en las visitas de campo se logró determinar que los involucrados utilizan estas fuentes para implementar riego a sus cultivos debido a una facilidad de transporte desde la quebrada o río hasta los terrenos cultivos, de igual manera sucede con los pozos, los cuales tienen un 26 % de aprovechamiento.

De igual manera se presenta el volumen de consumo total, en este escenario, dicho valor corresponde a la suma del volumen de consumo obtenido por las concesiones más el volumen de consumo calculado por el manual de dotaciones para los ilegales, se tiene la (Cuadro 33)

Cuadro 33. Consumo total (ilegales y concesionados), en hectómetros cúbicos.

Volumen total de consumo (ilegales y concesionados) , en hectómetros cúbicos													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Concesiones	0,26	0,25	0,26	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	3,03
Ilegal	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,45
Total	0,30	0,29	0,30	0,29	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,30	3,48

Se tiene un volumen de consumo de $3,48 \text{ hm}^3/\text{año}$.

5.4.3 Volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca

Una vez obtenida la demanda en la subcuenca contemplando los ilegales y las concesiones correspondientes a nacientes, pozos y fuentes superficiales, se llevó a cabo el cálculo del escurrimiento aguas abajo de la subcuenca, se muestra en el (Cuadro 34)

Cuadro 34. Volumen de escurrimiento a la salida de la subcuenca

Volumen de escurrimiento, en hectómetros		
Oferta Potencial	Demanda potencial	Volumen escurrimiento
373,91	3,482	370,428

Mediante la diferencia entre oferta y demanda se obtuvo el volumen de escurrimiento aguas abajo de la subcuenca del río Corredores, como se mencionó anteriormente, este escenario corresponde al que más se asemeja a la realidad que se tiene en la subcuenca, es decir, en este apartado se abarca el escenario más crítico en cuanto a demanda se refiere, por lo cual es el valor a utilizar para compararlo con el caudal aforado en el río Corredores, como se muestra en los apartados.

Es importante mencionar que estos $370,428 \text{ hm}^3/\text{año}$, corresponde a un caudal en la desembocadura del río Corredores de $11,74 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.5 Condición de aporte superficial por parte de los canales al río Corredor

En esta ocasión, se decidió dividir la subcuenca del río Corredores en cuatro secciones denominadas microcuenca parte alta, media y baja, contemplando los ríos Abrojo, Caracol, Caño seco, Nuevo (Figura 12), siendo estos los principales afluentes al río Corredor, esto con la finalidad de determinar el aporte generado en estas secciones, para posteriormente mediante una diferencia de escurrimiento entre estas y la sección de la subcuenca total determinar el escurrimiento en la parte baja de la subcuenca, en otras palabras, determinar el aporte por los canales.

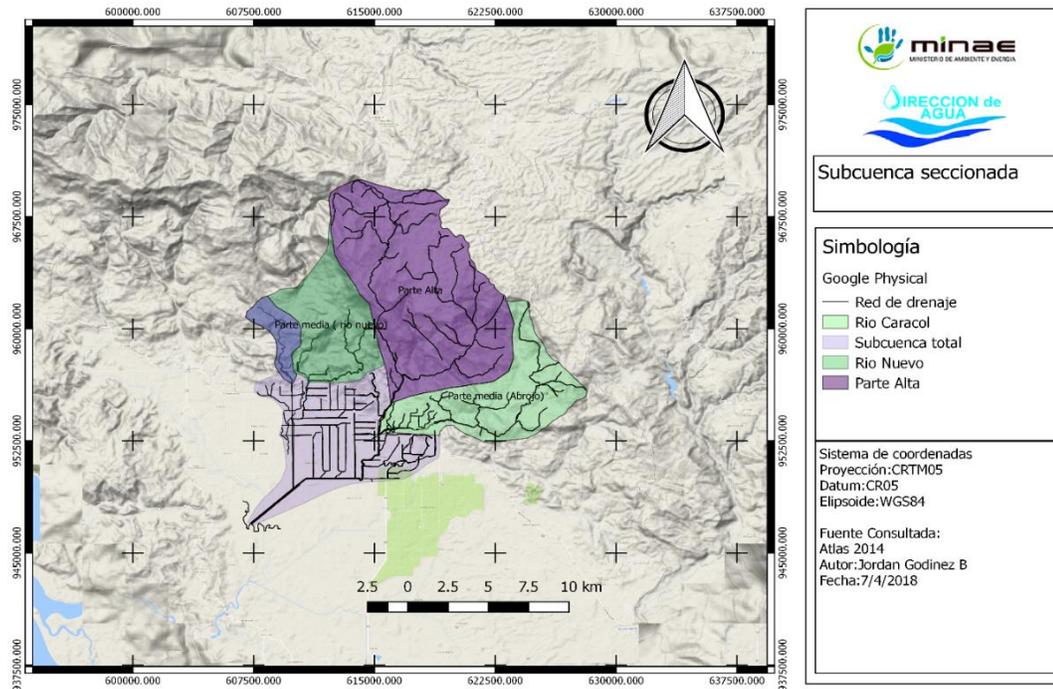


Figura 12. Microcuencas comprendidas en la subcuenca del río Corredor.

Cabe recalcar que para averiguar el escurrimiento en la salida de la microcuenca parte baja (canales) mediante una diferencia entre las secciones escogidas y la subcuenta total se utilizó el volumen para la subcuenta total correspondiente al escenario 2 del balance hídrico superficial, refiriéndose al balance hídrico contemplando ilegales, ya que se considera la situación más cercana a la actualidad, a nivel superficial.

5.5.1 Oferta hídrica para todas las secciones

5.5.1.1 Volumen de escurrimiento por la subcuenca propia en la parte alta

En esta ocasión como la precipitación fue calculada para toda la subcuenca en estudio, arrojando un valor de 3541,90 mm/año, se procedió a trabajar con los mismos valores de

precipitación, ya que el programa NASA GIOVANNI genera datos de valores promedios para un área específica, en este caso para toda la subcuenca, por consiguiente, dicho valor de precipitación corresponde a todas las secciones

La única variación en este caso será en las áreas de cada sección, se muestra en el siguiente (Cuadro 35)

Cuadro 35. Volumen de consumo en las secciones que conforman la subcuenca, en hm^3

Volumen de precipitación mensual en las secciones, en hectómetros cúbicos													
Sección	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Seti	Oct	Nov	Dic	Anual
Parte alta	6,88	7,39	10,30	21,60	47,64	38,04	40,40	46,51	46,43	54,44	43,94	17,47	381,03
Abrojo	3,09	3,32	4,62	9,69	21,38	17,07	18,13	20,87	20,83	24,43	19,72	7,84	170,98
Rio Nuevo	2,38	2,56	3,56	7,47	16,47	13,15	13,97	16,08	16,05	18,82	15,19	6,04	131,73
Rio caracol	0,56	0,60	0,83	1,75	3,86	3,08	3,27	3,77	3,76	4,41	3,56	1,42	30,87
Total	12,89	13,86	19,32	40,52	89,34	71,34	75,77	87,23	87,07	102,09	82,41	32,76	714,61

En la tabla anterior, se muestran los volúmenes obtenidos debido precipitaciones anuales para cada una de las secciones en las que se dividió la subcuenca total del río Corredores, siendo la microcuenca correspondiente a la parte alta de la subcuenca la que genera mayor volumen de precipitación con un valor de $714,61hm^3/año$, la cual compuesta por el rio caño seco y rio corredor parte alta.

5.5.1.2 Evapotranspiración

De igual manera, para este cálculo se usó la evapotranspiración calculada para toda la subcuenca del río Corredores, esto por las mismas razones mencionadas anteriormente, ya que

la temperatura fue obtenida en valores promedio para toda la subcuenca, contemplando evidentemente todas las secciones.

Con una única variación, siendo este el volumen de evapotranspiración mensual, el cual se encuentra en función del área en estudio al igual que todas las variables con las que se trabajaron, por lo cual en esta situación se presentaran valores más pequeños de evapotranspiración en comparación con los de toda la subcuenca, para ello se tiene la siguiente (Cuadro 36).

Cuadro 36. Volumen de evapotranspiración real mensual en todas las secciones, en hm^3 .

Evapotranspiración real mensual para las secciones, en hectómetros cúbicos													
Sección	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Parte alta	5,65	5,82	7,86	11,56	13,79	12,34	12,99	12,52	11,46	11,43	10,27	8,76	124,45
Río Abrojo	2,53	2,61	3,53	5,19	6,19	5,54	5,83	5,62	5,14	5,13	4,61	3,93	55,84
Río Nuevo	1,95	2,01	2,72	4,00	4,77	4,27	4,49	4,33	3,96	3,95	3,55	3,03	43,02
Río Caracol	0,46	0,47	0,64	0,94	1,12	1,00	1,05	1,01	0,93	0,93	0,83	0,71	10,08
Total	10,59	10,91	14,73	21,68	25,87	23,15	24,37	23,48	21,49	21,44	19,27	16,42	233,40

De igual manera, se puede observar que, la parte alta obtiene el mayor volumen de evapotranspiración, esto debido a que, al ser un volumen de agua, todas las variables se encuentran en función del área, por lo cual indica que aun mayor incremento de área, mayor serán el valor de las variables.

