

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

LICENCIATURA EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS CON ÉNFASIS EN
ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO

**DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LAS SUBCUENCAS DE LAS
QUEBRADAS GÜITITE, MORAZÁN Y LAS HAYAS, REGIÓN
CENTRAL, COSTA RICA**

Trabajo Final de Graduación, en modalidad de tesis, sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

José Ignacio Alvarado Espinoza

Heredia, Costa Rica

Septiembre, 2025

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Trabajo Final de Graduación aprobado por el Tribunal de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

M.Sc. Andrés Alpízar Naranjo

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

M.Sc. Luis Eduardo Quesada Hernández

Representante de la Dirección de la Escuela de Ciencias Geográficas

M.Sc. Ligia Isabel Hernando Echeverría

Tutora de tesis

Dr. Ricardo Alonso Orozco Montoya

Asesor de tesis

M.Sc. María del Carmen Sibaja Cascante

Asesora de tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Santísima Virgen por ser mi fe, esperanza y fortaleza, el impulso que me ha mantenido constante en este camino recorrido.

A mis padres, hermano, abuelos y abuelas, quienes me han acompañado en los retos y oportunidades que el estudio me ha brindado.

A la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional por el aprendizaje que me ha permitido vivir en mi carrera profesional. Agradezco especialmente a la M.Sc. Ligia Hernando Echeverría por la compañía, orientación y guía que significó en el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Ricardo Orozco Montoya y a la M.Sc. María Sibaja Cascante por los aportes y recomendaciones realizados en la redacción del presente trabajo.

A las ASADAS de Altos de Naranjo y Morazán de Atenas, la Municipalidad de Atenas, Coopeatenas R.L. y las Asociaciones de Desarrollo Integral de Morazán, San Isidro y Altos de San Isidro por el recibimiento durante la ejecución del estudio.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADI	Asociación de Desarrollo Integral
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADA	Asociación Administradora de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CAANSIA	Comisión Ambiental de Altos de Naranjo de San Isidro de Atenas
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GAM	Gran Área Metropolitana de Costa Rica
GIRH	Gestión Integral del Recurso Hídrico
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INVU	Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MIC	Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MINAET	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
MIRENEM	Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ORAC	Oficinas Regionales de Acueductos Comunes
OT	Ordenamiento Territorial
PEN	Programa Estado de la Nación
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
SIG	Sistema de Información Geográfica

RESUMEN

Los estudios de disponibilidad hídrica ofrecen información valiosa sobre la ocurrencia y distribución espacial del agua como recurso aprovechable para la sociedad. Desde el punto de vista del manejo de cuencas hidrográficas conocer la disponibilidad del recurso hídrico es fundamental para proponer medidas de planificación y ordenamiento territorial, así como la posible implementación de acciones que promuevan un aprovechamiento sostenible del recurso, según las características del sistema hídrico natural de las cuencas.

La presente investigación realiza un análisis de la variación espacial y temporal de la disponibilidad hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas con el objetivo de ser un insumo para el aprovechamiento del recurso hídrico que realizan las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo del cantón de Atenas.

Se utiliza el método de balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957), adaptado por Hernando (1988), para determinar la oferta y la demanda hídrica natural de las subcuencas, así como los períodos en los que se presenta déficit y excesos hídricos según zonas climáticas, unidades geomorfológicas y usos del suelo. La disponibilidad hídrica se establece por medio del Índice de Escasez (Ie) propuesto por IDEAM (2004), según la reclasificación realizada por Hernando, Ruíz y Solís (2012).

Como principal hallazgo se determina que las subcuencas de las Quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas presentan una disponibilidad hídrica moderada lo que indica que la oferta de agua aprovechable en las subcuencas es insuficiente para abastecer la demanda hídrica natural. De acuerdo con la zonificación de disponibilidad hídrica realizada, las áreas que presentan las mejores condiciones de disponibilidad hídrica son áreas de bosque distribuidas a lo largo del cauce de quebradas y arroyos. Por el contrario, áreas cubiertas por pastos, café y cítricos son áreas que presentan condiciones críticas de disponibilidad hídrica.

Dado que la disponibilidad hídrica es moderada se recomienda que el aprovechamiento del recurso hídrico pueda ser fortalecido en dos líneas de trabajo: 1) la protección y la regulación del cambio del uso del suelo en áreas de importancia hídrica para el abastecimiento y 2) el manejo y la planificación del consumo de agua que realizan las comunidades. De esta manera, se fomenta un ordenamiento de la oferta y la demanda hídrica, a fin de que el uso del agua pueda ser compatible con el régimen hídrico de las subcuencas.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. Objetivo General.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. EL AGUA COMO RECURSO	9
2.1.1. Recurso hídrico superficial y subterráneo	10
2.2. LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN	11
2.2.1. Ordenamiento del territorio, cuencas hidrográficas y Gestión Integral del Recurso Hídrico	12
2.3. DISPONIBILIDAD HÍDRICA	15
2.3.1. Balance hídrico	15
2.3.2. Zonificación de la disponibilidad hídrica.....	17
3. ÁREA DE ESTUDIO	18
3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	18
4. METODOLOGÍA	20
4.1. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN	20
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	20
4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	21
4.4. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	26
4.4.1. Delimitación del área de estudio.....	26
4.4.2. Morfometría de las subcuencas.....	26
4.4.2.2. Densidad de drenaje (Dd)	26
4.4.2.3. Densidad de cantidad de cauces (D _o)	26
4.4.2.4. Profundidad de disección (Pd).....	26
4.4.2.5. Pendiente media del cauce principal (PMC)	27
4.4.2.6. Índice de sinuosidad (S).....	27
4.4.2.7. Coeficiente de Compacidad (Kc).....	27
4.4.2.8. Anchura media de la cuenca (Am).....	27

4.4.2.9.	Tiempo de concentración (t_c).....	28
4.4.2.10.	Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	28
4.4.2.11.	Elevación media de la cuenca (E_{med}).....	28
4.4.2.12.	Integral hipsométrica (IH).....	28
4.4.2.13.	Clasificación de las pendientes	29
4.4.3.	Unidades geomorfológicas	29
4.4.4.	Clima.....	29
4.4.4.1.	Precipitación media	31
4.4.4.2.	Zonas climáticas	32
4.4.5.	Suelos	34
4.4.5.1.	Agua disponible en el suelo	34
4.4.5.2.	Usos del suelo.....	36
4.4.6.	Cálculo del déficit hídrico y de la ganancia hídrica	36
4.4.7.	Clasificación de los resultados del déficit y el exceso hídrico (ganancia).....	38
4.4.8.	Zonificación de la disponibilidad hídrica.....	38
4.4.9.	Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas de disponibilidad hídrica.....	39
4.4.10.	Aprovechamiento del recurso hídrico	40
4.4.10.1.	Concesiones de agua superficial y subterránea	40
4.4.10.2.	Taller con las comunidades de las subcuencas.....	40
5.	RESULTADOS.....	46
5.1.	HIDROGRAFÍA Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.....	46
5.2.	GEOMORFOLOGÍA Y UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	58
5.3.	SUELOS.....	61
5.3.1.	Agua disponible en el suelo	61
5.3.2.	Usos del suelo.....	66
5.3.2.1.	Bosque.....	66
5.3.2.2.	Café	68
5.3.2.3.	Cítricos	68
5.3.2.4.	Pasto	68
5.3.2.5.	Urbano.....	68
5.4.	CLIMA.....	69

5.4.1.	Precipitación media	69
5.4.2.	Zonas climáticas	73
5.5.	RÉGIMEN HÍDRICO	75
5.5.1.	Comportamiento hídrico en la Zona Climática I.....	75
5.5.2.	Comportamiento hídrico en la Zona Climática II.....	80
5.6.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL DÉFICIT Y LA GANANCIA HÍDRICA ANUAL.....	82
5.6.1.	Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	82
5.6.2.	Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	85
5.6.3.	Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	88
5.7.	OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA ANUAL.....	91
5.7.1.	Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	91
5.7.2.	Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	91
5.7.3.	Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	96
5.8.	DISPONIBILIDAD HÍDRICA ANUAL.....	99
5.8.1.	Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite	99
5.8.2.	Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán	100
5.8.3.	Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas.....	100
5.9.	APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO	104
5.9.1.	Concesiones de agua superficial y subterránea	104
5.9.2.	Uso de las concesiones de agua superficial y subterránea.....	106
5.9.3.	Percepción de las comunidades sobre el aprovechamiento del recurso hídrico.....	108
5.9.3.1.	Significado del agua	108
5.9.3.2.	Usos del agua.....	109
5.9.3.3.	Procedencia del agua	111
5.9.3.4.	Problemáticas del agua	113
6.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	115
6.1.	PROTECCIÓN Y REGULACIÓN DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN ÁREAS DE IMPORTANCIA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.....	115
6.2.	MANEJO Y PLANIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA EN LAS COMUNIDADES.....	121
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
7.1.	CONCLUSIONES.....	125
7.2.	RECOMENDACIONES	127

8. REFERENCIAS	129
9. ANEXOS	139

CUADROS

Cuadro 1: Operacionalización de las variables del Objetivo 1.....	22
Cuadro 2: Operacionalización de las variables del Objetivo 2.....	24
Cuadro 3: Operacionalización de las variables del Objetivo 3.....	25
Cuadro 4: Estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.....	30
Cuadro 5: Grupos climáticos según el Índice Hídrico de Thornthwaite.....	33
Cuadro 6: Profundidad de las raíces según el uso del suelo.....	37
Cuadro 7: Disponibilidad hídrica según Índices de Escasez.....	39
Cuadro 8: Contactos a través de las que se compartió la invitación al taller con las comunidades	41
Cuadro 9: Actividades del taller con las comunidades	44
Cuadro 10: Clasificación de la parte alta, media y baja de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas según la distribución de las pendientes.....	55

TABLAS

Tabla 1: Ubicación de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas según el sistema de coordenadas métricas SIRGAS-CRTM05.....	18
Tabla 2: Parámetros morfométricos de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	46
Tabla 3: Cobertura de áreas por clasificación del porcentaje de pendientes en las subcuencas	54
Tabla 4: Análisis físico del perfil del suelo 1, unidad geomorfológica de origen volcánico	63
Tabla 5: Análisis físico del perfil del suelo 2, unidad geomorfológica de origen sedimentario	65
Tabla 6: Usos del suelo en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	66
Tabla 7: Precipitación media anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	72
Tabla 8: Resultados generales de los balances hídricos según zona climática, unidad geomorfológica y uso del suelo	75

Tabla 9: Resultados del Índice de escasez (Ie) y disponibilidad hídrica según zona climática, unidad geomorfológica y uso del suelo	99
Tabla 10: Cantidad de pozos, nacientes y concesiones de agua superficial dentro de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	104

GRÁFICOS

Gráfico 1: Cantidad acumulada de pajas de agua registrada por la ASADA de Morazán, 2019-2024.....	4
Gráfico 2: Cantidad acumulada de pajas de agua registrada por la ASADA de Altos de Naranjo, 2019-2024	5
Gráfico 3: Correlación entre el Índice Hídrico (Im) y la altitud de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio.....	34
Gráfico 4: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Güitite	51
Gráfico 5: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Morazán	51
Gráfico 6: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Las Hayas	52
Gráfico 7: Comparación de la curva hipsométrica de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	53
Gráfico 8: Precipitación media mensual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	72
Gráfico 9: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Güitite	106
Gráfico 10: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Morazán.....	107
Gráfico 11: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Las Hayas	107
Gráfico 12: Porcentaje de participantes que mencionaron cada palabra durante el taller	108
Gráfico 13: Porcentaje de participantes que menciona cada actividad.....	110
Gráfico 14: Fuentes de procedencia del agua según las personas participantes del taller	111
Gráfico 15: Porcentaje de participantes que menciona cada problemática asociada al agua en las comunidades.....	113

FIGURAS

Figura 1: Subsistemas y procesos del Ciclo Hidrológico Global	9
Figura 2: La cuenca hidrográfica	12
Figura 3: Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación	30

Figura 4: Participantes del taller con las comunidades de las cuencas	42
Figura 5: Modelo de elevación digital de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	50
Figura 6: Perfil del suelo 1, unidad geomorfológica volcánica	62
Figura 7: Perfil del suelo 2, unidad geomorfológica sedimentaria	64
Figura 8: Palabras que las personas de las comunidades relacionan con el significado del agua según la frecuencia con que se mencionan.....	109
Figura 9: Usos del agua según las actividades mencionadas por los participantes del taller.....	110
Figura 10: Mapa parlante elaborado por las personas participantes del taller para las actividades 3 y 4.....	112

MAPAS

Mapa 1: Ubicación de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	19
Mapa 2: Número de orden y red de drenaje de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	47
Mapa 3: Porcentaje de pendientes en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.....	56
Mapa 4: Clasificación de partes de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.....	57
Mapa 5: Unidades geomorfológicas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.....	59
Mapa 6: Geomorfología de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	60
Mapa 7: Usos del suelo en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, 2022.....	67
Mapa 8: Temperatura media anual de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.....	70
Mapa 9: Precipitación media anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	71
Mapa 10: Zonas climáticas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas	74
Mapa 11: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	83
Mapa 12: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite	84
Mapa 13: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	86
Mapa 14: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	87
Mapa 15: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	89
Mapa 16: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas.....	90
Mapa 17: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	92

Mapa 18: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	93
Mapa 19: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	94
Mapa 20: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	95
Mapa 21: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	97
Mapa 22: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	98
Mapa 23: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	101
Mapa 24: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	102
Mapa 25: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas	103
Mapa 26: Concesiones dentro de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, según tipo de fuente de abastecimiento.....	105
Mapa 27: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Güitite.....	118
Mapa 28: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Morazán.....	119
Mapa 29: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Las Hayas.....	120

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un factor importante de integrar dentro de los territorios debido a las relaciones ecológicas, biológicas y sociales que a partir de su disponibilidad se pueden desarrollar. Para la sociedad, la relación entre la ocupación del territorio y el agua es evidente para garantizar calidad de vida de las personas y el desenvolvimiento de sus actividades productivas (Calderón et al., 2020). A pesar de ello, la falta de conciencia y de prospección ambiental ha llevado al deterioro de la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, lo que condiciona la supervivencia de las actuales y las futuras poblaciones (Vargas, 2001).

Dentro de las cuencas hidrográficas se desarrollan múltiples actividades con incidencia sobre el estado de los recursos hídricos, por lo que se requieren de estrategias de Ordenamiento Territorial (OT) que establezcan medidas para la mitigación y la regulación de usos del suelo que puedan significar un riesgo para el recurso (Pochat, 2008). Asimismo, es necesario recurrir a mecanismos para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) con el fin de fomentar un manejo y desarrollo coordinado del aprovechamiento del agua de las cuencas (Global Water Partnership, 2013). La implementación de ambos procesos, OT y GIRH, facilita el Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (MIC), a través del cual, se propicia un marco de planificación en el que toma importancia la interrelación entre recursos naturales, actores sociales y actividades socioeconómicas del territorio (López, 2014).

Los estudios de disponibilidad hídrica permiten conocer, a través del método de balance hídrico, la cantidad de agua que puede ser aprovechada en una cuenca como recurso para las actividades humanas, una vez que se han satisfecho los requerimientos del medio natural (Hernando, 2017). Esta información funciona como base para proponer una reorganización del territorio con enfoque de cuencas hidrográficas a fin de promover estrategias para un uso sostenible de los recursos naturales y un buen ejercicio de los servicios públicos (Cruz et al., 2023).

Las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se localizan en la Región Central de Costa Rica y se encuentran influenciadas por el régimen climático de la vertiente del Pacífico. Debido a la importancia que tiene el recurso hídrico de las subcuencas para el abastecimiento y las actividades productivas de las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo, del cantón de Atenas, esta investigación realiza un análisis sobre la variación espacial y temporal de la disponibilidad hídrica, con el fin de contribuir a la toma de decisiones en materia de aprovechamiento del agua a escala local, así como la posible implementación futura de un MIC, que integre aspectos de OT y GIRH.

1.1. Planteamiento del problema

En Costa Rica, el potencial hídrico superficial y subterráneo se asocia a una disponibilidad hídrica de poco más de 113 km³ al año. De estos, 73 km³ pertenecen a la escorrentía superficial y 40 km³ a la recarga acuífera (Proyecto Humedales, 2016). De acuerdo con MINAET et al., (2013), la oferta hídrica anual por persona es de 24 784 m³. Valverde (2016) considera que este valor puede ser superior a los 31 300 m³, lo que se posiciona como la tasa de extracción hídrica per cápita más alta de Centroamérica.

En el país, el servicio de abastecimiento público del recurso hídrico es brindado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS), las municipalidades, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y otras denominaciones. Las instituciones con mayor cobertura poblacional son el AyA y las ASADAS (AyA, 2016). En el año 2023, las ASADAS conformaron el 90,11% de los enteoperadores de las Oficinas Regionales de Acueductos Comunes (ORAC) siendo la principal figura administradora del servicio público de agua para muchas comunidades rurales y urbano-periféricas (AyA, 2023).

Según el informe del Programa Estado de la Nación (PEN) (2024), en el año 2023 un 92% de la población de costarricense estuvo cubierta con agua de calidad potable para consumo humano y un 76% recibió agua sometida a controles de calidad. Desde el punto de vista de la demanda hídrica un 89,9% del agua extraída por el país se destinó a la producción de energía hidroeléctrica. El 10,1% del agua restante, equivalente a 3391 hm³, se distribuyó en un 65,1% para el riego, 22,8% para consumo humano, 6,6% al sector agropecuario y 5,5% a la agroindustria (PEN, 2024). Entre el año 2022 y el año 2023, el volumen anual de explotación de agua por medio de pozos aumentó de los 14,1 hm³ a los 18,9 hm³, mientras que la cantidad acumulada de pozos legales perforados pasó de los 17 128 a los 17 398.