5.5.1.3 Infiltración

Como se mencionó en páginas anteriores, la subcuenca total presenta suelos inceptisoles y entisoles, por lo cual de igual manera que en los casos anteriores, se partió de un porcentaje de infiltración del 15% para determinar la infiltración en la zona, se muestran a continuación utilizando la información suministrada por el Atlas 2014 de Costa Rica, generándose los volúmenes de infiltración mensual para las tres secciones, (Cuadro 37).

Cuadro 37. Volumen de infiltración en las secciones de la subcuenca, en hm^3

Volumen de infiltración mensual para las secciones, en hectómetros cúbicos													
Sección	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Parte alta	1,03	1,11	1,54	3,24	7,15	5,71	6,06	6,98	6,96	8,17	6,59	2,62	57,15
Abrojo	0,46	0,50	0,69	1,45	3,21	2,56	2,72	3,13	3,13	3,66	2,96	1,18	25,65
Rio Nuevo	0,36	0,38	0,53	1,12	2,47	1,97	2,10	2,41	2,41	2,82	2,28	0,91	19,76
Rio Caracol	0,08	0,09	0,13	0,26	0,58	0,46	0,49	0,57	0,56	0,66	0,53	0,21	4,63
Total	1,93	2,08	2,90	6,08	13,40	10,70	11,37	13,08	13,06	15,31	12,36	4,91	107,19

5.5.1.4 Intercepción

Sucede que, para la intercepción se tienen valores similares, ya que la cobertura vegetal y boscoso es similar en las tres secciones, por lo cual mediante la capa de tipos de bosque obtenida del Atlas 2014, se determinó para cada una su respectiva cobertura y en función de esta, se calculó la intercepción en cada caso, (Cuadro 38).

Cuadro 38. Volumen de intercepción en parte alta de la subcuenca, en hm^3

Volumen de intercepción mensual para las secciones, en hectómetros cúbicos													
Sección	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Parte alta	1,04	0,63	0,88	1,88	4,11	3,30	3,54	4,20	4,15	4,88	3,97	1,58	34,70
Abrojo	0,36	0,20	0,27	0,58	1,27	1,02	1,10	1,30	1,28	1,51	1,23	0,49	10,75
Rio Nuevo	0,21	0,23	0,31	0,66	1,45	1,16	1,23	1,42	1,41	1,66	1,34	0,53	11,61
Rio Caracol	0,06	0,06	0,09	0,19	0,42	0,33	0,35	0,41	0,41	0,48	0,38	0,15	3,33
Total	1,67	1,12	1,56	3,30	7,26	5,81	6,23	7,32	7,25	8,52	6,92	2,75	60,39

5.5.1.5 Oferta total generada por las secciones correspondientes a la subcuenca total

5.5.1.6 Volumen anual por escurrimiento natural

A continuación, se presenta el volumen total generado en las cuatro secciones seleccionadas, las cuales corresponden a la parte alta y media de la subcuenca del río Corredor, ver (Cuadro 39)

Cuadro 39. Volumen ofertado en secciones de la subcuenca, en hm^3

Escurrecimiento total de las secciones, en hectómetros cúbicos													
Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
P	12,89	13,86	19,32	40,52	89,34	71,34	75,77	87,23	87,07	102,09	82,41	32,76	714,61
Etr	10,59	10,91	14,73	21,68	25,87	23,15	24,37	23,48	21,49	21,44	19,27	16,42	233,40
Inte	1,67	1,12	1,56	3,30	7,26	5,81	6,23	7,32	7,25	8,52	6,92	2,75	60,39
Inf	1,93	2,08	2,90	6,08	13,40	10,70	11,37	13,08	13,06	15,31	12,36	4,91	107,19
Escurrecimiento natural total de las secciones	-1,30	-0,24	0,12	9,46	42,82	31,68	33,81	43,35	45,27	56,82	43,86	8,67	313,64

Se puede observar que el escurrimiento por cuenta propia generado por las tres secciones corresponde a $313,64 \text{ hm}^3$ anuales, esto solamente generado por las precipitaciones mensuales, ya que se analizó a nivel superficial, es importante recalcar que, este volumen se define como la oferta potencial a nivel superficial de estas cuatro secciones.

En comparación con el volumen de escurrimiento generado por la subcuenca total siendo este de $370,99 \text{ hm}^3$, la parte alta y media abarcada en los cuatros secciones genera el 84,55 % del volumen de escurrimiento por toda la subcuenca total.

Por lo cual, la zona de la subcuenca correspondiente a los canales de Palma Tica, generan el 15,45 % restante, es decir aportan un volumen de 57,31 $hm^3/año$.

En esta ocasión, para determinar el escurrimiento a la salida de las microcuencas, se utilizaron únicamente como demanda, el volumen consumido de manera superficial (quebradas y ríos), esto debido a que, el volumen aportado por los canales de Palma Tica corresponde a escurrimiento superficial, por lo cual, se deben de trabajar ambos volúmenes utilizando como referencia la superficie, esto para una obtener el comportamiento real en la parte baja de la subcuenca.

Es importante mencionar que, en este caso no se tomaron en cuenta los retornos de agua hacia los afluentes, debido a que no hay presencia de derivaciones para riego de cultivos extensivos que involucren un retorno a la fuente.

5.5.2 Demanda en la sección media y alta de la subcuenca

Se presenta a continuación en el (Cuadro 40)

Cuadro 40. Volumen de consumo en las secciones, en hm^3

Volumen de consumo superficial total en las secciones, en hectómetros cúbicos												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Octu	Nov	Dic	Anual
0,17	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	1,96

En la tabla anterior se tienen los usos de consumo a nivel superficial, para las secciones estudiadas anteriormente, una vez obtenido este volumen es posible obtener mediante una

diferencia el volumen de escurrimiento a la salida de las microcuencas, como se muestra en el (Cuadro 41).

Cuadro 41. Volumen de escurrimiento en las secciones, en hm^3 .

Volumen de escurrimiento total a la salida de las secciones de las secciones, en hectómetros cúbicos													
Sección	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Oferta potencial	-1,30	-0,24	0,12	9,46	42,82	31,68	33,81	43,35	45,27	56,82	43,86	8,67	313,64
Demanda	0,17	0,15	0,17	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	1,96
Volumen a la salida	-1,47	-0,39	-0,05	9,30	42,65	31,52	33,64	43,19	45,11	56,66	43,70	8,50	311,68

Se tiene un caudal a la salida de las secciones de $311,68 \text{ hm}^3/\text{año}$, esto como si se tuviera un mismo punto de salida para las cuatro secciones, ahora bien, una vez obtenido este volumen se puede estimar con facilidad el volumen generado por los canales a la salida de la microcuenca parte baja, para ello sabiendo que, la subcuenca total del río Corredores presentan un caudal en su salida de $368,79 \text{ hm}^3/\text{año}$, donde mediante una diferencia sencilla se obtiene que, la parte baja de la subcuenca donde se localizan los canales aportan $57,11 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo cual corresponde al 15,48 % del aporte total de la subcuenca del río Corredores.

5.6 Mecanismo de control y monitoreo de los aprovechamientos ilegales

Básicamente el mecanismo determinado para generar un control y monitoreo de los usuarios ilegales que se encontraron en la subcuenca corresponde a una guía compuesta de 11 pasos a seguir, estableciendo un tiempo de respuesta y verificación de casos correspondiente a un mes.

Dicha guía está basada en la forma en que opera la DA en casos donde se genera este tipo de aprovechamientos, sin embargo, se agregaron puntos relevantes generados por la

necesidad de información en la actualidad, esto para realizar una mejor gestión y así atender de mejor manera estos casos.