En los últimos cuatro años, el servicio público de agua ha experimentado problemas para satisfacer la demanda hídrica poblacional. Para el año 2022, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) señaló que el país enfrentó una disminución de la oferta hídrica del 0,3% respecto al año 2020. Un 66% de los acueductos nacionales presentó una capacidad hídrica reducida por escasez en las fuentes de agua y un 34% manifestó algún nivel de estrés hídrico para satisfacer su demanda poblacional (PEN, 2022). En el año 2023 el déficit de agua para el abastecimiento fue de 556,5 litros por segundo a nivel nacional y en las áreas periféricas a la Gran Área Metropolitana (GAM), como el caso de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, el déficit de agua promedio fue de 199,9 l/s

(PEN, 2024). Al 2023, se contabilizaron 6279 cortes del servicio de agua fuera de la GAM, un 35% más que en el año 2022 (PEN, 2024).

El panorama anterior indica que, aunque Costa Rica posee buenos indicadores de cobertura para el abastecimiento, se presenta una fuerte problemática hídrica relacionada con el manejo y la gestión del recurso por el incremento en la demanda hídrica (Barquero, 2009). Este crecimiento responde al auge de actividades productivas como el turismo, el desarrollo inmobiliario y el establecimiento de monocultivos, que provocan efectos como la contaminación, la deforestación y el agotamiento de las fuentes de captación (PEN, 2002). Ante escenarios de debilidad institucional como recursos económicos limitados y el cambio en los patrones climáticos, varios entes operadores han negado el otorgamiento de nuevas solicitudes de disponibilidad hídrica, lo que eleva las presiones en la administración de los recursos hídricos (PEN, 2024).

Además de la presión en el sector administrativo, Costa Rica experimenta un deterioro en la calidad ambiental de las cuencas hidrográficas debido a la pérdida de coberturas boscosas, el crecimiento de áreas urbanas sin ningún ordenamiento, el mal manejo de los suelos, los vacíos en los procesos de tratamiento de aguas domésticas y la ausencia de una gestión integrada e interinstitucional para la gobernanza del recurso hídrico (PEN, 2002; Villareal y Wilson, 2022; PEN 2024). Dicha situación eleva la importancia de estrategias que mejoren la administración y la conservación del recurso hídrico en aras de promover un aprovechamiento sostenible del agua.

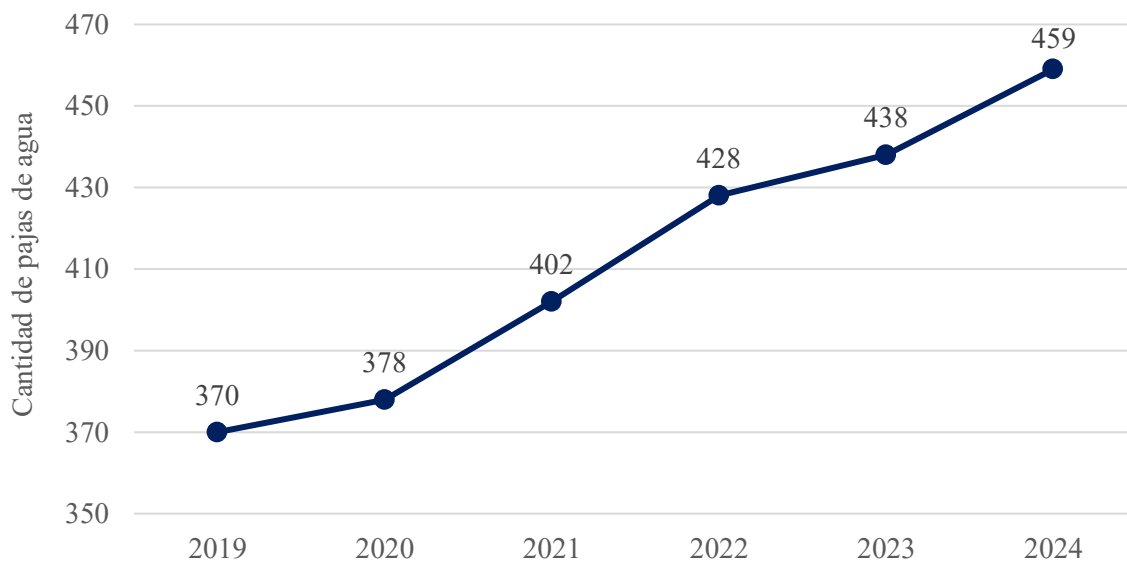
Según lo señala PNUD et al., (2011), la cuenca del río Grande de Tárcoles es una de las cuencas que presenta las mayores problemáticas en torno al abastecimiento del recurso hídrico. Esta cuenca concentra más del 60% de la población del país y la mayor parte de las actividades económicas. Por ello, la demanda existente del recurso aumenta la presión por el acceso y la disponibilidad del agua. Específicamente, en la región comprendida por el Valle Central, la disponibilidad hídrica está disminuyendo por el aumento de la población y al descenso en el volumen de agua que ofrecen los ríos y las aguas subterráneas (Esquivel, 2004).

Las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, se encuentran en el Valle Central Occidental y forman parte de las cuencas tributarias de la subcuenca del río Grande, perteneciente a la cuenca del río Grande de Tárcoles. En general, la subcuenca del río Grande posee pocos estudios relacionados con la disponibilidad hídrica y los riesgos asociados a la utilización de los recursos hídricos (Monge, 2020), por lo que existen vacíos en la información referente al agua a escala local.

De acuerdo con el mapa de nacientes del cantón de Atenas de García (2020), las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentran dentro de uno de los sectores con mayor cantidad de nacientes aprovechadas para el abastecimiento público dentro del cantón (Anexo 1). Las ASADAS son el principal ente operador del agua y son quienes brindan el servicio de abastecimiento a las cuatro comunidades que se encuentran en el área de estudio: Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo. En sus inicios, el servicio público de abastecimiento fue proporcionado por el AyA, sin embargo, a causa de las limitaciones de operación, el servicio comenzó a ser administrado por grupos comunales organizados que conformaron ASADAS. Este aspecto mejoró la cobertura del servicio de abastecimiento y la distribución del agua para las poblaciones locales (Madriz, comunicación personal, 2022).

Entre los años 2019 y 2024, las ASADAS de Morazán y Altos de Naranjo de Atenas experimentaron un aumento en la cantidad de pajas de agua otorgadas (Gráficos 1 y 2). La ASADA de Morazán pasó de tener 370 pajas de agua otorgadas en 2019 a 459 en el año 2024 y la ASADA de Altos de Naranjo experimentó un cambio de 216 pajas de agua otorgadas en 2019 a 259 pajas de agua en 2024.

Gráfico 1: Cantidad acumulada de pajas de agua registrada por la ASADA de Morazán, 2019-2024

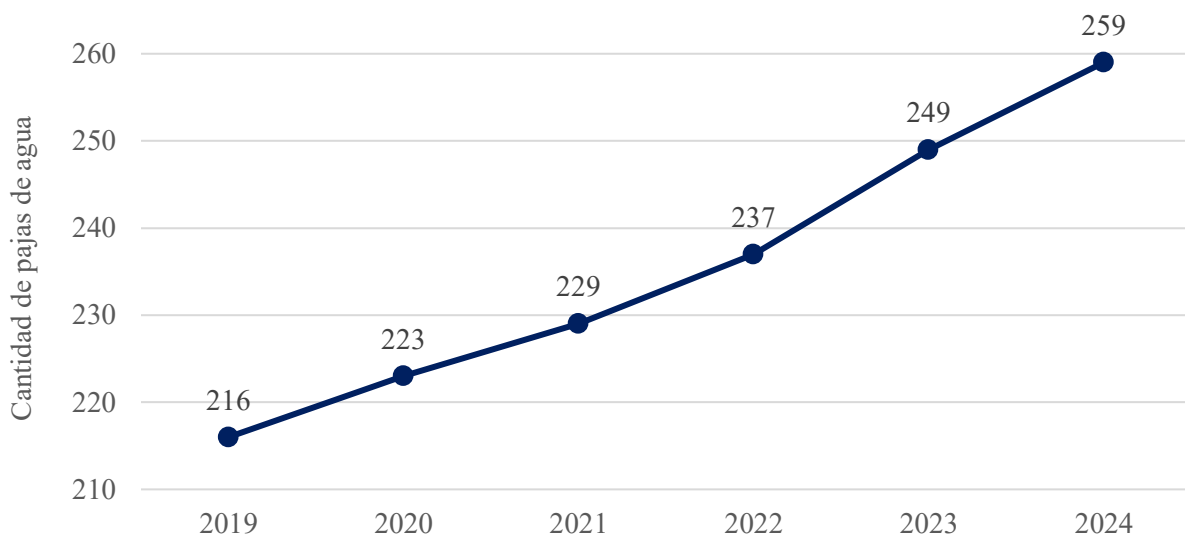


Fuente: ASADA de Morazán de Atenas, 2025

Según Cortés (2023), el acueducto de Morazán no presenta limitantes para satisfacer la demanda actual, ya que la cantidad de agua que producen las fuentes de captación supera el consumo de agua del acueducto, por lo que la ASADA puede brindar nuevos servicios de abastecimiento. En el caso del

acueducto de los Altos de Naranjo, Rojas (2023) identifica a nivel general la cantidad de agua que producen las fuentes de captación del acueducto supera el consumo de agua del acueducto. No obstante, si se analizan los subsistemas del acueducto, dos de los tres subsistemas que componen el acueducto están experimentando presión para brindar el servicio de abastecimiento a las comunidades por lo que la ASADA requiere de buscar nuevas fuentes para el abastecimiento y realizar racionamientos en el servicio.

Gráfico 2: Cantidad acumulada de pajas de agua registrada por la ASADA de Altos de Naranjo, 2019-2024



Fuente: ASADA de Altos de Naranjo de Atenas, 2025

La presión futura sobre el recurso hídrico aumentará de acuerdo con las proyecciones realizadas por ambos autores. Para el acueducto de Morazán, Cortés (2023) calcula que en el año 2048 dos de los cuatro subsistemas que conforman el acueducto de Morazán experimentarán un consumo de agua superior a la cantidad de agua producida por las fuentes de captación por lo que recomienda que la ASADA busque nuevas fuentes para el abastecimiento. Por su parte, Rojas (2023) calcula que para el año 2033, los dos subsistemas que actualmente experimentan presión para brindar el servicio de abastecimiento agudizarán su situación y enfrentarán desabastecimiento y racionamientos en el servicio.

Como los estudios citados anteriormente consideran únicamente la relación entre la producción de agua en las fuentes de captación de los acueductos y el consumo de agua realizado por la población

que satisface las ASADAS, no se tiene claro si la disponibilidad hídrica se encuentra condicionada por las características del sistema hídrico de las cuencas donde se realiza el aprovechamiento del recurso.

Debido a lo anterior, esta investigación se propone analizar el panorama espacial y temporal de disponibilidad hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, a fin de considerar aspectos como la relación de los usos del suelo con el régimen hidrológico de las cuencas, la variación espacial de la precipitación y las características del aprovechamiento hídrico local. Así se pretende contribuir, desde el enfoque integral de cuencas hidrográficas, a la toma de decisiones y procesos de planificación ambiental y administrativa que realizan instituciones, organizaciones, asociaciones y comunidades que utilizan el recurso hídrico de las subcuencas para abastecerse.

1.2. Justificación

En el ámbito social, un adecuado manejo de los recursos hídricos favorece que las comunidades puedan mejorar su bienestar en aspectos como la salud, la socioeconomía y la calidad ambiental. Como lo identifica Guzmán (2008), una buena interrelación entre los procesos ambientales e hidrológicos incide en el grado de calidad de vida de las personas y representa una base para promover la seguridad social en el acceso a los recursos naturales. El auge en la demanda de los recursos hídricos conlleva a una fuerte presión sobre las estrategias de planificación, lo que representa uno de los mayores retos ambientales para propiciar un escenario sostenible entre las prioridades del desarrollo social y los impactos sobre la naturaleza.

Dentro del ejercicio administrativo, las evaluaciones sobre la disponibilidad hídrica son instrumentos importantes para conocer el potencial hídrico dentro de las cuencas hidrográficas debido al valor que tiene el conocimiento de los procesos hidrológicos para el manejo y la GIRH. De acuerdo con Lozano (2018), calcular la disponibilidad hídrica y sus variaciones socio temporales es esencial para poder realizar un control sobre las actividades humanas. Ante escenarios de escasez e incremento en la demanda global de los recursos hídricos aumentan las disparidades espaciales en la distribución del recurso hídrico, lo que conlleva al aumento en los conflictos por el agua.

El balance hídrico ofrece información de importancia para la toma de decisiones en materia de planificación, ya que permite cuantificar la distribución espacial y temporal de las fases del ciclo hidrológico y, a partir de ellas, conocer el estado de la oferta y la demanda del recurso. Así, se pueden establecer lineamientos para asegurar la propia permanencia del recurso y el aprovechamiento del agua para proyectos actuales y futuros (Global Water Partnership, 2011).

Ante escenarios de cambio climático, la información obtenida del balance hídrico contribuye a que las instituciones y la sociedad civil planteen acciones de adaptación debido a la alta dependencia del sector socioprodutivo respecto a la estacionalidad de las precipitaciones. En las regiones Central, Pacífico Central y Chorotega, los impactos directos del cambio climático: sequías prolongadas, inundaciones y eventos hidrometeorológicos reducen la oferta hídrica para consumo humano, lo que incrementa la vulnerabilidad de sus poblaciones y la necesidad de plantear medidas de adaptación (MINAE et al., 2018).

Esta investigación pretende aportar conocimiento sobre el estado de la disponibilidad hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, lo que contribuirá a los procesos de toma de decisiones que realizan comunidades, instituciones y organizaciones con información sobre las características naturales de las subcuencas, el régimen hidrológico y el estado en la disponibilidad del recurso hídrico según el sistema hídrico natural de las subcuencas.

El estudio resulta también significativo para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial al considerar que el Plan Regulador Cantonal del cantón de Atenas se encuentra en proceso de revisión. Este instrumento de planificación, mediante el reglamento de zonificación, tiene incidencia sobre la regulación de los usos del suelo y los procesos de ocupación poblacional en el área, ambos aspectos con influencia sobre la cantidad de agua disponible en las subcuencas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el comportamiento espacial y temporal de la disponibilidad hídrica como insumo para el aprovechamiento del agua en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas de la Región Central de Costa Rica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones morfológicas, edafológicas, climáticas y geomorfológicas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.
- Establecer las áreas que presentan condiciones de déficit o exceso hídrico.
- Determinar la distribución espacial y temporal de la disponibilidad hídrica.

2. MARCO TEÓRICO

El enfoque de este trabajo se sustenta en fundamentos teóricos provenientes de la hidrología y el ordenamiento del territorio (OT) aplicados al estudio de cuencas hidrográficas. Estas áreas aportan conocimientos que contribuyen a la comprensión de la forma en que los fenómenos hidrológicos se distribuyen e interrelacionan con la configuración espacial del territorio y el aprovechamiento del agua como recurso para la sociedad.

Desde la hidrología, se estudian los fenómenos asociados al agua, según su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie del planeta; considerando además las propiedades químicas y físicas que los relacionan con el medio natural y los seres vivos (Villón, 2022). La hidrología comprende el ciclo hidrológico en diversas escalas de análisis y aplicaciones, como por ejemplo el cálculo de balances hídricos, la exploración del estado de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la elaboración de pronósticos hidrológicos, la determinación de regímenes hidrológicos y la planificación responsable del agua como recurso (Birkel, 2007).

Por su parte, el OT “refiere a los métodos utilizados por el sector público, en su mayoría gobiernos nacionales o locales, para influir en la distribución de personas y actividades en el espacio geográfico” (Avendaño, Cedeño y Arroyo, 2020, p.72). Representa un ejercicio administrativo que a través de la toma de decisiones articulada busca garantizar un adecuado desarrollo de asentamientos humanos, una gestión integral de recursos naturales y un crecimiento económico en el territorio (MIVAH, 2012). Por tal motivo, conforma un proceso político y participativo basado en un soporte legal, técnico y científico que busca coordinar al territorio con sus diferentes actores sociales (INVU, 2018).

Para la geografía, ordenar el territorio significa poder incidir en la planificación espacial teniendo en cuenta los procesos de territorialización que hacen únicos a los territorios. Como lo expresa Haesbaert (2006), implica valorar que el espacio geográfico es moldeado por fuerzas económicas, políticas, culturales y naturales que se conjugan de manera específica en cada lugar. Enfocado en el panorama de los recursos hídricos, el OT adquiere una vital relevancia como modalidad de gestión y planificación que tiene la capacidad de considerar aspectos esenciales para el desarrollo social, como el logro de una mayor equidad en el acceso y la distribución del agua potable, así como de la mejora de los servicios brindados a la sociedad (Gudiño y Cuello, 2017).

2.1. El agua como recurso

El agua cubre más del 70% de la superficie del planeta. La mayor parte se encuentra albergada en los océanos, en casi un 97,5%. Del total de agua presente en la Tierra, solo el 2,5% es catalogada como agua dulce. Los glaciares, la nieve y los casquetes polares representan casi el 80% del total de agua dulce del mundo, mientras que un 19% es albergado como agua subterránea y un 1% es agua dulce superficial (Cirelli, 2012).

Dentro del ciclo hidrológico global, el agua es el principal componente del sistema. Según su distribución y dinámica de flujo se comprenden los procesos que dan origen al ciclo hidrológico y a cada uno de los subsistemas que lo conforman. De acuerdo con la clasificación de Chow, Maidment y Mays (2000), el ciclo hidrológico se encuentra constituido por tres subsistemas: sistema de agua atmosférica, sistema de agua superficial y sistema de agua subsuperficial (Figura 1).

Figura 1: Subsistemas y procesos del Ciclo Hidrológico Global



Fuente: Elaborado con base en Chow, Maidment y Mays (2000).

Naturalmente, el ciclo hidrológico y sus procesos son irregulares en todas las regiones del planeta, lo que conlleva a la existencia de períodos de satisfacción, sequías e inundaciones que definen la forma con que el agua puede ser aprovechada en los territorios (Villón, 2022). Socialmente, la manera en la que se desarrollan las actividades socioeconómicas repercute en el aprovechamiento del recurso hídrico, ya que problemáticas ambientales como la contaminación agrícola y urbana, la extracción masiva de agua subterránea y la transformación de las coberturas de la tierra condicionan la prosperidad y la duración a largo plazo de la disponibilidad del recurso (Carter, 2007).