5.6.1 Procedimiento para atender los casos ilegales encontrados

1. En este caso primeramente lo que se generó fue una base de datos, correspondiente a los ilegales que se obtuvieron en el campo, básicamente realizando visitas a campo siguiendo los indicadores mencionados en páginas anteriores, una vez estando en el lugar se obtiene un punto con información de coordenadas donde haya instalaciones de riego, pozos, abrevadero, tuberías, estanques, piscinas, etc.
2. Una vez obtenidos los puntos, se regresa a la oficina y se crea un archivo shapefile con la información obtenida en el campo, esto para trabajarlo en el software Qgis.
3. Generado el archivo shapefile se realiza un análisis de las áreas y accesos al lugar, generando una estrategia de muestreo más eficiente, ya que se genera un mapa con los puntos y vías de acceso para poder abarcar los máximos posibles diariamente.
4. Seguidamente se genera un oficio realizando una solicitud de acompañamiento de otras instituciones, como lo es el caso del Sistema Nacional de Áreas de conservación y Fuerza Pública, se realiza de la siguiente manera para obtener un apoyo y un respaldo sobre cualquier eventualidad que suceda.
5. Obtenida la respuesta, se coordina con dichas instituciones y se sale a campo, estando en el lugar se le solicita el acceso a los involucrados, explicándoles el motivo de la visita, una vez ingresado a la propiedad se ubica la fuente de captación donde se toma un nuevo punto con coordenadas, correspondiente al aprovechamiento real de la fuente.

6. Se procede a realizar un aforo del caudal de la fuente, así como también del caudal extraído, dicha información será cargada al archivo shapefile que se creó al inicio, tanto con los datos de caudales, así como también con el nuevo punto de la fuente.
7. Se le explica al involucrado sobre cómo dar inicio al proceso de concesión, brindándole asesoría y entregándole un formulario el cual debe de llenarlo y presentarlo en las oficinas de la DA, en caso de no querer realizar el trámite se le indica que debe no puede seguir utilizando el recurso según lo dicta la Ley de Aguas.
8. Se procede a notificarle por aprovechamiento ilegal del recurso hídrico y a llenar el formulario correspondiente a una denuncia, dicho formulario es enviado a las oficinas para posteriormente asignárselo a un funcionario Técnico, el cual debe darle seguimiento al caso de manera mensual.
9. En cada visita mensual, se requiere que el involucrado demuestre con alguna documentación sobre el avance del proceso de concesión y se le notifica de igual manera por uso ilegal, ya que está usando el recurso sin estar en regla, esto en caso de que suceda.
10. Cada informe generado en las visitas a campo es evaluado por el coordinador, indicando de qué manera se procede con el caso.
11. Finalmente, toda la información posible obtenida en el campo se manejará en un archivo shapefile, disponible para ser visualizada por todos los funcionarios de la Unidad Hidrológica.

5.7 Análisis del caudal aforado en la subcuenca del río Corredores

Se realizaron una serie de aforos en los principales afluentes del río Corredor.

5.7.1 Aforo río Caño seco

Primeramente, se realizó un aforo en el río Caño Seco, metros antes de desembocar en el río Corredores, esto con la finalidad de obtener el aporte real de este afluente, una vez obtenidos los datos generados por el correntómetro se graficó la sección (Figura 13).

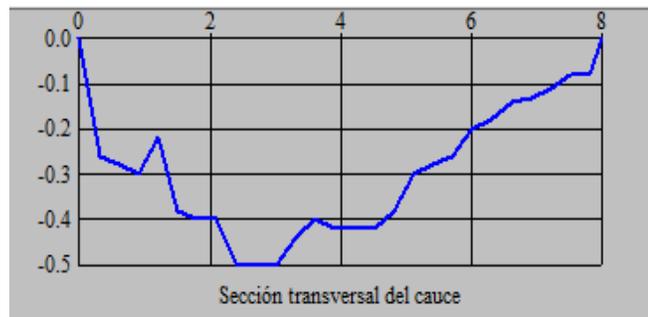


Figura 13. Sección Transversal del cauce, río Caño Seco.

Se puede observar en la figura 13, las dimensiones de la sección del río, correspondiendo estas a 8 metros, a su vez presenta una profundidad promedio de 40 cm. En este caso se hicieron mediciones cada 50 cm para un total de 18 mediciones, obteniéndose un caudal de $0,8204m^3/s$.

5.7.2 Aforo río Corredores

Seguidamente se aforo el río corredores después de la unión con el río Caño Seco y antes del aporte del río Abrojo (Figura 14).

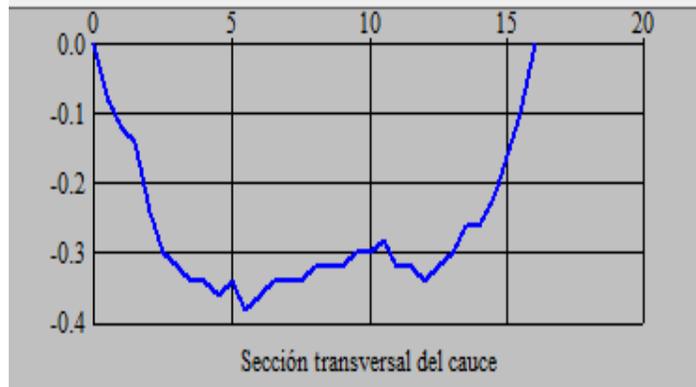


Figura 14. Sección Transversal del cauce, río Corredores.

Se evidencia en este caso que la profundidad del río se comporta de manera similar en comparación con el Caño seco, únicamente presentando una sección mayor, correspondiendo a 15 metros, en esta sección se logra visualizar un flujo más turbulento y con mayor velocidad, generando un caudal de $3,6287 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.7.3 Aforo río Abrojo

Este afluente se aforo metros antes de descargar sus aguas al río Corredores, de igual manera se procedió a graficar su sección (Figura 15)

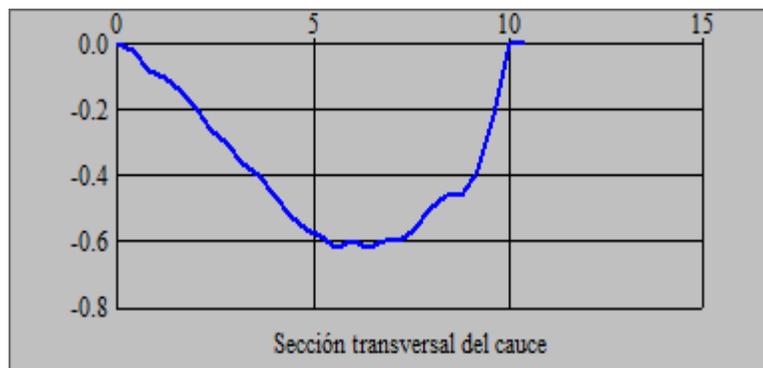


Figura 15. Sección Transversal del cauce, río Abrojo.

Este río presenta una profundidad mayor de cauce, en comparación con los mencionados anteriormente, tiene una profundidad aproximadamente de 0,6 cm , se puede notar en la figura que la sección hace referencia a una parábola, lo cual indica que presenta velocidades elevadas de flujo, causando erosión en sus márgenes y generando bordes redondeados, es importante mencionar que este afluente presenta una sección aproximadamente de 10 m, la cual es menor que los anteriores, finalmente se obtuvo un caudal de $2,08 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.7.4 Aforo río Caracol

Este río conforma la sección subcuena media del río Corredores, nace en la parte alta cerca del poblado de Caracol Sur, a unos 147 metros de altura, según las curvas de nivel generadas para la zona, en los márgenes de dicho río no se presentan concesiones registradas, es importante mencionar que este antes de desfogar sus aguas al río Corredores, atraviesa las fincas de Palma Tica, específicamente en Finca 52-53 y 54, recibiendo las aguas de escorrentía provenientes de los canales en la época de invierno, a su vez, mediante información recolectada con habitantes de las fincas, se determina que dicho río fue encauzado y modificado sus márgenes convirtiéndolo en prácticamente un canal, presentando secciones trapezoidales como se muestra en el siguiente gráfico (Figura 16).

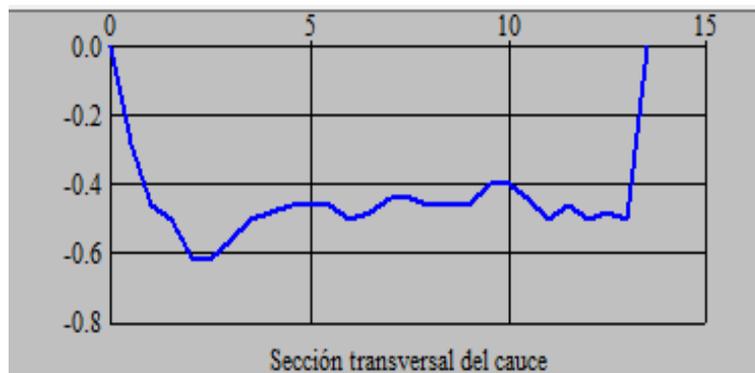


Figura 16. Sección Transversal del cauce, río Caracol.