Por tal motivo, como recurso el agua es renovable, pero finita (Cirelli, 2012), lo que determina que sus beneficios sean dependientes de los factores naturales y sociales que influyen en su distribución. Aspectos como la pérdida de las coberturas boscosas, la contaminación, el agotamiento de las reservas de agua subterránea, la extinción de especies, la degradación del suelo y el paisaje son factores que tienen impactos sobre la condición ecológica del medio. Además, estas situaciones repercuten en el ámbito social debido a la implementación de modelos insostenibles de consumo asociados al comercio globalizado y la sobreexplotación de los recursos, los cuales incrementan los niveles de pobreza y disminuyen la calidad ambiental (Calvo, 2018).

2.1.1. Recurso hídrico superficial y subterráneo

El recurso hídrico comprende las aguas superficiales y las aguas subterráneas. Las aguas superficiales corresponden a las aguas dulces originadas por la precipitación del vapor atmosférico y la escorrentía superficial. En ellas se consideran las aguas que no se encuentran evaporadas en la atmósfera ni las infiltradas en los depósitos subterráneos. Las aguas superficiales se encuentran en ríos, lagos o pueden estar retenidas como nieve o hielo (Sánchez, 2017). Por su parte, las aguas subterráneas son las aguas originadas por la infiltración del agua precipitada en superficie que desciende hasta los estratos geológicos profundos y se almacena en capas de material impermeable (Foster et al. 2003).

Tanto las aguas superficiales como las aguas subterráneas forman parte del mismo ciclo. Como refiere Sánchez (2017), las aguas subterráneas son la continuidad de las fases del ciclo hidrológico que acontecen de forma superficial. Por lo tanto, se encuentran interrelacionadas con los procesos superficiales de precipitación o escorrentía superficial, que ocurren en una región determinada. En ello, se exceptúan las aguas que no llegan a dar continuidad al ciclo como lo son las aguas juveniles (surgencias de agua en el interior de la Tierra que no alcanzan la superficie), las aguas termales de balnearios (aguas meteóricas que no se infiltran en el subsuelo) y las aguas fósiles o congénitas (aguas atrapadas en la formación de un sedimento y que formaron parte del ciclo millones de años atrás).

Las actividades antropogénicas, en muchas ocasiones, llevan a la modificación de los procesos hidrológicos. Los impactos se ven reflejados en la variación del flujo de agua dentro del ciclo, lo que repercute en los recursos superficiales y subterráneos. La alteración de los caudales de escorrentía y la descarga de las corrientes, la influencia de las actividades urbanas e industriales, la disminución de las coberturas vegetales, la actividad agrícola extensiva, entre otros; son ejemplos de actividades antrópicas

que ocasionan una importante transformación sobre los procesos hidrológicos, ya que varían la ocurrencia de los procesos de escorrentía, infiltración y descarga del agua (Ward et al., 2016).

En suma, el cambio climático se encuentra como un agente determinante sobre los procesos hidrológicos y la disponibilidad del recurso hídrico. De acuerdo con Un Water (2019), el cambio climático altera los patrones de precipitación y temperatura habituales que forman parte de los procesos del ciclo hidrológico. Un aumento en las sequías meteorológicas (lluvias) y agrícolas (humedad del suelo) supone un riesgo por la disminución de la cantidad de aguas superficiales y subterráneas disponibles. Además, factores como el incremento de las temperaturas, el aumento de la carga de sedimentos por exceso de lluvia erosiva y la contaminación por aguas residuales durante las crecidas alteran la dinámica y la composición de los flujos fluviales, lo que disminuye la calidad del agua como recurso disponible para la sociedad.

2.2. La cuenca hidrográfica como unidad de planificación

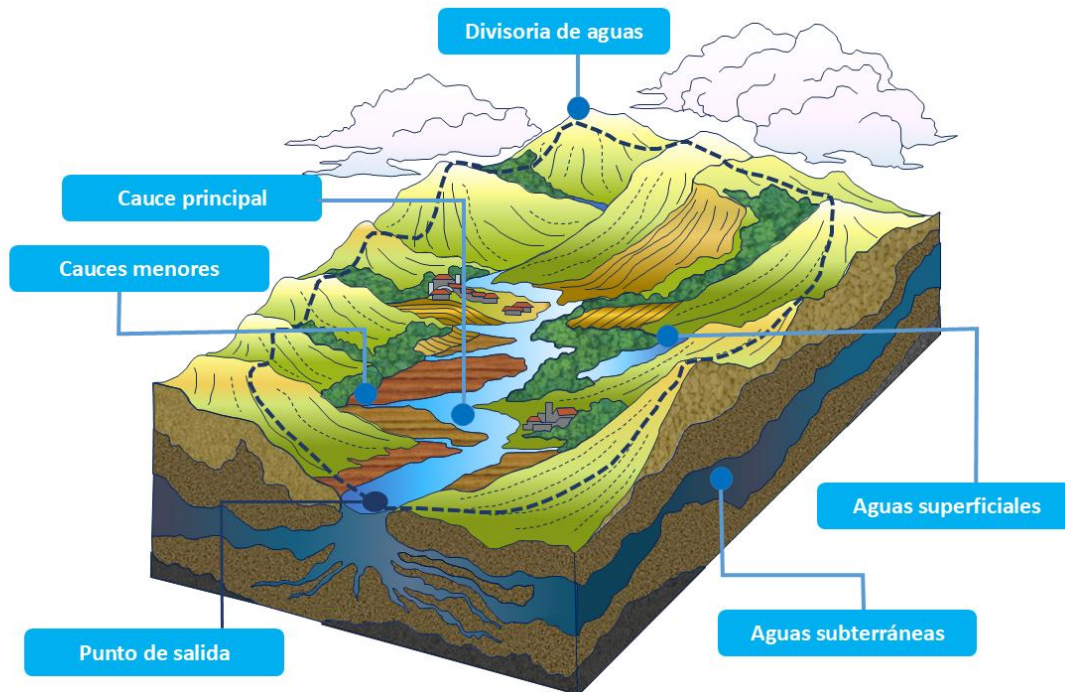
La cuenca hidrográfica es un espacio delimitado por un parteaguas o línea divisoria de aguas y un punto de drenaje en el que se concentran todos los escurrimientos de las aguas superficiales. La línea divisoria de aguas está conformada por zonas altas de montaña de donde drenan arroyos y ríos hasta desembocar hasta un punto de salida del drenaje (SEMARNAT, 2013) (Figura 2).

De una manera integral, “en estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes)” (SEMARNAT, 2013, p.7). Esta asociación permite que la cuenca pueda ser una unidad prestadora de servicios asociados al agua con varias formas de aprovechamiento como lo son los servicios de provisión y los servicios de regulación de hábitats y bellezas paisajísticas (Aguirre, 2011).

Dentro del manejo de los recursos hídricos, la forma en la que se encuentran configuradas las cuencas hidrográficas permite emplearlas como territorios aptos para la planificación. Para López (2014), esta cualidad se debe a que las cuencas hidrográficas conforman sistemas en los que se evidencian las causas/efecto de las acciones ejercidas sobre sus territorios. Las cuencas como unidades sistema se conforman de entradas, componentes, interacciones interrelaciones y salidas. Las entradas corresponden a los insumos que ingresan para procesarse dentro del sistema (precipitación, radiación solar, tecnologías, mano de obra), las cuales interactúan con los componentes que constituyen el sistema

natural de las cuencas (suelo, bosques, áreas protegidas). Según la forma en que interactúan entradas y componentes, pueden existir interrelaciones y salidas con efectos positivos o negativos sobre el ambiente.

Figura 2: La cuenca hidrográfica



Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento ambiental de una cuenca está determinado por la configuración territorial realizada por las poblaciones, según las actividades socioproductivas, los usos del suelo y el manejo de los recursos naturales que se hayan desarrollado. Así, las prácticas desarrolladas en la cuenca tienen la capacidad de afectar los procesos de escorrentía e infiltración del agua, lo que pone en manifiesto la necesidad por establecer mecanismos para la conservación y producción sostenible, mediante la planificación y la implementación de acciones a corto, mediano y largo plazo (Jiménez y Benegas, 2019).

2.2.1. Ordenamiento del territorio, cuencas hidrográficas y Gestión Integral del Recurso Hídrico

Desde una visión geográfica, se entiende que la calidad ambiental de las cuencas hidrográficas depende en gran medida de la configuración de los territorios. Según Santos (2000), esta configuración

se construye sobre la base de los sistemas de objetos (elementos del territorio) y acciones (relaciones entre actores y elementos) que se encuentran en el territorio. Los objetos condicionan el desarrollo de las acciones territoriales del mismo modo que las acciones llevan a la creación o modificación de los objetos preexistentes. Como consecuencia, el territorio es recreado bajo condiciones ambientales y sociales que definen su propia existencia en un continuo proceso de dinamismo y transformación.

Partir de la configuración territorial de las cuencas hidrográficas permite establecer las relaciones naturales y sociales necesarias para su manejo. De acuerdo con Solano (2008), el concepto de manejo de una cuenca hidrográfica, desde la visión territorial, está estrechamente ligado al uso de los recursos naturales considerando el grado de intervención humana y las necesidades sociales desde las que es necesario plantear estrategias para su ordenamiento. Según lo exponen Jiménez y Benegas (2019):

El propósito del manejo de cuencas es promover el uso y la gestión apropiada de los recursos naturales, buscando un equilibrio entre crecimiento económico, equidad, sostenibilidad integral y el mejoramiento de la calidad de vida de la población. El reto es producir conservando y conservar produciendo, a diferentes escalas y con horizontes de planificación e implementación de acciones a corto, mediano y largo plazo (p. 154).

En la búsqueda por alcanzar este propósito, el ordenamiento del territorio (OT) adquiere relevancia como un medio de análisis sobre la interacción entre el medio natural y el aprovechamiento social. La idea de planificar con fines de OT se basa en el análisis de las características diferenciales del territorio derivadas de la diversidad de escenarios ambientales producto de las interacciones espaciales entre la sociedad y la naturaleza. La diversidad de escenarios ambientales y sus relaciones territoriales representan el punto de partida desde el que se plantean formular nuevos escenarios ambientales adaptados a potencialidades, limitaciones de uso y posibles usos futuros que apunten hacia la sustentabilidad (Sánchez, 2003).

Bajo este panorama, se debe considerar el ordenamiento territorial de cuencas como un instrumento de política económica, social y ambiental que busca comprender en detalle el sistema natural de la cuenca hidrográfica y que parte de su estructura para validar la participación social, la toma de decisiones y la conservación de la calidad de los paisajes (Solano, 2008). Su beneficio se relaciona con el propio ejercicio del Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (MIC) ya que, dentro de una etapa previa a la gestión, el MIC permite articular el estudio, la planificación y la formulación de proyectos basados en los escenarios sobre el territorio y sus servicios, especialmente los asociados al agua.

Dicha situación, lleva a la comprensión de que el OT posee un vínculo directo con el MIC, lo que favorece el entendimiento de que exista un ordenamiento enfocado en la cuenca como territorio para facilitar su manejo y posterior gestión. Según lo define Dourojeanni (2010), el concepto de ordenamiento y manejo de cuencas alude al proceso orientado hacia la conservación de los procesos de aprovechamiento del agua en la cuenca, considerando la importancia aspectos como la captación, la protección de la red de drenaje y la cantidad, calidad y usos del agua. Dentro del OT, se formulan las acciones de manejo ambiental concretadas a partir de los planes, programas y actividades que se orientan al ordenamiento de la ocupación del territorio.

En este marco comprensivo, resulta importante el papel que posee el agua como componente integrador del territorio y como factor de encuentro entre las políticas asociadas al agua con su espacio geográfico inmediato. Para Calderón et al. (2020), la gestión del agua y el OT, en muchas ocasiones, se han visto como mecanismos de planificación disociados. Según Wiering e Immink (2006), esta situación se debe a la idea desacertada de que el OT, por su naturaleza regulatoria, persigue un enfoque de planificación multisectorial; mientras que la gestión del agua, por su énfasis sobre el recurso, persigue una planificación sectorizada en los temas únicamente asociados al agua.

Para ello, es necesario trascender hacia un pensamiento más equilibrado sobre la base de que el agua no se encuentra sesgada de su entorno ambiental y territorial y que por lo tanto una integración regulatoria sobre el aprovechamiento de los usos del territorio es también una oportunidad para gestionar, de mejor manera, los temas asociados al agua. Como lo identifican Andrade y Navarrete (2004), la integración entre la gestión del agua con la planificación del uso de la tierra y el OT es una necesidad cada vez más urgente para poder evaluar, de una manera integral y equitativa, la distribución y el manejo del agua en distintas escalas.

Desde el enfoque de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), la articulación con el OT y el MIC es una forma de promover la calidad ambiental del medio en el que se genera el aprovechamiento del agua. Como proceso, la GIRH “promueve el desarrollo y gestión coordinadas del agua, la tierra y los recursos asociados, para maximizar el resultante bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Global Water Partnership, 2009, p. 18). Esta visión, se complementa con el OT y el MIC, ya que con el ordenamiento territorial de cuencas se pretende alcanzar una adecuada planificación sobre el uso de los recursos naturales de la cuenca a fin de preservar las condiciones hídricas superficiales y subterráneas (Hernando et al., 2003).

2.3. Disponibilidad Hídrica

La disponibilidad hídrica se define como la cantidad de agua aprovechable dentro de una cuenca hidrográfica. Esta se encuentra condicionada por la oferta y a la demanda hídrica (Vargas et al., 2017), por lo que es el resultado de la interacción de los componentes del sistema natural de la cuenca, los cuales determinan el grado de distribución espacial y temporal del recurso.

Según lo plantea Rodríguez (2009), la disponibilidad hídrica se define como la oferta aprovechable de las aguas superficiales y subterráneas que puede ser utilizada para un fin específico a largo plazo. La oferta aprovechable es la cantidad de agua que queda libre para consumo humano una vez que haya satisfecho la demanda hídrica del sistema natural, definida por los requerimientos biológicos del ecosistema. Su importancia social se encuentra ligada al ámbito socioproductivo, ya que la estimación de la cantidad de agua disponible incide sobre el aprovechamiento del recurso para el desarrollo de prácticas asociadas a la alimentación, la producción de energía, la salud y la calidad ambiental (Lozano, 2018).

Como lo expone Hernando (2017), la oferta hídrica, que define la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca, es el resultado de la interacción de las condiciones climáticas, edafológicas, geomorfológicas y de cobertura vegetal existentes. La relación de estos componentes determina la cantidad de agua que se encuentra en el sistema y su distribución espacial, lo que facilita el establecimiento de la cantidad de agua que es almacenable como resultado conjunto del sistema. El componente climático es el referente desde el cual se cuantifica el agua que ingresa al sistema de la cuenca.

2.3.1. Balance hídrico

El balance hídrico es el método empleado para determinar la oferta potencial de agua en una cuenca hidrográfica. Según lo define Gómez (2013):

El cálculo del balance hídrico consiste en cuantificar y sumar los flujos de entrada y salida de la cuenca, así como aquellos de consumo y retorno que ocurren en su interior, para obtener la variación del volumen de agua durante el intervalo en el que se cuantifican los flujos (p. 6).

La interrelación entre los parámetros hidrológicos y la evaluación del consumo de agua son la base para el diagnóstico general del sistema hidrológico territorial, debido a la influencia que ambos elementos poseen sobre la disponibilidad espacial del recurso. Este vínculo entre componentes se debe

a que el modelo del balance hídrico se fundamenta en el principio de la conservación de la masa y continuidad, bajo el cual considera que la cantidad de agua que ingresa al suelo, por precipitación, debe ser igual a la cantidad de agua que es almacenada más la cantidad de agua que sale del suelo por procesos de evapotranspiración y flujo de descarga hacia los mantos acuíferos (Fetter, 2001)

Cuando el balance hídrico se realiza para un período de muchos años el ciclo hidrológico se análoga en entradas y salidas de agua. Esta igualdad se debe a que la evaluación de varios años engloba el volumen total de precipitaciones no evapotranspiradas con las pérdidas generadas por la evapotranspiración y la escorrentía total. De este modo, se entiende que el volumen total de precipitaciones será equivalente al total de agua aportado por el río principal en su desembocadura durante el período analizado (Sánchez, 2017).

Según Ordóñez (2011), al caso anterior se le suman dos supuestos importantes que se consideran como analogía fundamental de la conservación del agua dentro del sistema. Para ello, el método:

- “Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable)” (p.7).
- “Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo” (p.7).

Estas acepciones parten de la comprensión directa del ciclo hidrológico ya que, como parte de los procesos hidrológicos, las masas de agua sufren un continuo cambio en estado físico y distribución espacial, desplazándose entre depósitos a lo largo del año. Por tal motivo, se asume que la cantidad de agua que ingresa para almacenarse es la misma que sale de la cuenca (Ordoñez, 2011).

Además de conocer el estado del régimen hídrico de la cuenca, el balance hídrico brinda información clasificada por zonas climáticas o coberturas de uso del suelo. De manera especial, el balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (1957) relaciona la disponibilidad hídrica con las propiedades físicas del suelo, los factores hídricos y la climatología de la zona, por lo que aporta conocimientos sobre la presencia de humedad en el suelo, períodos de déficit/exceso de agua y evapotranspiración del agua llovida. Con base en estas consideraciones se comprende la distribución espacial del almacenamiento superficial de agua en la cuenca, en función de las zonas climáticas, las unidades geomorfológicas y los usos del suelo de la cuenca (Arauz, 1993).

2.3.2. Zonificación de la disponibilidad hídrica

Como lo exponen Hernando, Ruíz y Solís (2012), los resultados del balance hídrico son de utilidad en la elaboración de una zonificación espaciotemporal del estado de la disponibilidad hídrica de la cuenca. Para ello, se introducen los datos obtenidos dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el fin de realizar un análisis espacial de la información.

Por definición, una zonificación es un instrumento para el análisis de información geográfica, que permite asociar áreas, regulares o irregulares, con características propias similares y diferenciarlas de otras que presentan condiciones distintas. El proceso, parte del parcelamiento individual de las áreas buscando un grado de uniformidad interna relativa entre ellas para después establecer zonas en función de la integración de variables que permiten evaluar sus aptitudes de agrupamiento (Martínez, 2017).

La zonificación de disponibilidad hídrica muestra las zonas que presentan la mayor/menor cantidad de agua aprovechable como recurso en la cuenca. En el balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957), las zonas con menor cantidad de agua aprovechable son las áreas que no logran un almacenamiento de humedad en el suelo que satisfaga las necesidades hídricas de las plantas (demanda hídrica natural). Por el contrario, las zonas con la mayor cantidad de agua aprovechable son aquellas que presentan condiciones de humedad del suelo disponibles viables para permitir la existencia de una oferta de agua aprovechable, la cual indica que la oferta de humedad en el suelo es mayor que la demandada por el sistema hídrico natural (Hernando, 2017).

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación del área de estudio

Las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se ubican en el sector oeste del Valle Central Occidental, entre los cantones de Atenas y Palmares de la provincia de Alajuela, según las coordenadas métricas mostradas en la Tabla 1. La subcuenca de la quebrada Güitite tiene un área aproximada de 1,73 km² y se encuentra dentro de los distritos de San Isidro y San José de Atenas, así como de Candelaria de Palmares. La subcuenca de la quebrada Morazán tiene un área aproximada de 1,21 km² y se localiza únicamente en el distrito de San Isidro de Atenas. La subcuenca de la quebrada Las Hayas tiene un área aproximada de 1,66 km² y se distribuye entre los distritos de San Isidro de Atenas y Santiago de Palmares (Mapa 1).

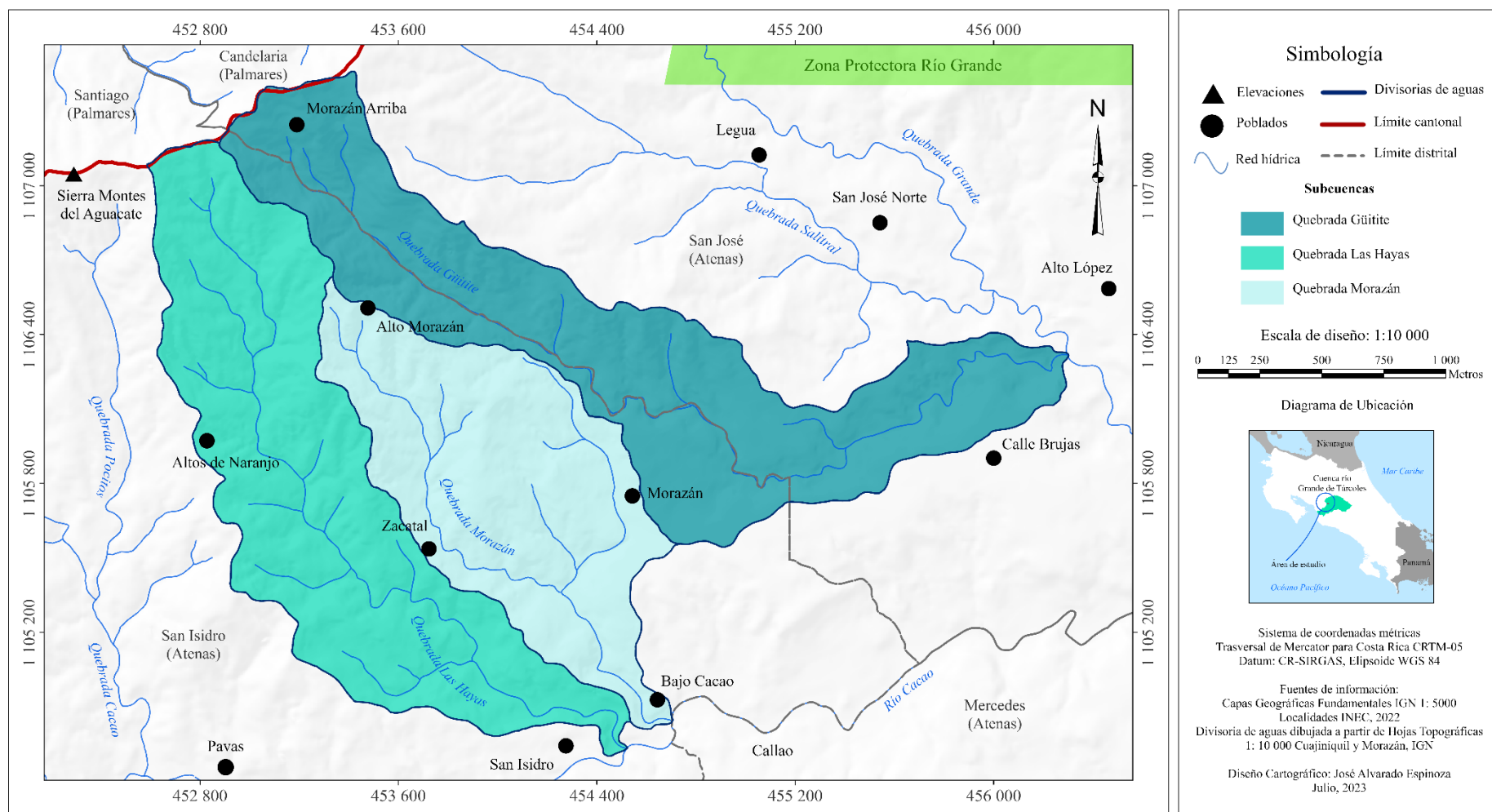
Desde el punto de vista hidrográfico, las tres subcuencas forman parte de la Vertiente del Pacífico y se encuentran dentro de la subcuenca del río Grande, perteneciente a la cuenca del río Grande de Tárcoles. Tanto la subcuenca de la quebrada Las Hayas como la subcuenca de la quebrada Morazán vierten sus aguas al río Cacao, localizado en el cantón de Atenas. La subcuenca del río Güitite, por su parte, vierte sus aguas a la quebrada Grande, también localizada en el cantón de Atenas.

Tabla 1: Ubicación de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas según el sistema de coordenadas métricas SIRGAS-CRTM05

Puntos de coordenadas	Subcuenca Quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
P1	1106320	456302	1104840	454704	1104730	454524
P2	1106530	454489	1105420	454548	1105790	453493
P3	1107460	453421	1105560	454735	1106230	453268
P4	1107170	452879	1106040	454504	1106630	453331
P5	1106630	453331	1106630	453331	1107170	452879
P6	1106040	454504	1106230	453268	1107080	452586
P7	1105560	454735	1105790	453493	1105380	452927

Fuente: Elaboración propia

Mapa 1: Ubicación de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaboración propia

4. METODOLOGÍA

4.1. Naturaleza de la investigación

El enfoque metodológico de la investigación corresponde al enfoque cuantitativo. Este enfoque está basado en el uso de la causalidad como principio fundamental para comprender la realidad detrás de las observaciones y mediciones realizadas. A partir de ellas, se establecen las relaciones y los cambios entre las variables de estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

El estudio posee un alcance del tipo correlacional y descriptivo. El alcance correlacional tiene como finalidad conocer la relación entre dos conceptos, categorías o variables definidas para analizar un contexto de estudio particular. Con el alcance descriptivo se especifican las propiedades y características que envuelven a un proceso, objeto o fenómeno de análisis (Hernández, Zapata y Mendoza, 2013). Esta cualidad permite establecer relaciones de condición con el comportamiento de las variables y los resultados que se obtienen de la interpretación del fenómeno de estudio.

4.2. Diseño de la investigación

La investigación se estructura en tres etapas definidas por: la caracterización de las condiciones físicas de las subcuencas, el establecimiento de las áreas con condición de déficit/exceso hídrico y la determinación de la distribución espacial y temporal de la disponibilidad hídrica.

En la primera etapa, la caracterización de las condiciones físicas de las subcuencas comprende una descripción detallada sobre las condiciones generales del área de estudio necesarias para evaluar el comportamiento de la disponibilidad hídrica. Las fuentes de información utilizadas son fuentes primarias (obtenidas mediante trabajo de campo y mediciones) y secundarias (obtenidas a partir de revisión bibliográfica o datos de servicios geoespaciales).

El tratamiento de las variables se realiza de forma descriptiva utilizando cálculos paramétricos y cartografía temática como técnica de representación espacial de los datos. Los parámetros correspondientes a las variables de morfometría y climatología son trabajados mediante el uso de métricas y cálculos manuales. Los datos sobre la retención de humedad en el suelo son obtenidos de trabajo en el campo mediante la extracción de muestras y trabajo de laboratorio. Para la delimitación de los usos se utilizan imágenes satelitales georreferenciadas y procesadas mediante SIG. La información geomorfológica es recopilada de información cartográfica existente y revisión bibliográfica.

La segunda etapa, designada para el establecimiento de áreas con condición de exceso/déficit hídrico, se enfoca en el cálculo y análisis del balance hídrico para las cuencas de estudio. Los resultados del balance hídrico son llevados al SIG para ser interpretados mediante cartografía temática y tabulaciones. Con base en esta información se define la distribución espacial del déficit y el exceso hídrico.

El método empleado para calcular el balance hídrico de las cuencas hidrográficas es el balance hídrico de Thornthwaite y Mather (1957), adaptado por Hernando (1988). Dentro de este método se considera que el agua que se almacena en la cuenca, por precipitación e infiltración, disminuye conforme ocurre la evapotranspiración potencial hasta agotar el agua que se encuentra almacenada en el suelo. La comparación mensual entre la precipitación y la evapotranspiración define la magnitud del déficit hídrico, el excedente (ganancia hídrica) y el almacenamiento de humedad en el suelo que determina la oferta y la demanda hídrica (Thornthwaite y Mather, 1957; Hernando y Orozco, 2015).

En la tercera etapa, se determina la distribución espacial y temporal de la disponibilidad hídrica con base en los resultados del balance hídrico y el cálculo del Índice de escasez (Ie) de IDEAM (2004), adaptado por Hernando, Ruíz y Solís (2012). El Índice (Ie), calcula la razón de consumo de la oferta hídrica. Según los valores del índice se determina si en la cuenca se presentan condiciones de alta, media, moderada o baja disponibilidad hídrica. Además, en esta etapa se recopila y levanta información sobre las concesiones de agua superficial y subterránea dentro de las subcuencas, así como de la percepción de las comunidades con el fin de comprender la forma en la que el recurso hídrico es aprovechado en el territorio.

4.3. Operacionalización de las variables

Para el Objetivo 1 se consideran variables relacionadas con las características físicas de las subcuencas, específicamente la morfometría (hidrografía y parámetros morfométricos del relieve y forma de las subcuencas), las condiciones edafológicas (retención de humedad, textura y usos del suelo), las características climáticas (precipitación media y zonas climáticas) y las condiciones geomorfológicas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Operacionalización de las variables del Objetivo 1

Objetivo 1:			
Caracterizar las condiciones morfométricas, edafológicas, climáticas y geomorfológicas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.			
Criterio o variable	Parámetros	Operacionalización	Método de obtención
<p style="text-align: center;">Hidrografía y parámetros morfométricos</p> <p>Corresponde al estudio cuantitativo de las características físicas de las subcuencas, las cuales definen la hidrografía y movimiento del agua (Lux, 2016).</p>	Número de orden (N ₀)	Permite conocer la composición del sistema de drenaje asociado al poder de escorrentía, el transporte de sedimentos (Camino et al. 2018) y la conformación de los cauces.	Delimitación de cauces sobre hojas topográficas 1: 10 000 georreferenciadas en un SIG
	Densidad de drenaje (D _d)	Muestra la composición de la red de drenaje según la longitud total de la red de drenaje por el área de la cuenca.	Medición y cálculo sobre hojas topográficas 1: 10 000 georreferenciadas en un SIG
	Densidad de cantidad de cauces (D ₀)	Indica la distribución de la escorrentía. Además, otorga una idea general del grado de cobertura de la red fluvial sobre los suelos (Villón, 2022).	
	Profundidad de disección (P _d)	Comprende la relación entre la profundidad de fondo de los valles y las cumbres de las montañas (Sibaja, 2013).	
	Pendiente media del cauce principal (PMC)	Deducción de la velocidad de escorrentía, fuerza de erosión y capacidad de transporte fluvial sobre el cauce principal (Sibaja, 2013).	
	Índice de sinuosidad (S)	Relación de curvatura del cauce principal y su longitud. Se asocia con la pendiente del cauce y otras características estructurales (Senciales, 1998).	
	Coeficiente de Compacidad (K _c)	Influencia del perímetro y el área de la cuenca sobre la escorrentía (Villón, 2022).	
	Anchura media de la cuenca (A _m)	Permite conocer la forma en la que se relaciona el área y la longitud de la cuenca (Lux, 2016).	
	Elevación media de la cuenca (E _{med})	Indica la altitud promedio sobre el nivel medio del mar en la que se sitúa una cuenca.	

	Tiempo de concentración (t_c)	Define el tiempo que tarda en desplazarse una gota de agua desde el punto hidrológicamente más lejano de la cuenca hasta su punto de salida (Dunne y Leopold, 1978).	
	Curva hipsométrica	Relación entre las alturas parciales de una cuenca con su respectiva superficie total. Arroja una valoración del ciclo erosivo y la etapa evolutiva de la cuenca (Lux, 2016).	
	Frecuencia de altitudes	Facilita la comprensión de las áreas elevadas de la cuenca en función del porcentaje que cubren las superficies en altitudes definidas (Villón, 2022).	
	Integral hipsométrica (IH)	Caracterización del área bajo la curva hipsométrica. El valor porcentual define el desarrollo geomorfológico del relieve de la cuenca (Keller y Pinter, 2002).	
	Clasificación de las pendientes	Parámetro que expresa el modelado superficial de los terrenos de la cuenca. Ayuda a clasificar la parte alta, media y baja de las cuencas.	Cálculo porcentual de altura y superficie a partir de un Modelo de Elevación Digital
Unidades geomorfológicas Se utiliza como criterio comprensivo de la génesis de los procesos de modelado superficial de la cuenca.	Geomorfología	Comprensión de la génesis del relieve de las subcuencas que inciden en la estructura física del suelo.	Cartografía temática a partir de mapas y documentos geomorfológicos
Clima Define los regímenes climáticos por zonas a según el Índice Hídrico de humedad (Hernando, 1988).	Precipitación media	Distribución espacial de la cantidad que precipita en el área de estudio.	Cálculo mediante el método de isoyetas a partir de datos meteorológicos del IMN
	Zonas climáticas	Permiten definir el tipo de régimen climático de un área según la distribución de la humedad en relación con la precipitación y la evapotranspiración potencial (Thonhwaite y Mather, 1957; Hernando, 1988).	Cálculo del Índice Hídrico para las para estaciones meteorológicas del IMN

Suelos Características de retención de humedad, textura y uso del suelo que determinan el agua aprovechable para las plantas y la cantidad que potencialmente puede generar la recarga de aguas subterráneas	Agua disponible en el suelo	Cantidad de agua que puede almacenar el suelo según 1) la humedad que el suelo es capaz de retener después de ser saturado y 2) el punto de marchitez permanente en el que las plantas no pueden absorber la humedad del suelo (Hernando, 2017).	Cálculo de la Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) del suelo. Se toman muestras de suelo para un perfil por unidad geomorfológica
	Textura del suelo	Composición física del suelo según el tamaño de partículas: arenas, arcillas y limos.	Cálculo porcentual de la textura por el método de densidades de Bouyoucos para cada horizonte del perfil del suelo
	Usos del suelo	Establece el uso social y productivo para el cuál se destina el suelo. Se define por las coberturas naturales (vegetación) o humanas (edificaciones).	Delimitación sobre imágenes satelitales tomadas de Google Earth Pro

Fuente: elaboración propia

En el Objetivo 2, las variables que se utilizan son el exceso y el déficit hídrico. Ambas variables son obtenidas mediante el balance hídrico y se utilizan para establecer el régimen hidrológico de las subcuencas (Cuadro 2).

Cuadro 2: Operacionalización de las variables del Objetivo 2

Objetivo 2: Establecer las áreas que presentan condiciones de déficit o exceso hídrico.			
Criterio o variable	Parámetros	Operacionalización	Método de obtención
Áreas con exceso/déficit hídrico Áreas que naturalmente poseen déficit o exceso hídrico mensual según la correlación entre la precipitación, la evapotranspiración potencial y el cambio de humedad en el suelo	Déficit Hídrico	Indica que el suelo posee un faltante de humedad debido a una demanda hídrica natural que supera la cantidad de agua disponible (Hernando, 1993).	Balance Hídrico de Thornthwaite y Mather (1957) según la adaptación metodológica de Hernando (1988).
	Exceso o Ganancia Hídrica	Indica un superávit en la humedad del suelo debido a que la cantidad de agua disponible supera la demanda requerida por el sistema natural (Hernando, 1993).	

Fuente: Elaboración propia

En último caso, para el Objetivo 3, las variables que se incluyen retoman los resultados del balance hídrico para definir la oferta y la demanda hídrica. Complementariamente, se incluye el aprovechamiento del recurso hídrico como una aproximación del uso del agua en las subcuencas. Para esta variable se considera la cantidad, uso y tenencia de las concesiones de agua superficial y subterránea y la percepción de las comunidades sobre el estado de los recursos hídricos (Cuadro3).

Cuadro 3: Operacionalización de las variables del Objetivo 3

Objetivo 3:			
Determinar la distribución espacial y temporal de la disponibilidad hídrica.			
Criterio o variable	Parámetros	Operacionalización	Método de obtención
Disponibilidad Hídrica Indica la cantidad de agua que es aprovechable una vez analizados los requerimientos del sistema natural de la cuenca (Hernando, 2017).	Demanda Hídrica	Define la cantidad de agua que requiere el sistema natural de la cuenca por área específica.	Balance Hídrico de Thornthwaite y Mather (1957) según la aplicación metodológica de Hernando (1988)
	Oferta Hídrica	Define la cantidad de agua que ofrece el sistema en su condición natural por área específica.	
	Estado de la disponibilidad hídrica	Muestra si la disponibilidad hídrica se encuentra en un alto o bajo grado según la razón de consumo de la oferta hídrica.	Cálculo del Índice de Escasez (Ie) de IDEAM (2004) según la adaptación de Hernando (2012)
Aprovechamiento del recurso hídrico Características del uso y la protección del recurso hídrico dentro de las cuencas de estudio	Concesiones de agua superficial y subterránea	Cantidad, tipo de fuente y uso de las concesiones de agua superficial y subterránea dentro de las subcuencas.	Levantamiento en campo, Estudios técnicos de ASADAS, Bases de datos de SENARA y Dirección de Aguas del MINAE
	Percepción de las comunidades	Significado, relación, uso y problemáticas entorno al agua en las comunidades de las subcuencas.	Taller participativo con las comunidades del área de estudio Entrevistas abiertas a personas de la comunidad (comunicaciones personales)

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Métodos, técnicas e instrumentos de la investigación

4.4.1. Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realiza mediante la digitalización de la divisoria de aguas de las subcuencas. Como base se utilizan las hojas topográficas 1:10 000 Cuajiniquil (3345-IV-2) y Morazán (3346-III-22).