Se puede observar, el comportamiento en la sección del río, tendiendo a un trapecio tal como se mencionó anteriormente, en este caso se tiene una sección de 13,5 m de ancho y una profundidad máxima de 80 cm, para un caudal de $1,71 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.7.5 Aforo río Nuevo

Con respecto a dicho afluente, se puede decir que manifiesta un comportamiento similar al río Caracol, ya que sus cauces se encuentran separados aproximadamente 3 kilómetros uno del otro, por lo cual, este afluente atraviesa sembradíos de Palma Aceitera de la Compañía Palma Tica, aflorando este a unos 457 metros de altura en la media alta de la subcuenca del río Corredores, según la base de datos correspondientes a la concesiones registradas en la DA, solo se cuenta con un aprovechamiento del afluente, correspondiente a Gas Nacional Zeta S.A, es importante mencionar que aguas abajo, dicho río une sus aguas con el río Caracol para finalmente ambos desfogar al río Corredor. De igual manera como sucede con este río, una serie de canales correspondientes a drenajes depositan sus aguas en su margen, a continuación, se muestra el comportamiento de la sección de este afluente. (Figura 17).

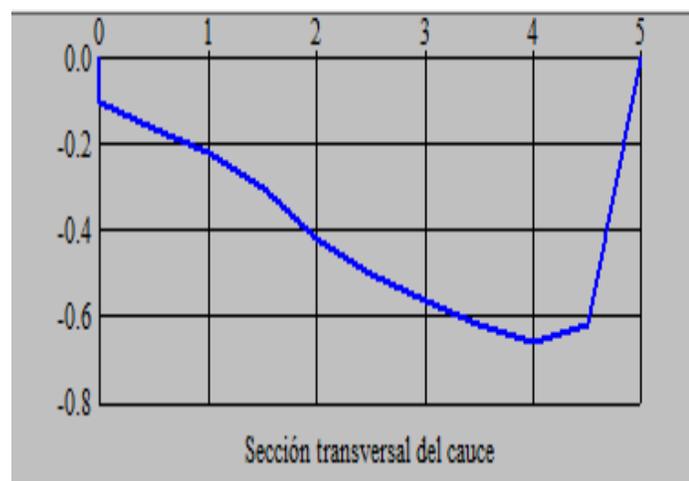


Figura 17. Sección Transversal del cauce, río Nuevo.

Como se muestra en la figura 17, la profundidad de dicho río tiende a centralizarse en uno de sus márgenes, estando en el lugar se puede observar la presencia de gran cantidad de sedimento, por lo cual se asume que el río con el paso del tiempo ha ido perdiendo su capacidad hidráulica debido al arrastre de sedimentos, por lo cual este se ha estado recostándose a uno de sus márgenes, donde presenta una profundidad máxima de aproximadamente de 0,7 m, para una sección de 5 m, finalmente realizando las mediciones pertinentes se determinó un caudal de $0,7303 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.7.6 Aforo rio Caracol y Nuevo

Mientras se realizaba dicho estudio se logró determinar algunos vertido importantes a dicho cauce, esta información se detallará más adelante, de igual manera consultando con los vecinos del lugar se determinó la problemática causada por el desbordamiento de este río en época de invierno, se muestra la sección del río a continuación (Figura 18).

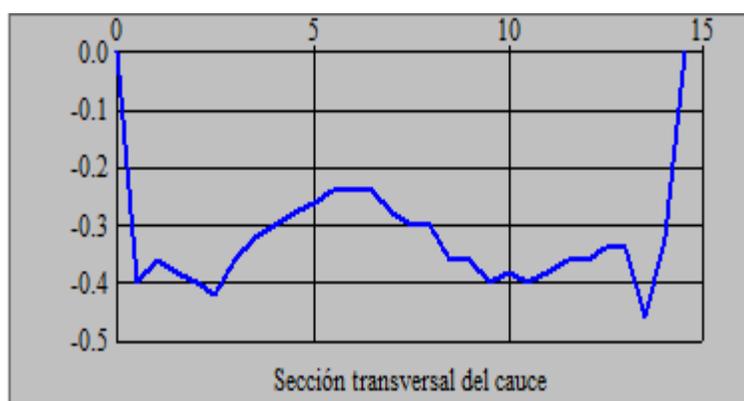


Figura 18. Sección Transversal del cauce, rio Nuevo y Caracol

Al igual que en casos anteriores, el cauce de este río fue modificado mediante dragado, creando una sección trapezoidal, en la figura se puede evidenciar el margen izquierdo presenta una profundidad máxima de 0,4 m y conforme aumenta la sección va disminuyendo creando una especie de montículo, estando en el campo se determinó que esta variación de profundidad corresponden a la sedimentación que presentan este río, tanto así que mientras se realizaba el

aforo, se notaba con facilidad como las partículas de suelo iban siendo arrastradas a lo largo del cauce.

De igual manera estando dentro del cauce se evidenciaba la inestabilidad del fondo, ya que estaba compuesto de sedimentos. Este cauce cuenta con aproximadamente 15 metros de ancho, cabe mencionar que en lugar se notaba sin ninguna dificultad el cambio de apariencia del río en términos de turbiedad, ya que antes de que los vertidos ingresen al mismo se notaba un color claro, en cambio con presencia de los vertidos el color tiende a ser marrón.

Realizando las medidas pertinentes se logró determinar un caudal de $2,24 \text{ m}^3/\text{s}$, ahora bien, contando con el caudal medido por separado del río nuevo y caracol para un dato de ambos de $2,4429 \text{ m}^3/\text{s}$ siendo este mayor, por lo cual, se puede decir que al no encontrarse ninguna derivación en ese tramo de toma de caudal, lo que sucede es que el río realiza un aporte al acuífero, recargándolo, para posteriormente continuar con su recorrido, analizándolo de esta manera nos podemos referir a un aporte de $0,2029 \text{ m}^3/\text{s}$ de recarga.

5.7.7 Comparación de caudales reales y estimados

A continuación, se muestra un cuadro comparativo, donde se evidencian los caudales determinados anteriormente (Cuadro 42)

Cuadro 42. Caudal del río Corredor, en metros cúbicos por medio de aforos.

Rio	Caudal(m3/s)
Caño seco	0,8204
Abrojo	2,0848
Nuevo + Caracol	2,2424
Corredores aguas arriba	3,6287
Caudal total	8,7763

En la tabla anterior se tienen los caudales determinados mediante los aforos realizados, esto para obtener un caudal aproximado de $8,7763 \text{ m}^3/\text{s}$ a la salida del río Corredores.

5.8 Disponibilidad hídrica en la subcuenca del río Corredor

De acuerdo con la Norma Oficial mexicana NOM-011-CNA-2000, la disponibilidad media anual corresponde a la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo, este volumen comprometido corresponde al volumen concesionado, por lo cual la disponibilidad hídrica se obtiene mediante la oferta y demanda, es decir, es el volumen de escurrimiento a la salida de la cuenca. (Jaquez, 2002).

Con los resultados obtenidos anteriormente en el apartado del cálculo del volumen generado por los canales, se puede estimar la disponibilidad hídrica para la subcuenca media, alta y baja.

Cabe mencionar que se aplicara el 10% correspondiente al caudal ecológico, para así obtener el volumen que se puede ofertar, se realizó de esta manera debido a que, así es aplicado en la DA.

Es importante mencionar que se hablara de disponibilidad hídrica superficial en este caso, ya que se utilizaron volúmenes de consumo solamente a nivel superficial.

5.8.1 Disponibilidad hídrica en la microcuenca parte alta

Esta microcuenca está comprendida por el río Caño Seco y el río Corredores parte alta, en dicha microcuenca cuenta con una topografía bastante quebrada, ubicándose propiamente en

el sector denominado Fila de Cal, en el distrito de Corredor, como su nombre lo menciona, esta fila presenta pendientes sumamente pronunciadas.

Dicha microcuenca en su punto más alto presenta una altura alrededor de 1240 metros, es una microcuenca con vegetación boscosa densa en las faldas del río Caño Seco y Corredores, este último también pertenece a este sistema hidrológico, aflorando en sus inicios a una altura aproximada de 1156 m.

En esta ocasión mediante un balance hídrico superficial, enfocado en la microcuenca se obtuvo un volumen de escurrimiento natural de $164,72 \text{ hm}^3/\text{año}$, correspondiente a la oferta potencial de la microcuenca y una demanda potencial de $1,92 \text{ hm}^3/\text{año}$ (Cuadro 43).

Cuadro 43. Disponibilidad hídrica mensual.

Disponibilidad hídrica mensual para la parte alta de la subcuenca, en hectómetros cúbicos												
Enero	Febr	Mar	Abril	May	Jun	Juli	Ago	Set	oct	nov	dic	anual
-1,01	-0,32	-0,15	4,77	22,42	16,54	17,64	22,66	23,70	29,80	22,95	4,35	162,80

Se puede observar en el cuadro anterior la disponibilidad hídrica para esta microcuenca, claramente se evidencia que en los meses de enero, febrero y marzo a nivel superficial la microcuenca no cuenta con oferta, interpretándose este valor negativo como un déficit, al paso de los meses, se puede evidenciar como se va aumentando este valor, esto se refiere a que, conforme las lluvias comienzan a pronunciarse, se va generando escorrentía superficial, obteniéndose volúmenes para ofertar.