4.4.2. Morfometría de las subcuencas

La variable de morfometría de las subcuencas se obtiene del cálculo de parámetros morfométricos, los cuales son razones o indicadores de las características de forma, relieve y composición de la red de drenaje de las subcuencas.

4.4.2.1. Número de orden (N_o)

El número de orden (N_o) se determina trazando de toda la red de drenaje de la cuenca sobre las hojas topográficas. Para ello, se identifican los cauces que no poseen tributarios asignándoles un número de orden 1. Posteriormente, se asigna un número de orden 2 a los cauces que tienen solo tributarios 1, orden 3 a los cauces con dos o más tributarios de orden 2 y así sucesivamente, hasta clasificar todos los cauces que conforman la red de drenaje de la cuenca (Villón, 2022).

4.4.2.2. Densidad de drenaje (Dd)

La Densidad de drenaje (Dd) es la razón entre la longitud total de la red de drenaje por la unidad de área de la cuenca. La ecuación (e. 1) muestra la forma de obtención de la Densidad de drenaje (Dd).

$$Dd = \frac{\text{Longitud total de las corrientes (km)}}{\text{Área total de la cuenca (km}^2\text{)}} \quad (\text{e.1}) \quad (\text{Villón, 2022})$$

4.4.2.3. Densidad de cantidad de cauces (D_o)

La Densidad de cantidad de cauces muestra el número de corrientes de n orden entre la cantidad del área de la cuenca. Se calcula mediante la ecuación (e.2).

$$D_o = \frac{\text{Número de corrientes de (n) orden}}{\text{Área total de la cuenca (km}^2\text{)}} \quad (\text{e.2}) \quad (\text{Hernando et al. 2007})$$

4.4.2.4. Profundidad de disección (Pd)

La Profundidad de disección (Pd) indica la diferencia entre la altura máxima y mínima de la cuenca dividida entre su valor de área. Se obtiene mediante la ecuación (e.3).

$$Pd = \frac{\text{Altura máxima (m)} - \text{Altura mínima (m)}}{\text{Área total de la cuenca (km}^2\text{)}} \quad (\text{e.3}) \quad (\text{Hernando et al. 2007})$$

4.4.2.5. Pendiente media del cauce principal (PMC)

La Pendiente media del cauce principal (PMC) indica la caída en altura del cauce principal de la cuenca según la diferencia entre la altura máxima y mínima del cauce. Se calcula con la ecuación (e.4).

$$PMC = \frac{H1 \text{ (altitud máxima en m)} - H2 \text{ (altitud mínima en m)}}{\text{Longitud del cauce principal (m)}} * 100 \quad (\text{e.4}) \quad (\text{Hernando et al. 2007})$$

4.4.2.6. Índice de sinuosidad (S)

El Índice de sinuosidad (S) es la razón entre la longitud total del cauce principal dividido por la distancia más corta entre el inicio y fin del cauce. Se obtiene con la ecuación (e.5).

$$S = \frac{\text{Longitud del cauce (km)}}{\text{Distancia más corta entre inicio y final del cauce (km)}} \quad (\text{e.5}) \quad (\text{Senciales, 1998})$$

4.4.2.7. Coeficiente de Compacidad (Kc)

El Coeficiente de Compacidad (Kc) relaciona la forma de la cuenca con un círculo a través de la comparación del perímetro de la cuenca en función de su área. La razón comprende la relación entre el perímetro y el área de la cuenca con la escorrentía. Se obtiene mediante la ecuación (e. 6).

$$Kc = \frac{0,28 \times \text{Perímetro de la cuenca (m)}}{\sqrt{\text{Área de la cuenca (m}^2\text{)}}} \quad (\text{e.6}) \quad (\text{Villón, 2022})$$

4.4.2.8. Anchura media de la cuenca (Am)

La Anchura media de la cuenca (Am) divide el área de la cuenca entre el eje axial de la cuenca (distancia entre el punto más alejado de la cuenca y el punto de salida del drenaje de la cuenca). Para calcular la anchura media de la cuenca se utiliza la ecuación (e.7).

$$Am = \frac{\text{Área de la cuenca (km}^2\text{)}}{\text{Eje axial (km)}} \quad (\text{e.7}) \quad (\text{Hernando et al. 2007})$$

4.4.2.9. Tiempo de concentración (t_c)

El tiempo de concentración de la cuenca (t_c), se obtiene de la relación entre la longitud de la cuenca a lo largo del cauce principal entre la diferencia de elevación del punto de salida de la cuenca a su punto más lejano. Se obtiene en unidad de horas (h) con la ecuación (e.8).

$$t_c = \frac{\text{Longitud del cauce principal (pies)}^{1,15}}{7700 * (\text{Diferencia elevación (pies)})^{0,38}} \quad (\text{e.8}) \quad (\text{Dunne y Leopold, 1978})$$

4.4.2.10. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

La frecuencia de altitudes muestra la relación porcentual entre la altitud y las superficies parciales de la cuenca. De acuerdo con Villón (2022), se obtiene del cálculo de la curva hipsométrica de la cuenca para la cual se definen intervalos de altura entre curvas de nivel y se determina el área parcial que cubre cada intervalo. Con las áreas parciales, se calculan las áreas acumuladas y el porcentaje de cada área parcial según la superficie total de la cuenca. La frecuencia de altitudes se determina con los porcentajes de las áreas parciales según los rangos de altitud definidos con las curvas de nivel.

4.4.2.11. Elevación media de la cuenca (E_{med})

La elevación media de la cuenca se obtiene de la clasificación de intervalos de altitud y el cálculo de áreas parciales. Para cada intervalo se calcula la elevación promedio y se determina el área parcial de la cuenca que cubre cada intervalo de altitud (Villón, 2022). Con la sumatoria de los productos entre la elevación media de cada intervalo y su respectiva área parcial se aplica la ecuación (e.9).

$$E_{med} = \frac{\sum a * e}{A} \quad (\text{e.9}) \quad (\text{Villón, 2022})$$

donde:

a = área parcial comprendida por el intervalo

e = elevación media entre las cotas del intervalo

A = área total de la cuenca

4.4.2.12. Integral hipsométrica (IH)

La integral hipsométrica es el área bajo la curva hipsométrica de la cuenca. De acuerdo con Pike y Wilson (1971) el valor de la integral hipsométrica puede ser conocido con la ecuación (e.10).

$$IH = \frac{E_{med} - Min}{Min - Max} \text{ (e.10) (Pike y Wilson, 1971)}$$

donde:

E_{med} = elevación media de la cuenca

Min = elevación mínima de la cuenca

Max = elevación máxima de la cuenca

4.4.2.13. Clasificación de las pendientes

Se realiza una clasificación de las pendientes de las subcuencas según el porcentaje. El porcentaje muestra el declive de los terrenos de la cuenca mediante la relación porcentual entre las distancias verticales y horizontales de dos puntos. Para este estudio, los porcentajes de las pendientes se clasifican y agrupan según las categorías del Decreto Ejecutivo N°23214 – MAG – MIRENEM.

4.4.3. Unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas se definen del Mapa Geomorfológico del Valle Central de Bergoing y Malavassi (1982a) utilizando como criterio de delimitación la génesis del relieve. De manera complementaria se describe la geomorfología de las subcuencas. La información es extraída y digitalizada de la Hoja Geomorfológica Naranjo 3346 III y la Hoja Geomorfológica Río Grande 3345 IV a escala 1:50 000.

4.4.4. Clima

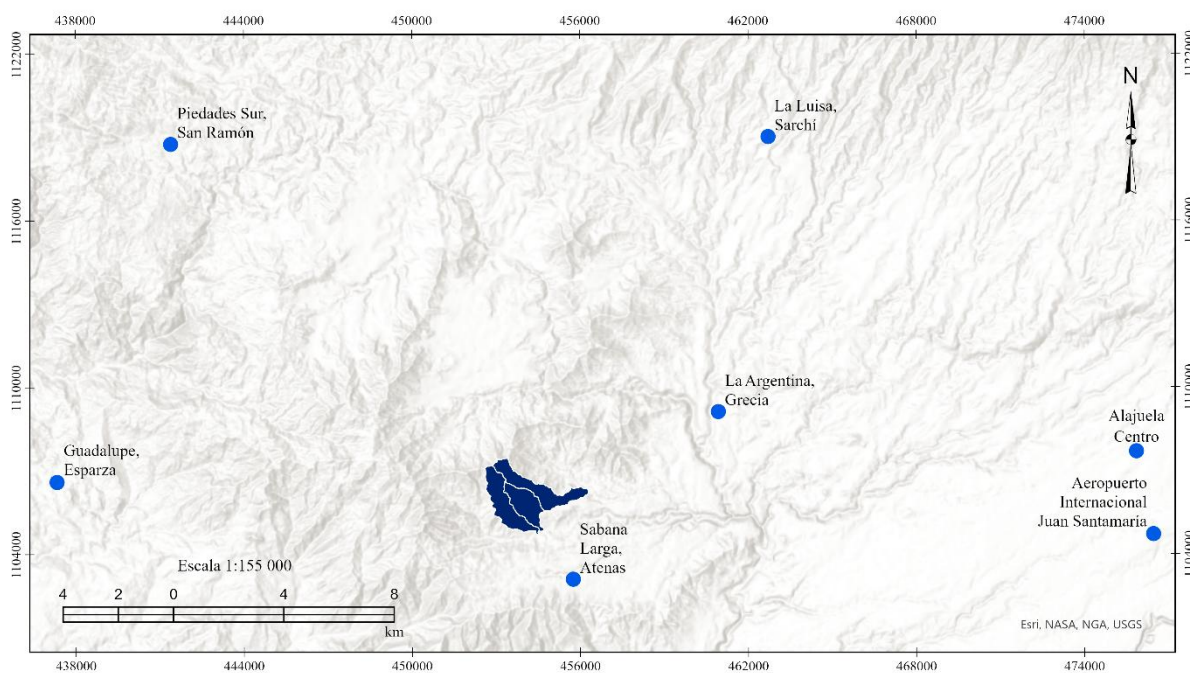
Para obtener la precipitación media y definir las zonas climáticas de las subcuencas se utilizan siete estaciones meteorológicas con registros de catorce años, desde el 2001 hasta el 2014 (Cuadro 4). Las estaciones meteorológicas más cercanas a las subcuencas con datos para el período seleccionado son las estaciones 84004 Sabana Larga de Atenas, 84003 La Argentina de Grecia y 84059 La Luisa de Sarchí (Figura 3).

Cuadro 4: Estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación

Código	Nombre	Altitud (msnm)	Pertenencia	Región climática
84169 / 84021	Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, Alajuela	913 / 932	IMN	Central
84010	Alajuela Centro	950	IMN	Central
84003	La Argentina, Grecia	760	IMN	Central
84004	Sabana Larga, Atenas	696	IMN	Central
84059	La Luisa, Sarchí	1250	IMN	Central
80009	Piedades Sur, San Ramón	1020	IMN	Norte
82001	Guadalupe, Esparza	400	IMN	Pacífico Norte

Fuente: elaborado con datos del IMN

Figura 3: Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación



Fuente: Elaborado con datos del IMN

Debido a la escasez de datos de temperatura para el período de estudio y la falta de datos sobre radiación al tope de la atmósfera, los datos fueron generados según la caracterización climática de Herrera (1985) para Costa Rica.

4.4.4.1. Precipitación media

La precipitación media de las cuencas se calcula mediante el método de isoyetas a partir de la interpolación de los datos de precipitación por el método de Kriging. El método de Kriging,

es un método de interpolación geoestadística que se utiliza para estimar valores en ubicaciones no medidas a partir de los valores observados en ubicaciones conocidas. Resulta especialmente útil para la interpolación espacial al trabajar con datos irregularmente espaciados y conocer su autocorrelación espacial (Workneh et al. 2024, p.6).

Las isoyetas son líneas que unen puntos con iguales valores de precipitación (Villón, 2022). Este método se considera como el más preciso para obtener la precipitación media de un área ya que considera los efectos topográficos de la distribución de lluvias según los registros de las estaciones meteorológicas (Aparicio, 1996).

Las isoyetas se trazan en función de la distribución espacial de las estaciones meteorológicas. Para ello, se interpolan los datos de precipitación entre las estaciones y se calculan las áreas $A_1, A_2 \dots A_n$ entre cada dos isoyetas. Si $P_0, P_1 \dots P_n$ corresponden con los datos de precipitación representados por las isoyetas, la precipitación media se determina mediante la ecuación (e.11).

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0 + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} A_n}{A_1 + \dots + A_n}$$
$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i \quad (e.11) \text{ (Villón, 2022)}$$

donde:

P_{med} = precipitación media

A_T = área total de la cuenca

P_i = valor de precipitación de las isoyetas i

A_i = área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i

n = número de áreas parciales

A las estaciones meteorológicas que presentan vacíos en los registros de precipitación se les calcula los datos faltantes mediante el método de la razón, según la ecuación (e.12). De las estaciones mencionadas en el Cuadro 4, solo las estaciones Aeropuerto Internacional Juan Santamaría de Alajuela, La Luisa de Sarchí y Alajuela Centro se encontraban completas para el período de estudio. Estas estaciones se utilizan como referencia para obtener los datos faltantes de las cuatro otras estaciones.

$$P_X = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right) \text{ (e. 12) (Aparicio, 1996)}$$

Donde:

N_x = promedio de la estación incompleta

N_{ABC} = promedio de estaciones completas

P_{ABC} = precipitación de la estación A, B y C del mes o año analizado

4.4.4.2. Zonas climáticas

Las zonas climáticas se delimitan según la correlación entre el Índice Hídrico (Im) y la altitud de las estaciones meteorológicas. Para obtener el Im se utilizan los datos de precipitación media y se calcula la evapotranspiración potencial mensual (ETP) por cada estación meteorológica. La ETP se obtiene de la ecuación de Hargreaves de 1981, definida en la fórmula (e. 13).

$$ETP = [(0.17 * RA * \sqrt{TD}) (0.0075) * (32 + 1,8 * ^\circ C)] n \text{ (e.13) (Hernando, 2017)}$$

donde:

ETP = Evapotranspiración potencial del mes (mm)

RA: Radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera (mm/día)

TD: Oscilación entre las temperaturas máximas y mínimas del mes

$^\circ C$: Temperatura del mes ($^\circ C$)

n: Número de días del mes

Con los datos de la precipitación media y la ETP se procede a obtener el Índice Hídrico (Im). El Im de Thornthwaite define el comportamiento climatológico de la cuenca (Hernando, 1988). Para el cálculo se aplica la ecuación (e. 14) por cada estación meteorológica.

$$Im = \left(\frac{P}{ETP} - 1 \right) * 100 \text{ (e. 14) (Herrera, 1985)}$$

donde:

P = precipitación media

ETP = evapotranspiración potencial

Posteriormente, se comprueba la correlación lineal entre el Im y la altitud de cada estación meteorológica. Con la ecuación de la recta de ambas variables, se determinan los Im correspondientes al rango altitudinal en el que se ubica el área de estudio. La variación del Im en el rango altitudinal define

los límites que identifican a cada una de las zonas climáticas. Para categorizar el tipo de clima de cada zona climática se utiliza la clasificación de Thornthwaite adaptada por Hernando (1998) (Cuadro 5).

Cuadro 5: Grupos climáticos según el Índice Hídrico de Thornthwaite

Denominación climática	Índice hídrico (%)	Simbología
Excesivamente húmedo (pluvial)	600 – 500	H3
Excesivamente húmedo (pluvial)	500 – 400	H2
Excesivamente húmedo (pluvial)	400 – 300	H1
Muy Húmedo	300 – 220	G6
Muy Húmedo	220 – 180	G5
Muy Húmedo	180 – 160	G4
Muy Húmedo	160 – 140	G3
Muy Húmedo	140 – 120	G2
Muy Húmedo	120 – 100	G1
Húmedo	100 – 80	F
Húmedo	80 – 60	E
Húmedo	60 – 40	D
Húmedo	40 – 20	C
Subhúmedo húmedo	20 – 0	B
Subhúmedo seco	-33.3 – 0	A

Fuente: Hernando (1988).

Las zonas climáticas de las subcuencas se delimitaron considerando únicamente los resultados obtenidos para las estaciones meteorológicas más cercanas: 1) Sabana Larga de Atenas, 2) La Argentina de Grecia y 3) La Luisa de Sarchí. Esta selección se realiza debido a que las tres estaciones mencionadas mostraron una la correlación lineal más coherente entre sí, para el área de estudio, entre los valores del Im y la altitud (Gráfico 3). La ecuación de la recta utilizada para calcular los valores Im en el rango altitudinal de las subcuencas se muestra en la fórmula (e. 15), asociada a un **coeficiente de correlación de 0,95**.