Cabe recalcar, que estos resultados son sumamente importantes a la hora de tomar decisiones como ente regulador del recurso hídrico, ya que se sabe en qué mes y cuanto caudal se puede ofertar.

Debido a que los aforos se realizaron en el mes de abril obteniéndose un valor de 4,44 m^3/s , es posible compararlo de manera indirecta con el caudal obtenido mediante al balance hídrico en dicho mes, correspondiendo este a 1,82 m^3/s , lo cual indica que dichos afluentes reciben un aporte del acuífero, siendo este la diferencia entre ambos caudales aproximadamente.

Finalmente se aplicando el 10% de caudal ecológico al caudal total anual y se obtienen una oferta de 146,52 $hm^3/año$.

5.8.2 Disponibilidad hídrica en la microcuenca parte media

En esta ocasión, la parte media de la subcuenca está comprendida por el río Caracol y Abrojo, aflorando en sus inicios el río Caracol a una altura aproximada de 140 metros y el Abrojo a unos 450 m, se abarcarán ambos por separado.

5.8.2.1 Río Caracol

Dicho río está ubicado en el límite entre el cantón de Golfito y Corredores, sin embargo, sus aguas desfogon al río Corredor, aguas abajo dicho río atraviesa las fincas de Palma Tica S.A, donde en su cauce se descargan aguas provenientes de esorrentía por medio de canales, causando serios problemas de inundación en sus márgenes.

De igual manera que en el caso anterior, se estimó el caudal que se tendrá en la salida de la microcuenca que lo conforma, aplicando el principio de diferencia entre oferta y demanda, obteniéndose la siguiente (Cuadro 44).

Disponibilidad hídrica mensual para la parte alta de la subcuenca, en hectómetros cúbicos												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Juli	Ag	Set	oct	nov	dic	anual
-0,04	-0,03	-0,02	0,36	1,75	1,29	1,38	1,78	1,86	2,35	1,81	0,34	12,83

Cuadro 44. Disponibilidad hídrica mensual

Se puede observar, que esta microcuenca se comporta de la misma manera, ya que, en los meses correspondientes a la época de estiaje debido a la ausencia de lluvias prolongadas, no se genera suficiente escorrentía para contar con una oferta potencial, inclusive no se cumple en totalidad la demanda natural, correspondiente a infiltración, evapotranspiración e intercepción.

En esta ocasión de igual manera según el balance hídrico en el mes de abril se tiene una disponibilidad de $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$, comparado con el caudal aforado en el afluente en el mismo mes, correspondiente a $1,71 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se determina que el afluente también presenta aporte del acuífero.

En este caso, aplicando el 10 % de caudal ecológico, se tiene una disponibilidad para ofertar de $11,54 \text{ hm}^3/\text{año}$.

5.8.2.2 Río Abrojo

Dicho río pertenece al cantón de Corredores, uniéndosele al río Corredor en su margen derecha, este río nace en el sector de las Palmas, en el límite prácticamente con Panamá, en sus inicios presenta vegetación normal, en la microcuenca se comprenden poblados como Limoncito, Montezuma, Miramar, Altos de abrojo, presentando una topografía irregular, para posteriormente cruzar la carretera interamericana y dirigirse hacia las fincas de Palma Tica S.A, donde de igual manera a su cauce se derivan agua de los canales de dicha compañía, este afluente nace en una altura aproximada de 879 metros.

En el siguiente (Cuadro 45), se observa el comportamiento mensual en cuanto a disponibilidad se refiere

Cuadro 45. Disponibilidad hídrica mensual, en hectómetros cúbicos.

Disponibilidad hídrica mensual para la parte alta de la subcuenca, en hectómetros cúbicos												
Enero	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Juli	Ago	Set	oct	nov	dic	anual
-0,27	0,01	0,13	2,47	10,71	7,95	8,48	10,82	11,28	14,12	10,92	2,24	78,74

Se tiene que, solo en los meses de enero hay presencia de un déficit, mostrando que la microcuenca no cuenta con la capacidad de satisfacer sus demandas naturales en ese mes, ahora bien, a diferencia de los escenarios analizados anteriormente, en este caso si se cuenta con oferta en los meses de febrero y marzo, esto se debe a que, la microcuenca no presenta un área vegetal densa, por lo cual el porcentaje de intercepción disminuye, aumentando la demanda en esos meses.

De igual manera según el balance hídrico en el mes de abril se tiene una disponibilidad de $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$, comparado con el caudal aforado en el afluente en el mismo mes, correspondiente a $2,08 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se determina que el afluente también presenta aporte del acuífero.

En este caso, aplicando el 10 % de caudal ecológico, se tiene una disponibilidad para ofertar de $70,86 \text{ hm}^3/\text{año}$.

5.8.2.3 Disponibilidad en toda la subcuenca del río Corredores

Como se mencionó al inicio, para estimar la disponibilidad se utilizó el escenario correspondiente al balance hídrico superficial contemplando ilegales, debido a que este es el que se asemeja más a la realidad, por medio de los cálculos en todo el estudio, se obtuvo oferta hídrica a nivel de subcuenca que se presenta en la (Cuadro 46).

Cuadro 46 . Disponibilidad hídrica mensual, en hectómetros cúbicos.

Disponibilidad hídrica mensual para toda la subcuenca, en hectómetros cúbicos												
Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	oct	nov	dic	anual
-1,88	-1,37	-1,24	9,75	50,55	37,06	39,65	51,70	54,16	68,48	52,67	9,28	368,79

Se observa de igual manera el comportamiento del déficit en época de estiaje, aumentando y generando oferta a partir de los primeros indicios de precipitación en la época de transición a invierno, es importante mencionar que en la zona de estudio las épocas de veranos suelen ser bien definidas, lo cual se refleja en los resultados, aun así se obtuvo una oferta considerable a la salida de la subcuenca, siendo de $368,79 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Como se ha venido realizando, al aplicarle el 10 % de caudal ecológico se obtienen una oferta generada en la subcuenca del río Corredores de $331,88 \text{ hm}^3/\text{año}$ disponibles para realizar una gestión adecuada y equitativa sin intervenir de manera negativa en el comportamiento natural de los cauces principales

5.9 Análisis social de la subcuenca del río Corredores

A continuación, se analizó la situación social actual de la subcuenca, en este apartado primeramente se expondrá la situación de la parte alta, media y baja, esto con la finalidad de obtener un análisis más completo y desglosado de lo que acontece e impacta a la sociedad en este sector.

5.9.1 Parte alta de la subcuenca

Los resultados obtenidos de la aplicación de la encuesta se muestran a continuación. Esta se hizo solo en la parte alta de la subcuenca, debido que en ella es donde se ubicaron casi la totalidad de los aprovechamientos ilegales (Figura 19,20,21,22,23).

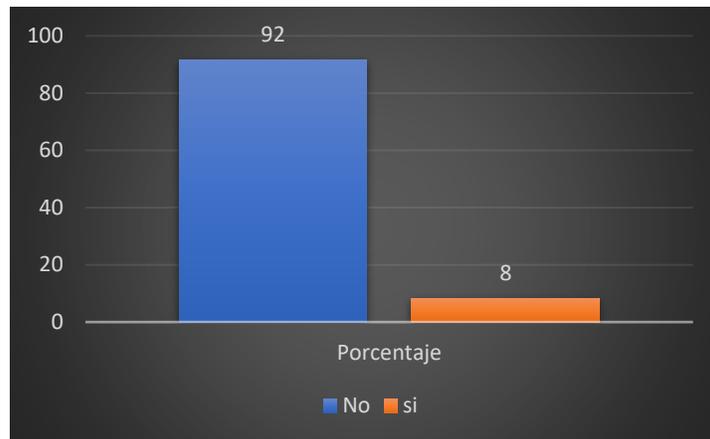


Figura 19. Conocimiento sobre la existencia de la Dirección de Aguas

Al aplicar la primera pregunta a las personas en la zona, se detectó inmediatamente la falta de conocimiento sobre la Dirección, en ocasiones de primera impresión las personas confundían a la institución con el AyA, SENASA, entre otras, hasta que se les comentaba sobre la función de esta o visualizan la unidad de transporte y realizaban la consulta.

Es por ello que lo anterior se ve reflejado estadísticamente, mostrando que, del total de los encuestados solo el 8% conoce sobre la existencia de este organismo, mientras que el restante 98% no tenía idea alguna.

El 8% menciona sobre la función de la Dirección de Aguas, dirigiéndose todos como un ente encargado de regular y gestionar el uso del recurso hídrico en el país.