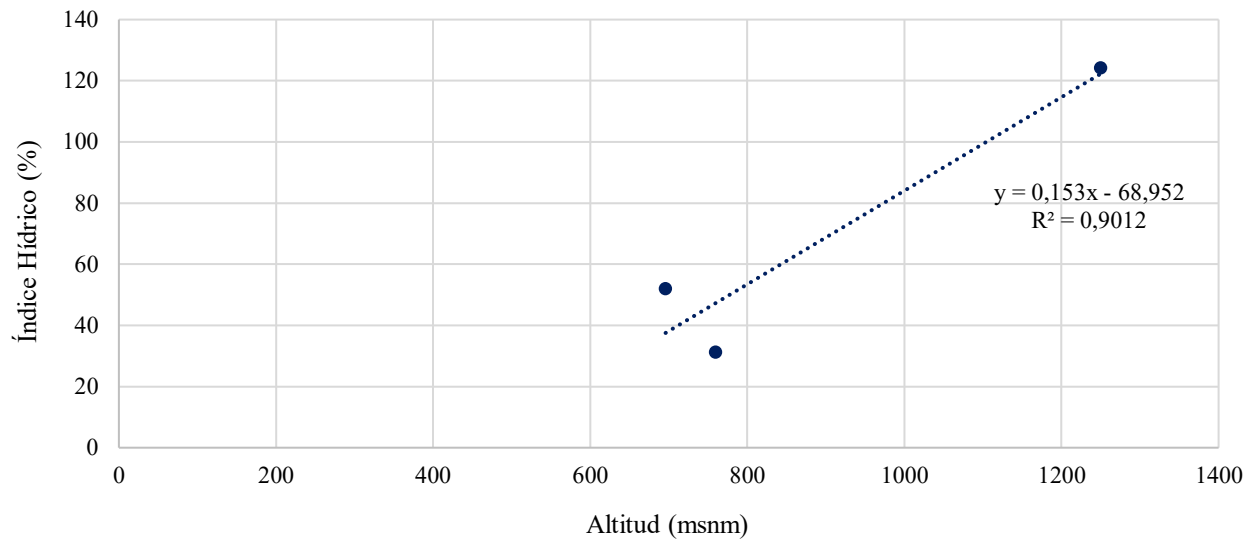
$$Im = 0,153 * A - 68,952 \text{ (e. 15)}$$

donde:

Im = Índice Hídrico

A = Altitud

Gráfico 3: Correlación entre el Índice Hídrico (Im) y la altitud de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.4.5. Suelos

El comportamiento del agua en el suelo se estima con la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP). A partir de ambas variables se calcula la cantidad de agua, que se encuentra disponible en el suelo para satisfacer las necesidades de las plantas. Además de la CC y el PMP se determinan otras características como la textura, la densidad aparente, el color y los usos del suelo.

4.4.5.1. Agua disponible en el suelo

Para calcular la CC y el PMP, según la adaptación metodológica de Hernando (1988), se deben extraer mínimo 4 muestras de suelo por horizonte en un perfil para el cual cada horizonte sea reconocible por su color o textura.

Cada muestra se extrae en un cilindro de 4,4 cm de altura y 90 cm³ de volumen. Las muestras son niveladas en el laboratorio, procurando no alterar la física del suelo, de tal forma que el suelo cubra únicamente el volumen del cilindro. En la parte inferior del cilindro se coloca un filtro ajustado con una liga para evitar la pérdida del suelo. Posteriormente, las muestras son llevadas a una bandeja y saturadas con agua (Aguilar, 2016). La saturación se realiza en tres partes, a saber: una primera cubriendo hasta aproximadamente 1 cm del cilindro y con un reposo de 15 minutos, la segunda cubriendo a nivel del

cilindro y con un reposo de 15 minutos y la tercera cubriendo varios centímetros sobre el nivel del cilindro y dejando en reposo hasta que las muestras completen su saturación.

Una vez las muestras se encuentren saturadas, son pesadas y llevadas a las Ollas de Richards para ser sometidas a presión. De las cuatro muestras de cada horizonte dos son llevadas a una olla de 15 bares para obtener el PMP y dos son llevadas a una olla de 0,33 bares para obtener la CC. Las muestras permanecen dentro de las Ollas de Richards hasta que terminen de drenar el agua. Terminado el proceso, se pesan para conocer el peso del suelo húmedo y se trasladan a un horno para ser secadas a una temperatura de 105 °C por 24 horas. Al finalizar este período, las muestras son pesadas nuevamente para obtener el peso del suelo seco.

El cálculo de la CC y el PMP sigue parte de la metodología de curvas de retención de Vahrson y Romero (1984). Para ello, se realizan mediciones por diferencia de masa entre el peso del suelo saturado y el peso del suelo seco según las ecuaciones (e.15) y (e.16).

Capacidad de campo (CC):

$$pv = \frac{ph-ps-af}{vc} * 100 \text{ (e. 15) (Vahrson y Romero, 1984)}$$

Punto de marchitez permanente (PMP):

$$pg = \frac{ph-ps}{ps-pc} * 100$$

$$DA = \frac{ps-pc-pl}{vc}$$

$$pv = pg * DA \quad \text{(e. 16) (Vahrson y Romero, 1984)}$$

donde:

pv = porcentaje volumétrico

vc = volumen del cilindro

ph = peso húmedo, luego de presión

pg = porcentaje gravimétrico

ps = peso seco, luego del horno

pc = peso del cilindro vacío

af = cantidad de agua en el filtro

pl = peso del filtro seco

DA = densidad aparente

Con los resultados se calcula la CC y la PMP promedio por horizonte en cada perfil del suelo. La diferencia porcentual entre la CC y PMP corresponde al porcentaje de agua disponible en el suelo para cada horizonte dentro del perfil.

En este estudio, se realizan dos perfiles del suelo, uno por cada unidad geomorfológica. Para el primer perfil (P1), se extrajeron un total de 15 muestras y se descartaron 3 por alteración en la física del suelo (Anexo 2). Para el segundo perfil (P2) se extrajo un total de 18 muestras y se descartaron 4 por alteración en la física del suelo (Anexo 3).

La textura del suelo es estimada mediante el método hidrométrico de diferencia de densidades de Bouyoucos. Este método se encuentra definido por Cervantes y Mojica (2003) en el “Manual del laboratorio de edafología”. En total se trabajaron 6 muestras, una por cada horizonte tanto del perfil del suelo P1 como del perfil del suelo P2 (Anexo 4).

4.4.5.2. Usos del suelo

La delimitación de los usos del suelo se realiza por medio de la fotointerpretación de un mosaico elaborado con ciento trece imágenes satelitales tomadas de Google Earth Pro de Maxar Technologies con fecha del 09 de enero de 2022. Los usos del suelo se clasifican en: bosque, café, pastos, cítricos y urbano. Se definen estas categorías por ser los usos del suelo predominantes en extensión dentro de las subcuencas y por su representatividad espacial para el cálculo del balance hídrico.

4.4.6. Cálculo del déficit hídrico y de la ganancia hídrica

Según la adaptación metodológica de Hernando (1988), el cálculo del balance hídrico toma como base la precipitación media mensual (P) para un período mínimo de 10 años. A esta información se le aplica una corrección mediante la resta de la escorrentía asociada a la precipitación obteniéndose los datos de precipitación media corregida (Pc). En esta investigación no se realiza esta corrección debido a que no se cuenta con datos sobre la escorrentía superficial mensual.

Con la información de la precipitación media mensual se determina la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial media (ETP) teniendo como resultado (P-ETP). La ETP fue anteriormente definida con la ecuación (e.13). Si la diferencia (P-ETP) es positiva la precipitación supera a la evapotranspiración potencial, sin embargo, si los valores son negativos, el resultado indica que la precipitación no satisface las necesidades meteorológicas (Hernando, 1993). Una vez calculada la diferencia P-ETP se determina la pérdida potencial acumulada de agua por mes (PPA) sumando los valores negativos de P-ETP.

Seguidamente, se procede a analizar el comportamiento de la humedad en el suelo. Para ello, se calculan los valores de humedad del suelo disponible (HSD) por mes utilizando como referencia la CC, el PMP y la profundidad de las raíces (Pro) de las coberturas asociadas al uso del suelo. Si los resultados

mientras que la ganancia se obtiene de la suma de la HSD del mes anterior a la P-ETP del mes que interesa y restando la HSD del mismo mes.

4.4.7. Clasificación de los resultados del déficit y el exceso hídrico (ganancia)

Para analizar la distribución espacial del déficit hídrico y la ganancia hídrica anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se clasifican los resultados de los balances hídricos en intervalos del déficit o la ganancia hídrica.

En las tres subcuencas el déficit hídrico se encuentra en un rango que va desde los 0 mm hasta más de los 500 mm al año. El primer intervalo comprende de los 0 mm/año a los 400 mm/año, el segundo de los 400 mm/año a los 450 mm/año, el tercero de los 450 mm/año a los 500 mm/año y el cuarto valores del déficit superiores a los 500 mm/año.

Respecto a la ganancia hídrica, en las tres subcuencas se presenta una ganancia hídrica comprendida en un rango que va desde los 0 mm a más de los 1600 mm al año. El primer intervalo comprende de los 0 mm/año a los 1200 mm/año, el segundo de los 1200 mm/año a 1400 mm/año, el tercero de los 1400 mm/año a los 1600 mm/año y el cuarto comprende valores de la ganancia hídrica superiores a los 1600 mm/año.

4.4.8. Zonificación de la disponibilidad hídrica

La zonificación de la disponibilidad hídrica anual utiliza los datos de Δ HSD y HSD. El Δ HSD se establece como la demanda natural de agua en la cuenca y el HSD como la oferta aprovechable (Sibaja, 2013; Hernando y Orozco 2015; Aguilar, 2016 y Hernando, 2017).

Para analizar la distribución espacial de la oferta y la demanda hídrica anual se realiza una reclasificación de los datos en las categorías de baja, media y alta oferta y demanda hídrica. En las tres subcuencas la categoría de baja oferta hídrica se sitúa en un rango que va desde los 0 mm a los 500 mm anuales. La categoría de media oferta hídrica corresponde áreas que presentan una oferta entre los 500 mm y los 1500 mm y la alta oferta hídrica comprende las áreas que presentan una oferta superior a los 1500 mm al año. En el caso de la demanda hídrica, la categoría de baja hídrica comprende las áreas que poseen una demanda entre los 0 mm y los 100 mm anuales. La categoría de media demanda hídrica se encuentra en el rango de los 100 mm a los 250 mm anuales y la alta demanda hídrica incluye las áreas que requieren de más de 250 mm al año.

La disponibilidad del recurso hídrico se estima con base en el Índice de Escasez (Ie) definido por IDEAM (2004) y adaptado por Hernando, Ruíz y Solís (2012), conforme a la ecuación (e. 19).

$$Ie = \frac{\Delta HSD \text{ (demanda)}}{HSD \text{ (oferta)}} * 100 \text{ (e.19)}$$

(IDEAM, 2004; adaptado por Hernando, Ruíz y Solís, 2012)

La interpretación de los valores del Ie se muestran en el Cuadro 7 para los cuales una alta escasez significa una baja disponibilidad hídrica y una baja escasez una alta disponibilidad hídrica.

El análisis de la distribución espacial de la disponibilidad hídrica anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se realiza mediante la reclasificación de la categoría de moderada disponibilidad en 1) moderada baja, 2) moderada media y 3) moderada alta, tomando como referencia los resultados del índice Ie. La categoría de moderada alta disponibilidad hídrica comprende las áreas que presentan Ie entre 0 y 25, la categoría de moderada media disponibilidad hídrica comprenden áreas con Ie entre 25 y 27 y la categoría de moderada baja disponibilidad hídrica comprende áreas con Ie superiores a 27.

Cuadro 7: Disponibilidad hídrica según Índices de Escasez

Categoría del Ie	Porcentaje de la oferta hídrica utilizada	Explicación	Disponibilidad Hídrica
Alto	> de 40%	Fuerte presión	Baja
Medio	20% - 40%	Ordenamiento oferta/demanda	Moderada
Moderado	10% - 20%	Factor limitador del desarrollo	Media
Bajo	< de 10%	No se experimenta presiones importantes sobre el recurso hídrico	Alta

Fuente: IDEAM (2004) y Hernando, Ruíz y Solís (2012).

4.4.9. Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas de disponibilidad hídrica

Se establece como áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica las áreas clasificadas dentro de la categoría de moderada alta disponibilidad hídrica. Por su parte, las áreas críticas de disponibilidad

hídrica se definen de las áreas catalogadas con moderada media disponibilidad hídrica y moderada baja disponibilidad hídrica.

4.4.10. Aprovechamiento del recurso hídrico

Sobre el aprovechamiento del recurso hídrico se consideran tres aspectos: 1) el estado y uso de las concesiones de agua superficial y subterránea, 2) el área de protección y retiro de fuentes de aprovechamiento y 3) la percepción de las comunidades respecto al uso del recurso hídrico. Mediante estos tres aspectos se pretende realizar un acercamiento a la forma en la que el agua es utilizada en las comunidades y las áreas que se encuentran normadas para la protección del recurso hídrico.

4.4.10.1. Concesiones de agua superficial y subterránea

La descripción de la cantidad y uso de las concesiones de agua superficial y subterránea se lleva a cabo mediante una recopilación de información de las bases de datos de SENARA y la Dirección de Aguas del MINAE. Además, se realizan levantamientos en campo y se consultan estudios técnicos de ASADAS con el fin de verificar y actualizar la información.

4.4.10.2. Taller con las comunidades de las subcuencas

Con el objetivo de conocer la percepción de las personas sobre el aprovechamiento del recurso hídrico en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, se realiza un taller dirigido a las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas.

En una reunión organizada el 22 de marzo de 2025, se lleva a cabo un acercamiento con 3 miembros de la ASADA de Altos de Naranjo de Atenas, 2 miembros de la ADI de Altos de San Isidro, 1 miembro de la ADI de San Isidro y 1 miembro de la Comisión Ambiental de Altos de Naranjo de San Isidro de Atenas (CAANSIA) con el fin de motivar la participación de las comunidades al taller (Anexos 5 y 6).

En este acercamiento se conversa sobre el aporte que la investigación puede generar para el aprovechamiento del recurso hídrico y la importancia de contar con la participación de las comunidades, de manera que el estudio se pueda enriquecer de la visión real que tienen las personas habitantes de las subcuencas respecto al uso del agua. De esta manera, los resultados obtenidos reflejan las realidades sociales que experimentan las comunidades, lo que permite comprender cómo es aprovechada el agua en las subcuencas y aproximarse a la importancia que tiene su disponibilidad como recurso para las personas.

Posterior de esta reunión, el día 02 de junio de 2025 se comparte con las comunidades la invitación al taller, a través de ASADAS, ADIs, Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Atenas y la cooperativa Coopeatenas. R.L (Cuadro 8).

Cuadro 8: Contactos a través de las que se compartió la invitación al taller con las comunidades

Categoría	Entidad	Contacto
ASADA	ASADA de Morazán, Atenas	Correo de la ASADA asadamorazan@gmail.com
	ASADA de Altos de Naranjo, Atenas	Sr. Andrés Chaves Ramírez (presidente)
Asociación de Desarrollo Integral	ADI de Morazán, Atenas	Correo de la ADI adcmorazan@gmail.com
	ADI de San Isidro, Atenas	Correo de la ADI asocisanisidro@gmail.com
	ADI de Altos de San Isidro, Atenas	Sr. Roberth Naranjo Rodríguez (presidente)
Municipalidad	Unidad Gestión Ambiental, Municipalidad de Atenas	Ing. Jeudy Ortiz Murillo
Cooperativa	Certificaciones, Coopeatenas R.L.	Ing. Amanda Campos Zumbado

Fuente: elaboración propia

El taller se lleva a cabo el sábado 14 de junio de 2025 con una duración de dos horas y media. La actividad tiene lugar en la Escuela de San Isidro de Atenas, desde las 12:30 p.m. hasta las 3:00 p.m. El grupo de personas que participaron en el taller se encuentra conformado por 6 personas adultas, 2 mujeres y 4 hombres.

En el grupo de trabajo participan 3 personas de la ASADA de Altos de Naranjo, 1 miembro de la ADI de Altos de San Isidro y 2 miembros de la ADI de San Isidro. De la ASADA de Altos de Naranjo, participaron el Sr. Luis Fernando Chávez dedicado a la contaduría, la Sra. Virgita Rodríguez dedicada al turismo rural y el Sr. Andrés Chaves dedicado a la docencia universitaria y producción de café. De la ADI de Altos de San Isidro, participó el Sr. Álvaro Hidalgo, pensionado y administrador de una librería. De la ADI de San Isidro participaron la Sra. Bertha Gómez, dedicada al servicio al cliente, y el Sr. Geiner Solano, notificador municipal y criador de ganado (Figura 4 y Anexo 7).

Figura 4: Participantes del taller con las comunidades de las cuencas



Fuente: Alvarado Espinoza, J.I. Fotografía tomada el 14 de junio de 2025.

En total se realizan 4 actividades: dos individuales y dos grupales. Las primeras dos actividades son adaptadas de la “Lluvia de ideas” de Geilfus (2002). Esta técnica consiste en que los participantes puedan escribir sobre algún material (tarjetas, papeles o pliegos) ideas relacionadas a una pregunta abierta realizada por la persona facilitadora del taller. La recolección y el análisis de los resultados se realiza sobre las respuestas escritas por las personas participantes. En el caso de la actividad 1 y la actividad 2, se facilita a los participantes papeles y marcadores de colores para anotar las respuestas.

La actividad 1 se enfoca en conocer el significado que las personas de las comunidades tienen sobre el agua a través de palabras. De acuerdo con Piñeyro (2006), cada comunidad tiene una relación particular con el agua que nace del significado que tiene el agua para las personas, el cual incide directamente en la utilización del agua, por lo que es relevante de conocer para entender la visión de actores involucrados en la gestión del recurso Piñeyro (2006). Para la actividad, se les solicita a los participantes expresar sus ideas mediante palabras con el fin representar la información a través de una nube de palabras. Las nubes de palabras son una técnica que ayuda a determinar las palabras más relevantes de un tema de interés, según el número de veces con que se repiten (Reyes, 2006).

La dinámica 2 enfatiza en que los participantes puedan escribir las actividades para las cuales utilizan el agua. Posterior al taller, el facilitador realiza una agrupación de las actividades escritas por

los participantes para definir los usos del agua en las cuencas. Esta información es útil para comprender, desde la visión de las comunidades, en qué se aprovecha el agua como recurso.

Las actividades 3 y 4 son una combinación de la “lluvia de ideas” de Geilfus (2020) y los mapas parlantes de la FAO (2025). “Los mapas parlantes son una metodología participativa que permite recoger la percepción cultural, ambiental y social de los y las habitantes sobre su territorio, mediante representaciones gráficas, la orientación geográfica de la zona y el lenguaje propio conocido” (FAO, 2015, p. 3).

Para la actividad 3 se les solicita a los participantes del taller representar a su comunidad mediante un dibujo en el cual ilustren elementos distintivos sean naturales, sociales o culturales. Con este mapa se introduce una pregunta abierta enfocada en conocer qué elementos relacionan los participantes con el abastecimiento de agua en sus comunidades solicitando a las personas ubicar los elementos en el mapa parlante. Durante la actividad, el facilitador del taller realiza un conteo de la cantidad de personas que respondieron con cada elemento representado.