A continuación se muestra la opinión de las personas en cuanto al conocimiento de la Ley de Aguas vigente (Figura 20).

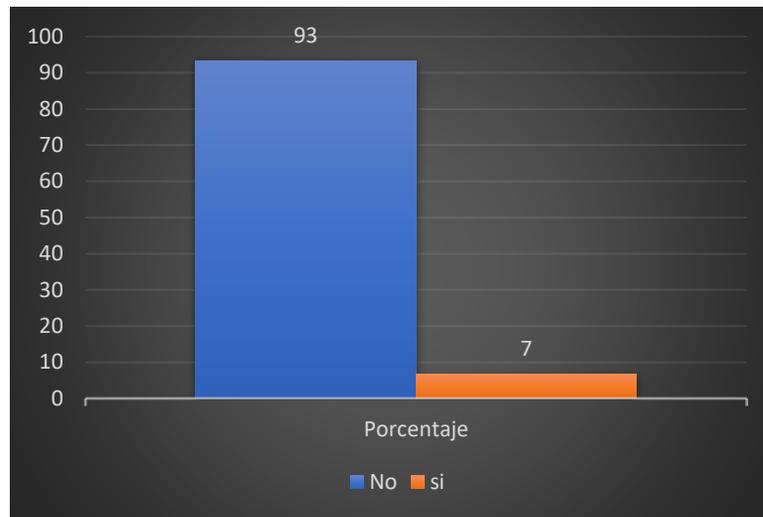


Figura 20. Conocimiento sobre la existencia de la Ley de Aguas.

En esta ocasión acerca del conocimiento sobre la Ley de Aguas vigente, se obtuvo que 4 de las 5 personas que anteriormente mencionaron que conocían la existencia de la Dirección, conocen la Ley de Aguas, mientras las restantes 56 afirman que no, siendo esto un 93% de las personas entrevistadas, por lo cual se evidencia de igual manera que en el caso anterior, un problema sobre información y divulgación en cuanto a Leyes se refiere.

En tema de interés sobre conocer la DA, como ente encargado de velar por la preservación del recurso hídrico en Costa Rica se muestra lo siguiente (Figura 21)

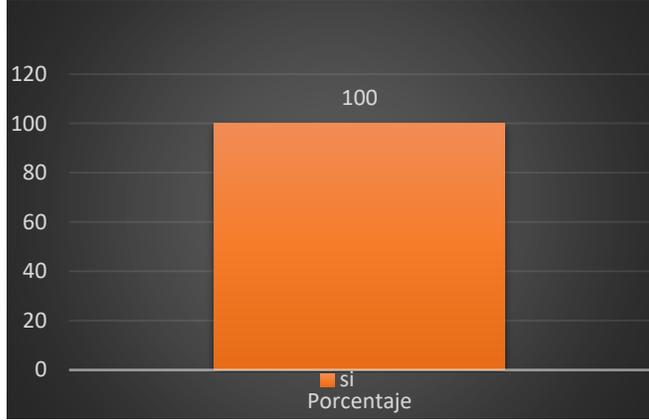


Figura 21. Interés sobre conocer la DA.

En esta ocasión fue notable la reacción mostrada por las personadas, alegando interés por conocer más sobre las funciones y servicios que brinda la dirección, siendo la respuesta de un 100%.

La condición hidria en el país, según los encuestados se tienen a continuación (Figura 22)

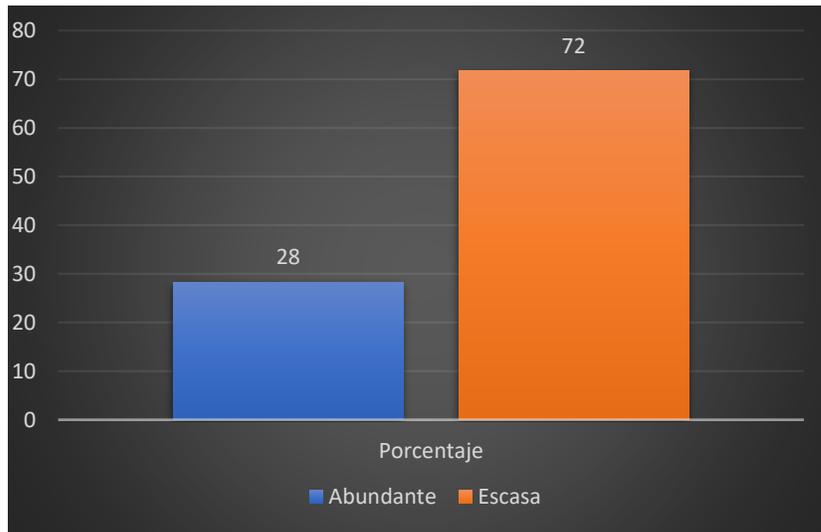


Figura 22. Interés sobre situación hídrica en el país

Se nota en el gráfico como el 72% de los encuestados manifestaron que la situación actual del agua en el país es escasa, esta opinión sucede porque en la parte alta de la subcuenca del río Corredores, en distintos poblados cuentan con fuentes limitadas de agua para consumo, ya que corresponden fuentes intermitentes, por lo cual en época de estiaje se presenta una disminución considerable en la oferta, por otro lado, también se evidencia escases por parte de los acueductos del AyA, ya que hay poblados donde suspenden el servicio en horas de la noche.

El 28% afirma que la condición es abundante, esto se debe a que posiblemente se encuentre una realidad distinta donde no sea necesario captar de una fuente superficial, sino que tienen opción por medio de acueducto satisfacer sus necesidades hídricas.

Por otro lado, las personas entrevistadas opinaron sobre la importancia de implementar educación sobre el uso eficiente del recurso hídrico a las nuevas generaciones (Figura 23)

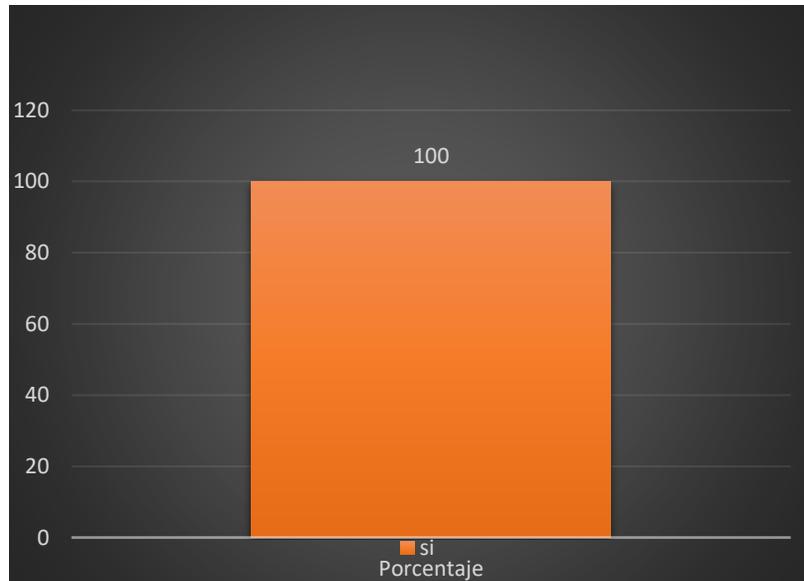


Figura 23. Interés sobre situación hídrica en el país.

Se tiene un porcentaje de aceptación para esta pregunta, donde el 100% está de acuerdo con la importancia de implementar educación hídrica en las próximas generaciones, ya que alegan que es importante instruirlos en un uso racional del agua.

Por lo cual, a nivel social predomina en esta subcuenca parte alta es un problema principalmente de asesoría sobre las Leyes existentes y Organismos del gobierno, así como también se da la mayor explotación del recurso por medio de ilegales.

Cabe recalcar un factor bastante positivo, el cual hace referencia al interés por la población sobre conocer más acerca de la DA, así como también sobre la disposición para que implementar en los niños una educación hídrica.

5.9.2 Situación parte media y alta de la subcuenca

En estas partes, la subcuenca se encuentra mayormente explotada a nivel de suelo, ya que en esta parte se ubica la compañía Palma Tica S.A, la cual abarca casi el territorio en la práctica del monocultivo, a su vez se ubica la zona centralizada de ciudad Neily .

Básicamente uno de los principales problema que se presenta se da en la época de invierno, ya que como se mencionaba anteriormente una serie de canales primarios con volúmenes altos descargan directamente al río Corredores, así como también en el río Caracol y Nuevo.

Conversando con personas que habitan a las cercanías del río Caracol y Nuevo manifiestan que en época de invierno quedan incomunicados debido al desbordamiento de este, específicamente en el sector de Gorrión de Guaycara, debido a las inundaciones que se presentan los caminos quedan incomunicados por lo cual el acceso a los servicios se vuelve sumamente complicado.