En la actividad 4, se utiliza la misma representación gráfica de la comunidad dibujada por los participantes para la actividad 3 con el objetivo de introducir la pregunta abierta de la actividad 4, la cual está definida en el Cuadro 9. La recolección de las respuestas de los participantes se realiza mediante papeles adhesivos tipo “post it”, los cuales tienen la finalidad de que las personas puedan pegar el papel con la respuesta sobre el mapa parlante y comentar sobre la problemática ambiental identificada en la comunidad. Al igual que en la actividad 3, durante la actividad 4 el facilitador del taller realiza un conteo de la cantidad de personas que mencionan cada problemática y toma nota de las explicaciones de las personas para describir las problemáticas mencionadas por los participantes.

Cuadro 9: Actividades del taller con las comunidades

Actividad	Pregunta	Objetivo	Técnica y descripción	Tratamiento de la información
1	¿Qué significa el agua para mí?	Conocer el significado que tiene el agua para las personas participantes del taller	<p>Adaptación de la actividad lluvia de ideas de Geilfus (2002). Trabajo: Individual Duración: 15 minutos</p> <p>El facilitador del taller realiza la pregunta generadora para iniciar la actividad. Se les solicita a las personas participantes anotar en papeles de colores qué significa el agua para ellos utilizando palabras o frases. Una vez que cada persona haya finalizado de escribir se realiza un compartir de ideas entre las personas participantes.</p>	<p>Con los papeles de colores dados a los participantes se realiza una lista de palabras y cuenta la cantidad de personas que mencionan cada una. Según la cantidad de repeticiones de cada palabra se diseña una nube de palabras. “Las palabras más frecuentes se muestran más grandes y las menos frecuentes se muestran más pequeñas” (Escobedo, Moreno y Mancera, 2024, p. 7). Para este estudio se considera que la o las palabras más repetidas, son compartidas por una mayor cantidad de personas y por tanto, más representativas para expresar el significado que el grupo le otorga al agua.</p>
2	¿En qué actividades utilizo el agua?	Identificar los usos que las comunidades le dan al agua a través de sus actividades	<p>Adaptación de la actividad lluvia de ideas de Geilfus (2002). Trabajo: Individual Duración: 20 minutos</p> <p>El facilitador del taller realiza la pregunta generadora para iniciar la actividad. Se les solicita a las personas participantes anotar en papeles de colores las actividades en las que utilizan el agua. Una vez que cada persona haya finalizado de escribir se realiza un compartir de ideas entre las personas participantes.</p>	<p>Posterior al taller, el facilitador recopila las actividades anotadas por los participantes en los papeles de colores y realiza una agrupación temática de las respuestas para identificar los usos del agua.</p>

3	¿De dónde proviene el agua que llega a mi comunidad?	Identificar qué elementos relacionan las personas como fuentes de procedencia del agua en su comunidad	<p>Adaptación de la “lluvia de ideas” de Geilfus (2020) y los mapas parlantes de la FAO (2025). Trabajo: Grupal Duración: 45 minutos</p> <p>Se les solicita a las personas participantes ilustrar mediante un dibujo su comunidad y sus elementos representativos. Una vez realizado el mapa parlante se les pregunta a los participantes si conocen de dónde proviene el agua que llega a esa comunidad y si lo pueden representar en el mapa realizado. Al finalizar la representación se motiva a los participantes a exponer lo ilustrado.</p>	<p>En el momento en que se realiza la pregunta generadora de la actividad el facilitador realiza un conteo de las personas que mencionan cada fuente de procedencia del agua en la comunidad.</p> <p>Posterior del taller, se identifican los elementos representados por los participantes en el mapa parlante con el fin de conocer cómo los participantes relacionan la procedencia del agua con la representación visual de la comunidad.</p>
4	¿Hay problemas relacionados al agua en mi comunidad?	Conocer cuáles problemáticas relacionadas al agua se presentan en las comunidades	<p>Adaptación de la “lluvia de ideas” de Geilfus (2020) y los mapas parlantes de la FAO (2025). Trabajo: Grupal Duración: 15 minutos</p> <p>El facilitador del taller realiza la pregunta generadora para iniciar la actividad. Se les solicita a las personas participantes escribir en papeles adhesivos tipo “post it” las problemáticas que consideren pueden relacionarse al agua en la comunidad. Además, se les motiva a colocar los papeles adhesivos en el mapa parlante realizado en la actividad 3 con el objetivo de que las personas puedan discutir el contexto geográfico en el que se ubica la problemática. Al finalizar se realiza un compartir de ideas entre los participantes.</p>	<p>Durante el desarrollo de la actividad, el facilitador realiza un conteo de las personas que mencionan las problemáticas que los participantes escriben en los papeles adhesivos. Además, del conteo el facilitador realiza una toma de apuntes sobre las explicaciones que dan los participantes sobre cada problemática durante el compartir de ideas.</p> <p>Posterior del taller, se enumeran las problemáticas escritas por los participantes en los papeles de colores adhesivos. Cada problemática se describe con los apuntes realizados durante la actividad.</p>

Fuente: elaboración propia.

5. RESULTADOS

5.1. Hidrografía y parámetros morfométricos

La red de drenaje de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se constituye de pequeños cursos de agua, que descienden por una de las sierras que conforma la serranía de los Montes del Aguacate hasta la confluencia con la quebrada Grande (subcuenca de la quebrada Güitite) y la confluencia con el río Cacao (subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas). El cauce principal de la subcuenca de la quebrada Güitite tiene una longitud de 4,78 km, el cauce principal de la subcuenca de la quebrada Morazán presenta una longitud de 2,67 km y el cauce principal de la subcuenca de la quebrada Las Hayas tiene una longitud de 3,86 km.

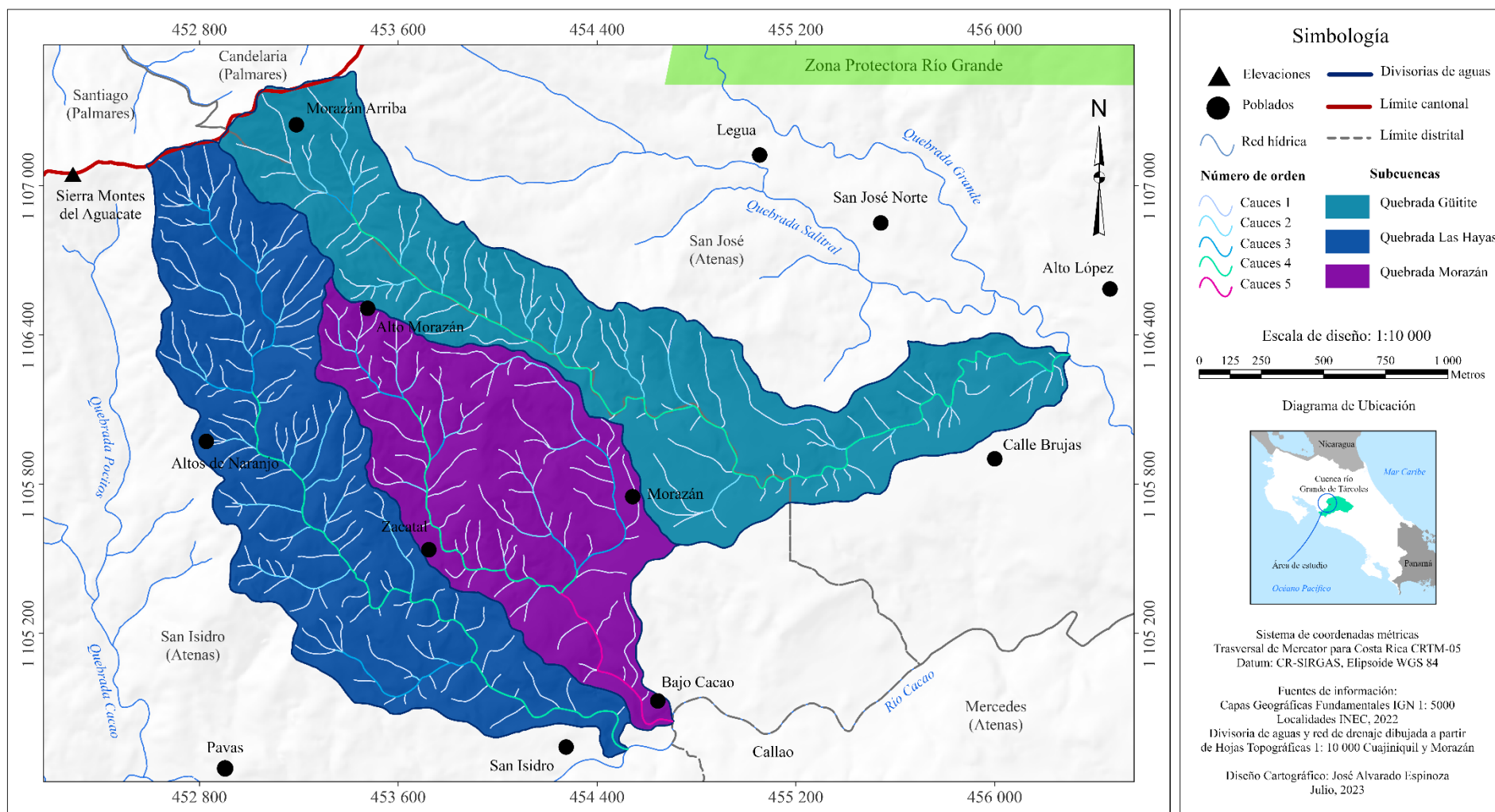
Tabla 2: Parámetros morfométricos de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

Parámetro	Símbolo	Subcuenca		
		Quebrada Güitite	Quebrada Morazán	Quebrada Las Hayas
Número de orden	N_o	4	5	4
Densidad de drenaje (km/km ²)	Dd	11,56	12,78	14,24
Densidad de cantidad de cauces 1 (cauces ₁ /km ²)	Dcc ₁	57,24	66,70	79,74
Densidad de cantidad de cauces 2 (cauces ₂ /km ²)	Dcc ₂	9,83	10,70	15,71
Densidad de cantidad de cauces 3 (cauces ₃ /km ²)	Dcc ₃	1,16	4,12	1,81
Densidad de cantidad de cauces 4 (cauces ₄ /km ²)	Dcc ₄	0,58	1,65	0,60
Densidad de cantidad de cauces 5 (cauces ₅ /km ²)	Dcc ₅	-	0,82	-
Profundidad de disección (m/km ²)	Pd	357,28	369,58	358,55
Pendiente media del cauce principal (%)	PMC	13%	15%	15%
Índice de sinuosidad del cauce principal	S	1,40	1,22	1,27
Coefficiente de compacidad	K _c	1,98	1,44	1,71
Anchura media de la cuenca (km)	Am	0,49	0,54	0,54
Altitud media de la cuenca (msnm)	E _{med}	980	937	1003
Tiempo de concentración (h)	t _c	0,49	0,28	0,38

Fuente: elaboración propia.

Las tres cuencas se clasifican como subcuencas, según el número de orden de Horton-Strahler (N_o) (Tabla 2). La subcuenca de la quebrada Güitite y la subcuenca de la quebrada Las Hayas poseen un N_o de orden 4. Por su parte, la subcuenca de la quebrada Morazán posee un N_o de orden 5. Las tres subcuencas presentan un modelo de drenaje dendrítico caracterizado por presentar pequeños cursos de agua con variedad de direcciones y en una disposición similar a las ramas de un árbol (Strahler y Strahler, 2000) (Mapa 2).

Mapa 2: Número de orden y red de drenaje de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaboración propia.

La subcuenca de la Quebrada Güitite tiene un coeficiente de compacidad (K_c) de 1,98 y una anchura media (A_m) de 0,49 km. Un valor mayor a 1 en el K_c significa que la subcuenca presenta una geometría alargada (Villón, 2022) y una menor peligrosidad ante las crecidas (Gaspari et al., 2012). Comparada con las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas, la subcuenca de la quebrada Güitite presenta una menor anchura media. Además, la subcuenca de la quebrada Güitite posee una profundidad de disección (P_d) de 357,28 m/km² y el tiempo de concentración de la cuenca (t_c) es de 0,49 horas (29,4 minutos). Ambos datos son mayores si se comparan con los obtenidos para las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas.

La red de drenaje de la subcuenca de la quebrada Güitite se caracteriza por presentar una densidad (D_d) de 11,56 km/km² y se compone de 99 cauces de orden 1, 17 cauces de orden 2, 2 cauces de orden 3 y 1 cauce de orden 4. El cauce principal tiene una pendiente media (PMC) del 13% y un valor del Índice de sinuosidad (S) de 1,40. Este cauce presenta menor pendiente y mayor sinuosidad comparado con el cauce principal de las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas. Un valor mayor a 1 en el Índice (S) indica que la forma del cauce principal tiende a presentar más curvaturas y por lo tanto mayor sinuosidad (Senciales, 1998). Las curvaturas se forman debido al desarrollo del valle en el fondo horizontal del curso de agua donde la pendiente se suaviza y el lecho rocoso se cubre por sedimentos que influyen en los cambios de dirección del flujo (Strahler y Strahler, 2000).

La subcuenca de la quebrada Las Hayas tiene un coeficiente de compacidad (K_c) de 1,71 y una anchura media (A_m) de 0,54 km. El valor en el coeficiente de compacidad indica que la subcuenca presenta una geometría alargada (Villón, 2022). Además, la subcuenca posee una profundidad de disección (P_d) de 358,55 m/km² y un tiempo de concentración (t_c) de 0,38 horas (22,8 minutos).

La red de drenaje de la subcuenca de la quebrada Las Hayas tiene una densidad (D_d) de 14,24 km/km² y se constituye de 132 cauces de orden 1, 26 de orden 2, 3 de orden 3 y 1 de orden 4. De las tres subcuencas de estudio, la subcuenca de la quebrada Las Hayas presenta la mayor densidad de cantidad de cauces de orden 1 (D_{cc1}), lo que indica que la subcuenca tiene una tendencia alta a la torrencialidad debido a que la formación de cauces de orden 1 responde a una génesis erosiva, con alta susceptibilidad a la erosión y menores tiempos de llegada al pico (Camino et al., 2018). El cauce principal posee una pendiente media (PMC) del 15% y un valor del Índice de sinuosidad (S) de 1,27.

La subcuenca de la quebrada Morazán tiene un coeficiente de compacidad (K_c) de 1,44 y una anchura media (A_m) de 0,54 km. El tiempo de concentración de la subcuenca (t_c) es de 0,28 horas

(16,8 minutos). Comparada con las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas, la subcuenca de la quebrada Morazán tiene un K_c más cercano a 1. Según Gaspari et al., (2012) un coeficiente de compacidad cercano a 1 indica que la cuenca posee una forma más redondeada y su peligrosidad ante las crecidas aumenta debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria, respecto al punto central, es menor, lo que disminuye el tiempo de concentración y aumenta la posibilidad de que las ondas de las crecidas sean continuas.

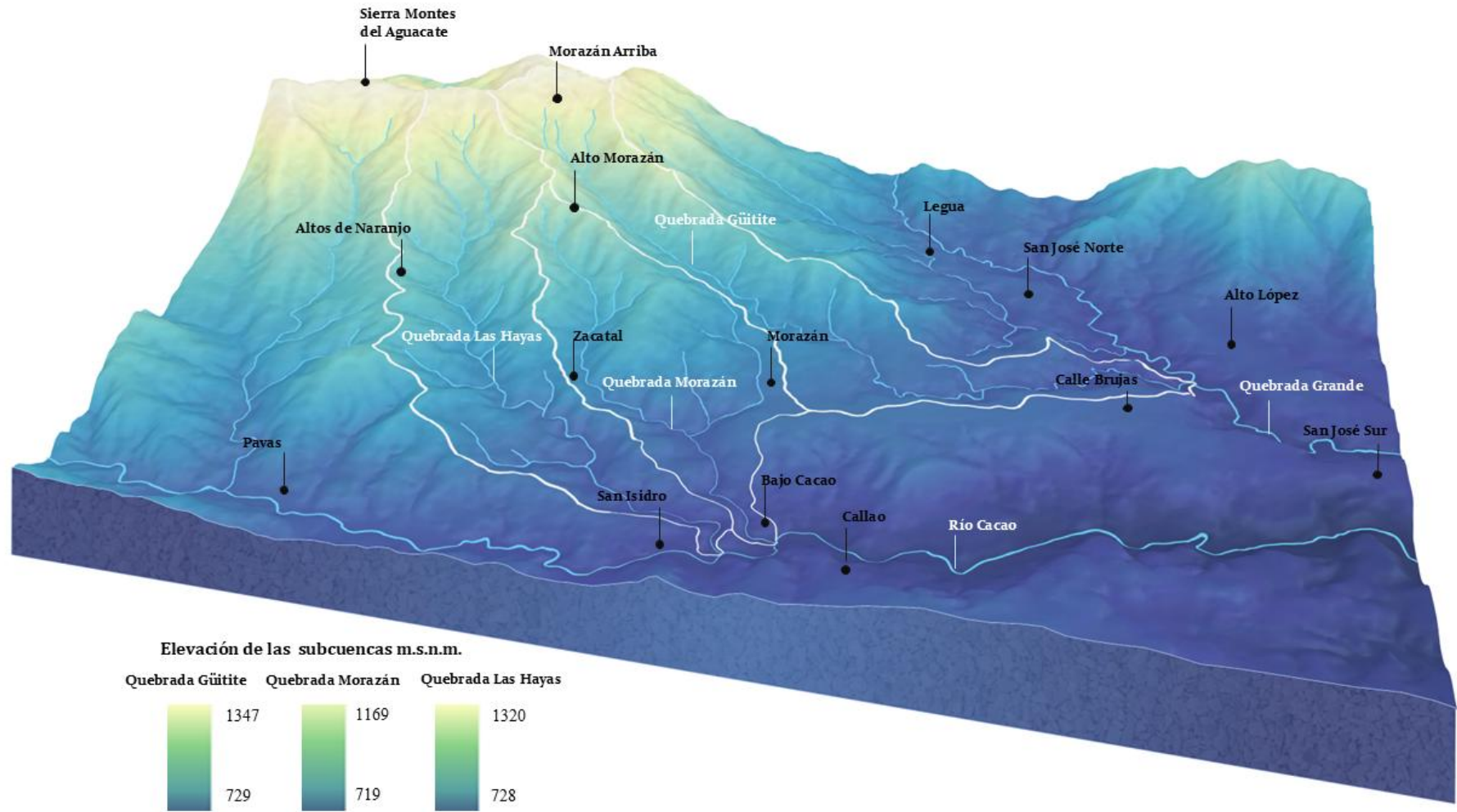
La profundidad de disección (Pd) de la subcuenca de la quebrada Morazán es de 369,58 m/km², mayor que la presentada en las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas. Para Quesada y Barrantes (2017), la profundidad de disección se relaciona con la capacidad erosiva de los cursos de agua en la vertical, la inclinación del terreno, la influencia de la precipitación y el tipo de sustrato rocoso. Una mayor profundidad de disección contribuye a que exista una mayor susceptibilidad a la formación de procesos de ladera o deslizamientos.