Aunado a esto se tiene la ausencia de agua potable para este sector, debido a que los pozos que utilizaban para consumo humano, fueron contaminados debido a las inundaciones mencionadas anteriormente, por lo que , estas personas tienen prohibido el consumo de esta agua en este sector, aun así, se sabe que algunos pobladores la consumen debido a la ausencia de este recurso de manera potable, esta información fue brindada por un funcionario del Ministerio de Salud que frecuentaba el lugar para atender un caso de tuberculosis

Asociado a estas problemáticas, cabe mencionar que mientras se realizaban los aforos para el río Caracol y río Nuevo, se lograron encontrar vertidos directamente al río, determinando en el lugar la falta de tratamiento debido al olor emanado, es evidente observar en el punto de convergencia de ambos ríos en lo que a turbiedad se refiere, una coloración rojiza en el río Caracol y río Nuevo cuando cae en sus aguas los vertidos provenientes de la piscina de oxidación, pertenecientes a la compañía Palma Tica S,A, por lo cual se ve afectada la calidad del agua del río, es importante mencionar que los vertidos encontrados no poseen permisos ante la DA.

5.10 Proyección económica del caudal disponible en la subcuenca del río Corredores

Para el cálculo de dicha proyección en este apartado, se decidió utilizar como escenario real, el balance hídrico superficial contemplando ilegales, se pretende estimar monetariamente lo que se está dejando de percibir en la Dirección de Aguas, con respecto a la utilización ilegal del recurso hídrico y lo que se proyecta a recibir basándose en concesionar el caudal disponible calculado para la subcuenca del río Corredor.

Es necesario mencionar que para realizar la gestión de cobro por el uso del recurso hídrico, la DA utiliza un decreto denominando Canon de Aprovechamiento, el cual en el Artículo 1 menciona,“ El canon por aprovechamiento de agua debe utilizarse como instrumento económico para la regulación del aprovechamiento y administrativo del agua, que permita la disponibilidad hídrica para el abastecimiento confiable en el consumo humano y el desarrollo

socioeconómico del país y además la generación de los recursos económicos para financiar a largo plazo una gestión sostenible del recurso hídrico en Costa Rica”.

A continuación, se presenta en el (Cuadro 48), sobre el valor en colones por metro cubico según el uso y tipo de fuente que se esté utilizando, cabe mencionar que en esta ocasión se trabajará con agua superficial, debido a que el escenario más acertado a las condiciones actuales corresponde al balance superficial contemplando ilegales (Cuadro 47).

Cuadro 47. Cobro de canon según uso y tipo de fuente.

Uso	Canon (colones/m3)	
	Agua superficial	Agua subterránea
Consumo Humano	1,46	1,63
Industrial	2,64	3,25
Comercial	2,64	3,25
Agroindustrial	1,9	2,47
Turismo	2,64	3,25
Agropecuario	1,29	1,4
Acuicultura	0,12	0,16
Fuerza hidráulica	0,12	

En la tabla anterior se puede observar el valor en colones, destinado para cada uso, teniendo el valor más alto, el uso comercial, industrial y turismo, sucesivamente le sigue el uso agroindustrial, agropecuario y de consumo humano, quedando en valores menores la acuicultura y fuerza hidráulica.

Como se observaba en el (Cuadro 47), el canon se cobra según el tipo de uso y fuente, en este caso para la estimación de capital que se está dejando de percibir por aprovechamientos ilegales se puede calcular de manera directa, ya que se sabe con certeza la cantidad de personas que aprovecha de manera ilegal el recurso hídrico y para que uso.

Es por ello, que a continuación se procede a determinar cuánto se está dejando percibir, basándose en la campaña de usuarios ilegales realizado en la subcuenca de estudio, (Cuadro 48).

Cuadro 48. Canon sin percibir

Uso	Canon (colones)
Agropecuario	¢3.584
Acuicultura	¢45
Agropecuario	¢3.584
Agropecuario	¢3.584
Agroindustrial	¢93.912
Consumo Humano	¢3.968
Acuicultura	¢46
Agropecuario	¢4.608
Total (colones)	¢127.665

En el cuadro anterior se obtiene el monto total de canon que está dejando de recibir la DA anualmente, a simple vista parece un valor pequeño y poco significativo, pero si se analiza desde el punto de vista que existen una serie de personas que utilizan de manera ilegal el recurso

hídrico, este valor se elevaría, y se estaría hablando de millones sin percibir, los cuales serían invertidos en actividades de mantenimiento y protección de subcuencas, así también como en el desarrollo de la DA como ente regulador y de investigación sobre el comportamiento del agua en el país.

Cuadro 49. Canon sin percibir.

Fuente	Uso	Canon (colones)
Quebrada	Riego	¢3.584
Pozo	Riego	¢3.889
Naciente	Riego	¢3.584
Naciente	Riego	¢3.584
Naciente	Domestico	¢128.861
Quebrada	Riego	¢3.584
Naciente	Consumo Humano	¢114.791
Rio	Acuicultura	¢45
Naciente	Riego	¢3.584
Quebrada	Riego	¢3.584
Pozo	Domestico	¢128.861
Quebrada	Riego	¢3.584
Quebrada	Agropecuario	¢93.912
Pozo	Turismo	¢23.660
Naciente	Riego	¢3.584
Quebrada	Consumo Humano	¢20.730
Quebrada	Acuicultura	¢46
Naciente	Consumo Humano	¢71.965
Pozo	Consumo Humano	¢36.081
Quebrada	Riego	¢4.608
Pozo	Riego	¢5.001
Pozo	Riego	¢5.001
	Total	¢680.456

El cuadro anterior, muestra el total en colones correspondiente a los usos ilegales que se obtuvieron en los muestreos de ilegales, contemplando tanto los usos subterráneos como superficiales, obteniéndose un valor de 680.456,3 colones.

Seguidamente se procedió a calcular el capital, asumiendo que se concesionaria el caudal disponible en la subcuenca del río Corredores, en este caso como no es posible determinar para que uso será concesionado dicho caudal, se asumió basándose en los porcentajes de uso de los aprovechamientos ilegales, se muestra en la siguiente (Cuadro 50).

Cuadro 50. Proyección de canon anual.

Uso	Porcentaje de uso	Q disponible (m3/año)	Q concesionado(m3/año)	canon (colones)
Riego	75%	331800800	248850600	¢321.017.274
Acuicultura	17%	331800800	56406136	¢6.768.736
Consumo Humano	8%	331800800	26544064	¢38.754.333
			Total	¢366.540.344

Como se mencionó anteriormente, en este caso se supuso que la tendencia de los ilegales se mantendría en toda la subcuenca, ya que no se puede determinar de qué manera será concesionado el caudal disponible, por lo cual se asume que un 75% del caudal disponible puede ser solicitado para riego, 17% para acuicultura y 8% para consumo humano.

En el cuadro, se observa que el uso más solicitado por los usuarios corresponde al uso agropecuario, específicamente para riego, proyectando esto un canon anual de ¢321.017.274, seguidamente sobresale la acuicultura con un valor de 17%, para obtener un capital anual de ¢6.768.736, finalmente solo el 8 % se otorgaría para uso doméstico, originado un valor de ¢38.754.333.

Finalmente, asumiendo que se distribuye todo el caudal disponible en la subcuenca del río corredor, se generaría un capital anual de ¢366.540.344, es importante mencionar que esta proyección solamente sería a nivel superficial, por lo cual lo correspondientes a pozos y nacientes quedaría anuente para estudios posteriores.

5.11 Análisis de impacto Ambiental

Seguidamente utilizando una matriz de arboleda se dispuso a realizar el análisis ambiental del estudio, según las condiciones que se tienen, (Cuadro 51).

Cuadro 51. Análisis de impacto ambiental

Fase	Descripción del impacto	Factor	Medio que se encuentra	Clase	Presencia	Duración	Evolución	Magnitud	Calificación	Impacto ambiental
Actualidad, aprovechamiento ilegal	Escases de Agua	Agua	Físico	-1	1	1	1	1	-10	Grave
	Disminución en ingreso	Agua	Físico	-1	-1	-1	-1	1	-10	Grave
Aprovechamiento legal	Generación de Ingresos	Agua	Físico	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,625	irrelevante
	Regulación de consumo	Agua	Físico	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,625	Irrelevante

En este caso se analizó el estudio desde una perspectiva ambiental, tomando como base lo que está sucediendo en la actualidad que pueda causar un impacto en el ambiente, lo cual corresponde en este caso al uso ilegal, ya que está aprovechando las fuentes hídricas sin ninguna regulación ni permiso, por lo cual no se evidencia un uso racional.

Dividiendo el proyecto en dos fases, la primera corresponde a la situación de ilegales actuales, donde la escasez de agua corresponde a dichos aprovechamientos, ya que como se mencionaba anteriormente no cuentan con regulación alguna, este impacto social es grave según la matriz, debido a que el aprovechamiento se hace constantemente en todo el año, por consiguiente, se puede dar una disminución en la disponibilidad hídrica considerable.

Después al estar aprovechando el agua de manera ilegal no se genera ningún ingreso por concepto de canon, lo cual limita las acciones que se realizan con el 50% del pago de canon, correspondiente al mantenimiento y reforestación de cuencas, generando esto un impacto grave.

La otra fase se calculó asumiendo que al finalizar dicho estudio los ilegales se pongan en legalidad, por lo cual generaría ingresos y una regulación de consumo, siendo estos irrelevantes en su momento, con el pasar del tiempo serán relevantes, ya que se tendrá regulada la cuenca.

En el (Cuadro 52), se evidencian los tipos de impacto generado, así como también el medio y su grado de impacto.

Cuadro 52. Tipos de impacto

	Tipos de impactos				
Medio	Irrelevante	Moderado	Severo	Grave	Sumatoria
Físico	2	0	0	2	4
Social	0	0	0	0	0
Suma	2	0	0	2	4

Se evidencia que el proyecto presenta 4 tipos de impacto ambiental, siendo dos de ellos graves, correspondientes al uso irracional del recurso hídrico y la ausencia de ingresos a la Unidad Hidrológica Terraba Pacifico Sur, por concepto de canon.

Finalmente, en el (Cuadro 53), se muestra los valores negativos y positivos del proyecto

Cuadro 53. Valor de los impactos

Impacto	Valor
Negativos	-18,375
Positivos	1,625
Impacto neto	-16,75

Al obtener un valor negativo en el cuadro anterior, se tiene que el proyecto es inviable, visualizándolos desde el aprovechamiento del recurso hídrico sin regulación, en otras palabras, no es viable para la subcuenca en cuanto a disponibilidad.

6 CONCLUSIONES

- Se evidencia la necesidad de contar con un registro más amplio sobre la información de las concesiones otorgadas y por otorgar, con la mayor cantidad de datos posibles obtenidos en el campo, esto para realizar estudios posteriores de una forma más eficiente.
- En los escenarios evaluados tanto a niveles superficiales e integrales, no se cuenta con oferta potencial en la época de estiaje.
- Según la campaña de ilegales se tiene que la mayoría de las personas opta por utilizar las fuentes superficiales con fines de riego.
- En el caso del balance integral contemplando ilegales, expresa como la mayoría de las personas utilizan los nacientes debido a la falta de acueductos con agua potable.
- La parte alta de la subcuenca posee una disponibilidad hídrica de $146,52 \frac{hm^3}{Año}$.
- La parte media se tiene una disponibilidad $134,019 \frac{hm^3}{Año}$.
- La subcuenca total tiene una disponibilidad $331,881 \frac{hm^3}{Año}$.
- En cuanto al impacto social, se tiene que el 92% de las personas encuestadas no conocen sobre la existencia de la Dirección de aguas, ni de cuáles son sus funciones, solo el 8% dice conocerla.
- Se tiene que del total de encuestados el 93% no sabe sobre la existencia de una Ley de Aguas, siendo el 7% el porcentaje de personas que al menos han escuchado sobre dicha ley.
- También por medio de la parte social, se logra determinar la problemática que se vive en la parte baja de la subcuenca, correspondiente a las fincas de Palma Tica, donde se presentan problemas de inundaciones, vertidos, enfermedades por agua contaminada, pozos contaminados, difícil acceso.
- De igual manera contemplando el escenario integrado se tienen una proyección anual entre aprovechamientos ilegales, tanto superficiales como subterráneos de $\$366.540.344$ al año, distribuido en la agricultura principalmente, acuicultura y consumo humano.
- Se tiene la precipitación como el parámetro fundamental fundamenta para la disponibilidad hídrica en una subcuenca.

7 RECOMENDACIONES.

- Se deben de seguir planificando campañas de detección de ilegales de una manera prolongada utilizando indicadores para mejorar la eficiencia.
- Obtener un registro de datos en tiempo real o al menos una base de datos actualizada sobre los ilegales.
- Se debe de recolectar la máxima cantidad de variables que se pueda en el campo, como lo son datos de caudal, vegetación, uso de suelo, etc, esto para poder realizar un análisis óptimo de la subcuenca.
- Con respecto a la disponibilidad, se debe realizar una planificación de manera adecuada para abarcarlas necesidades presentes en la subcuenca con el caudal disponible.
- Elaborar un estudio de calidad de Aguas de la subcuenca y así obtener una clasificación del estado de las fuentes en la subcuenca.
- Desarrollar campañas de vertidos ilegales en toda la subcuenca.
- Fomentar y realizar actividades como charlas, reuniones, divulgación, entre otras; con la finalidad de generar un aumento de interés de la población sobre y las funciones que desarrolla la Dirección de Aguas.
- Se recomienda abarcar la parte baja de la subcuenca en material social y ambiental, para realizar una gestión adecuada de la subcuenca, esto para buscar mejoras en la calidad de vida de la población
- En cuanto al canon por utilización del recurso hídrico, se debe dar seguimiento a los usuarios morosos y por ende realizar las denuncias pertinentes para que se encuentren al día según lo establece la legislación.
- Abarcar los sectores con los índices económicos más bajos de la subcuenca y facilitar el proceso en la mayoría de lo posible para realizar la solicitud del proceso de concesión.
- Averiguar la posibilidad de contar con una oficina de SETENA al menos en Pérez Zeledón, esto para facilitar los trámites de viabilidad ambiental, lo cual agilizaría el proceso.

8 ANEXOS

Anexo 1. Valores de w en función del uso de suelo, fuente (SEGOB, 2015)

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

Anexo 2. Porcentaje de intercepción, fuente (SEGOB, 2015)

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

9 BIBLIOGRAFÍA

- (CRRH), C. R. (2008). *EL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMATICO EN COSTA RICA*. EL CLIMA, SU VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMATICO EN COSTA RICA, MINAE, Instituto Meteorológico Nacional, San Jose.
- Aguas, D. d. (2012). *Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Costa Rica*. Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Agua, San Jose.
- Alfaro, M. (2013). *El Agua en Costa Rica*. Heredia: Universidad Nacional.
- Batres, I., & Gómez, C. (2014). *Balance Hídrico y Análisis de Calidad del Agua en la Cuenca del Río San Antonio, Municipio de Nejapa , Departamento de San Salvador*. San Salvador.
- BBC. (19 de Mayo de 2015). *BBC Mundo*. Obtenido de BBC Mundo:
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140821_tierra_agua_escasez_finde_dv
- Cabrera, J. (2011). *Modelos Hidrológicos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
 Recuperado el 15 de Febrero de 2018
- Cotler, H. (2004). *El Manejo Integral de Cuencas en México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Dirección de Agua, M. (2013). *Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales*. Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección de Agua, San Jose.
 Recuperado el 15 de Febrero de 2018
- GIDAHATARI. (Enero de 2017). *GIDAHATARI*. Obtenido de GIDAHATARI.
- GWP. (14 de 12 de 2011). *Global Water Partnership*. Obtenido de Global Water Partnership:
<https://www.gwp.org/fr/GWP-Sud-America/ACERCA/quien/GWP/>
- Henríquez, C., Cabalceta , G., Bertsch, F., & Alvarado, A. (SF). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html
- IMTA. (2008). *Balances Hidricos Mensuales, Oferta y Demanda*. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, San Jose.
- Jaquez, C. J. (Miércoles de Abril de 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*, pág. 4.
- Lafragua, J., & Gutierrez. (2010). *La Evaporación en la cuenca del Lago de Patzcuaro, Mexico*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Querétaro.
- Lopez, L. R. (2015). *Alternativas de Manejo sustentable de la Subcuenca del rio Pitura, Provincia de Imbabura, Ecuador*. Imbabura, Ecuador.

- Marini, F., & Piccolo, C. (2000). *El Balance Hídrico en la Cuenca del Río Quequén Salado*. Argentina: Papeles de Geografía.
- Nereida, & Rodriguez, N. (2004). *Acciones y Reflexiones para la Conservación y el Manejo de Agua en México*. México.
- Ramírez, P. (SF). *Estudio Metereologico de Los Veranillos en Costa Rica*. Instituto Metereologico de Costa Rica, San Jose.
- SEGOB. (27 de Marzo de 2015). NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.
- SEMARNAT. (2013-2014). *Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Recuperado el 15 de Febrero de 2018, de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_1.html
- UNESCO. (2006). *Evaluación de los Recursos Hidricos*. Montevideo, Uruguay: Documentos Técnicos del PHI-LAC.
- Unesco. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hidricos en el Mundo*. Paris.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.