La red de drenaje de la subcuenca de la quebrada Morazán posee una densidad (Dd) de 12,78 km/km² y se conforma de 81 cauces de orden 1, 13 de orden 2, 5 de orden 3, 2 de orden 4 y 1 de orden 5. El cauce principal tiene una pendiente media (PMC) de 15% y un Índice de sinuosidad (S) de 1,22. Comparado con el cauce principal de las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas, el cauce principal de la subcuenca de la quebrada Morazán presenta menor sinuosidad debido a un valor del Índice (S) más cercano a 1. Según Senciales (1998), un menor valor del Índice de sinuosidad puede explicarse por una mayor pendiente del cauce relacionada con una mayor fuerza de erosión, la influencia de fallas que definen el trazado del cauce o la presencia de sustratos rocosos resistentes a la disección del cauce que lo obligan a seguir la dirección de pequeñas fracturas existentes.

En altitud, las subcuencas se localizan en un rango situado entre los 719 msnm y los 1347 msnm. La subcuenca de la quebrada Güitite se ubica entre los 729 msnm y 1347 msnm, con una altitud media (E_{med}) de 980 msnm. La subcuenca de la quebrada Morazán se encuentra entre los 719 msnm y los 1168 msnm, con una E_{med} de 937 msnm y la subcuenca de la quebrada las Hayas entre los 726 msnm y los 1320 msnm, con una E_{med} de 1003 msnm (Figura 5).

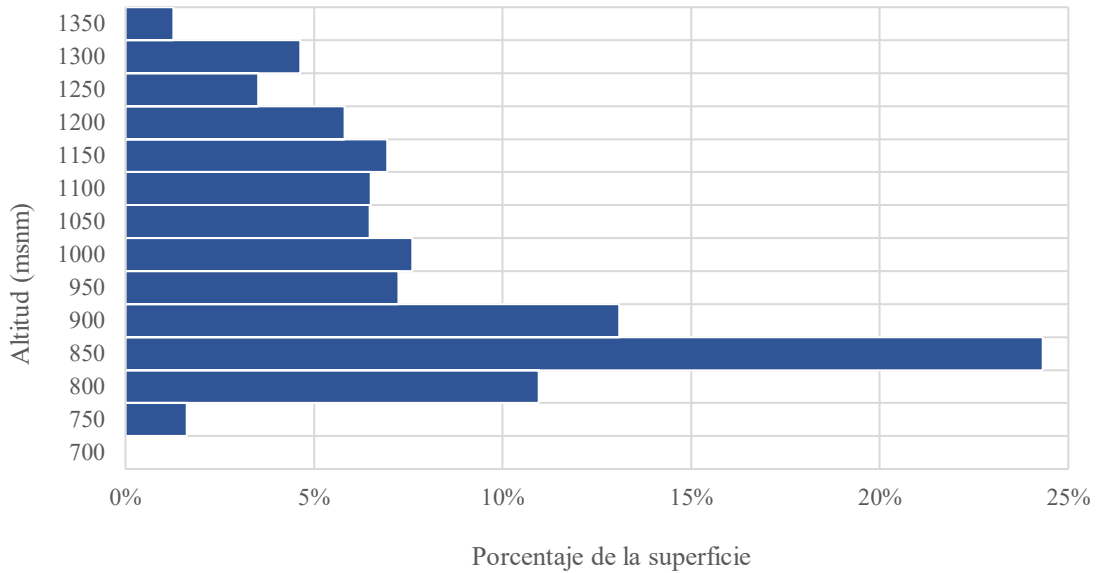
La subcuenca de la quebrada Güitite presenta la mayor frecuencia de altitudes entre los 750 msnm y los 900 msnm. Entre las cotas 750 y 800 se comprende un 11,0% de la superficie de la cuenca, entre la cota 800 y 850 un 24,3% y entre las cotas 850 y 900 un 13,1% (Gráfico 4).

Figura 5: Modelo de elevación digital de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: elaboración propia.

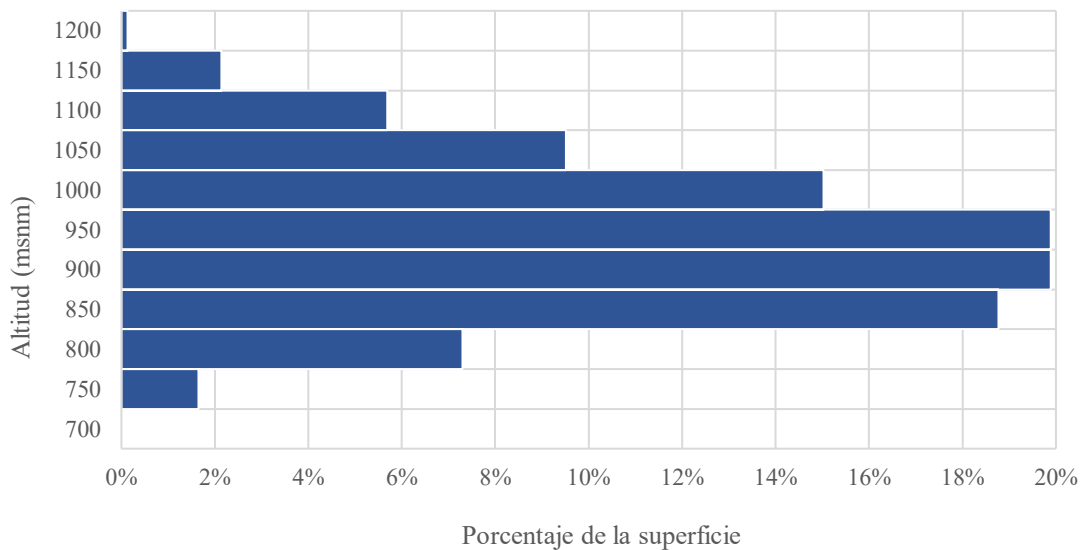
Gráfico 4: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Güitite



Fuente: Elaboración propia según el método de Villón, M. (2022).

En la subcuenca de la quebrada Güitite se identifica un incremento de las superficies ubicadas a una altitud por debajo de los 900 msnm (Gráfico 4). La frecuencia de altitudes en las cotas localizadas entre los 950 msnm y los 1200 msnm no supera el 10% y para las cotas ubicadas entre los 1200 msnm y los 1350 msnm la frecuencia porcentual es menor al 6%.

Gráfico 5: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Morazán

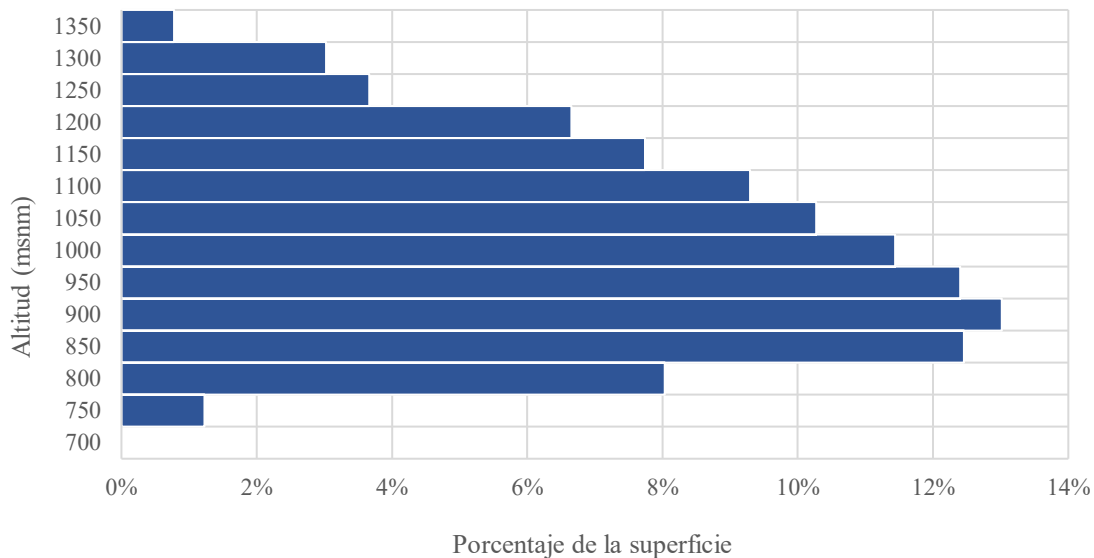


Fuente: Elaboración propia según el método de Villón, M. (2022).

En la subcuenca de la quebrada Morazán la mayor frecuencia de altitudes se encuentra entre los 800 msnm y los 1000 msnm. Entre las cotas 800 y 850 se comprende el 18,8% de la superficie de la subcuenca. Tanto para las superficies ubicadas entre las cotas 850 y 900 como las comprendidas entre las cotas 900 y 950, el porcentaje de la frecuencia es del 19,9% y entre las cotas 950 y 1000 de un 15,0% (Gráfico 5).

La distribución de la frecuencia de altitudes muestra que predominan las superficies situadas entre los 850 msnm y los 950 msnm. Por debajo de los 850 msnm, la frecuencia de altitudes no supera el 8% de cobertura en superficie y para las cotas ubicadas por encima de los 1050 msnm la frecuencia porcentual no supera el 6%.

Gráfico 6: Frecuencia de altitudes de la subcuenca de la quebrada Las Hayas



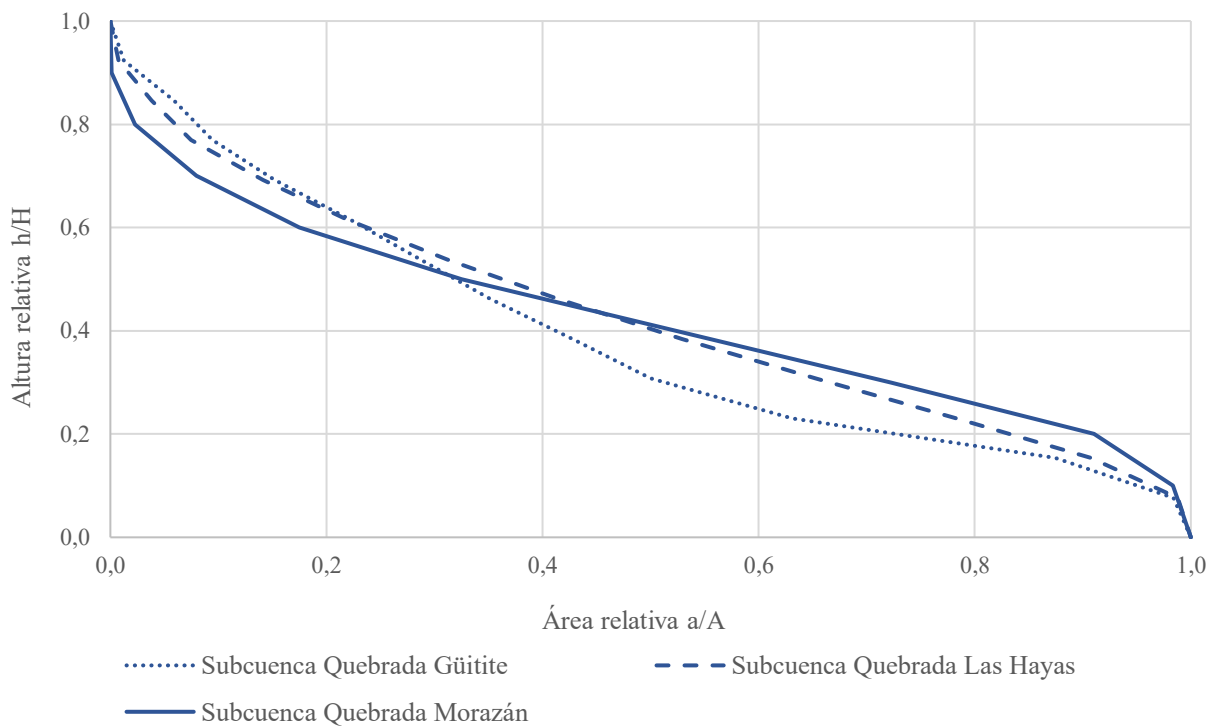
Fuente: Elaboración propia según el método de Villón, M. (2022).

Similar a la subcuenca de la quebrada Morazán, la subcuenca de la quebrada Las Hayas presenta la mayor frecuencia de altitudes entre los 800 msnm y los 1000 msnm. Entre las cotas 800 y 850, la frecuencia porcentual de las altitudes es del 12,5% de cobertura y entre las cotas 850 y 900 del 13,0%. En las superficies comprendidas entre las cotas 900 y 950 la frecuencia porcentual es del 12,4% y entre las cotas 950 y 1000 de un 11,4% (Gráfico 6).

En esta subcuenca, predominan las superficies comprendidas entre los 800 msnm y los 950 msnm. Por debajo de los 800 msnm, la frecuencia de altitudes no supera el 2% de cobertura y por encima de los 1200 msnm, la frecuencia de altitudes presenta porcentajes menores al 4%.

Desde un punto de vista morfométrico, las tres subcuencas tienen curvas hipsométricas que muestran un bajo predominio de superficies altas (Gráfico 7). La subcuenca de la quebrada Güitite presenta un mayor aplanamiento de la curva hipsométrica entre las alturas relativas de 0 y 0,4 debido a la presencia de una mayor frecuencia de altitudes bajas respecto a las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas (Gráfico 7). Esta variación puede explicarse por un mayor efecto de la erosión fluvial sobre la superficie de la cuenca, la cual depende las características litológicas, pluviales, de cubierta vegetal e intervención humana que se presentan en el área (Strahler, 1952).

Gráfico 7: Comparación de la curva hipsométrica de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaboración propia, según el método de Strahler, A.N. (1952).

El valor porcentual de la integral hipsométrica (IH) es del 40,6% para la subcuenca de la quebrada Güitite, del 48,5% para la subcuenca de la quebrada Morazán y del 46,5% para la subcuenca de la quebrada Las Hayas. Para Racca (2007), valores superiores al 60% indican que la cuenca se encuentra en una etapa de juventud mientras que valores inferiores al 30% señalan que la cuenca se encuentra en una etapa de senectud. Los valores que se encuentran cercanos al 47% indican que la cuenca se encuentra en un estado de equilibrio o madurez.

De acuerdo con la clasificación de Racca (2007), las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas presentan un valor IH relacionado a una etapa de equilibrio o madurez. De las tres cuencas, la subcuenca de la quebrada Morazán presenta el mayor valor IH, mientras que la subcuenca de la quebrada Güitite el menor. Esta condición indica que la subcuenca de la quebrada Güitite posee una etapa de madurez más cercana a la senectud que las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas, mientras que la subcuenca de la quebrada Morazán posee una etapa de madurez más juvenil en comparación con las otras dos subcuencas.

Como lo indican Keller y Pinter (2002), las cuencas que se encuentran en una etapa de equilibrio o madurez presentan un balance dinámico entre los procesos de erosión y los procesos de formación de superficies por lo que su relieve se encuentra estable. La madurez representa una transición entre la juventud, etapa caracterizada por la presencia de relieves disectados y rugosos, y la senectud, etapa en la que la cuenca presenta relieves cercanos a su nivel de base.

Al analizarse la distribución espacial de la clasificación de las pendientes en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, se identifica que en las tres subcuencas predominan los terrenos ondulados con pendientes entre el 15% y el 30%, los terrenos fuertemente ondulados con pendientes entre el 30% y el 60% y los terrenos fuertemente escarpados con pendientes mayores al 75%, según la clasificación del Decreto Ejecutivo N° 23214 - MAG MIRENEM (Tabla 3).

Tabla 3: Cobertura de áreas por clasificación del porcentaje de pendientes en las subcuencas

Rango	Clasificación del terreno	Subcuenca Quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
		Área km ²	Porcentaje	Área km ²	Porcentaje	Área km ²	Porcentaje
0 - 3%	Plano a casi plano	0,023	1%	0,015	1%	0,001	0%*
3 - 8%	Ligeramente ondulado	0,076	4%	0,032	3%	0,015	1%
8 - 15%	Moderadamente ondulado	0,200	12%	0,083	7%	0,057	3%
15 - 30%	Ondulado	0,385	22%	0,261	22%	0,287	17%
30 - 60%	Fuertemente ondulado	0,657	38%	0,579	48%	0,806	49%
60 - 75%	Escarpado	0,080	5%	0,058	5%	0,105	6%
75% a más	Fuertemente escarpado	0,297	17%	0,185	15%	0,377	23%
Total		1,718	100%	1,213	100%	1,648	100%

*Valor de porcentaje 0,07%

Fuente: elaboración propia de acuerdo con la clasificación de terrenos según el porcentaje de la pendiente del Decreto Ejecutivo N° 23214 - MAG - MIRENEM.

Los terrenos con bajo porcentaje de pendiente se encuentran mayoritariamente en las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán. Estos terrenos, clasificados como planos a casi planos (pendientes entre el 0% y el 3%) y ligeramente ondulados (pendientes entre el 3% y 8%), se ubican entre Morazán y Calle Brujas (Mapa 3).

Según la distribución de las pendientes del Mapa 3, en el Cuadro 10 se realiza la clasificación por partes de las subcuencas según la curva de nivel más próxima.

Cuadro 10: Clasificación de la parte alta, media y baja de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas según la distribución de las pendientes

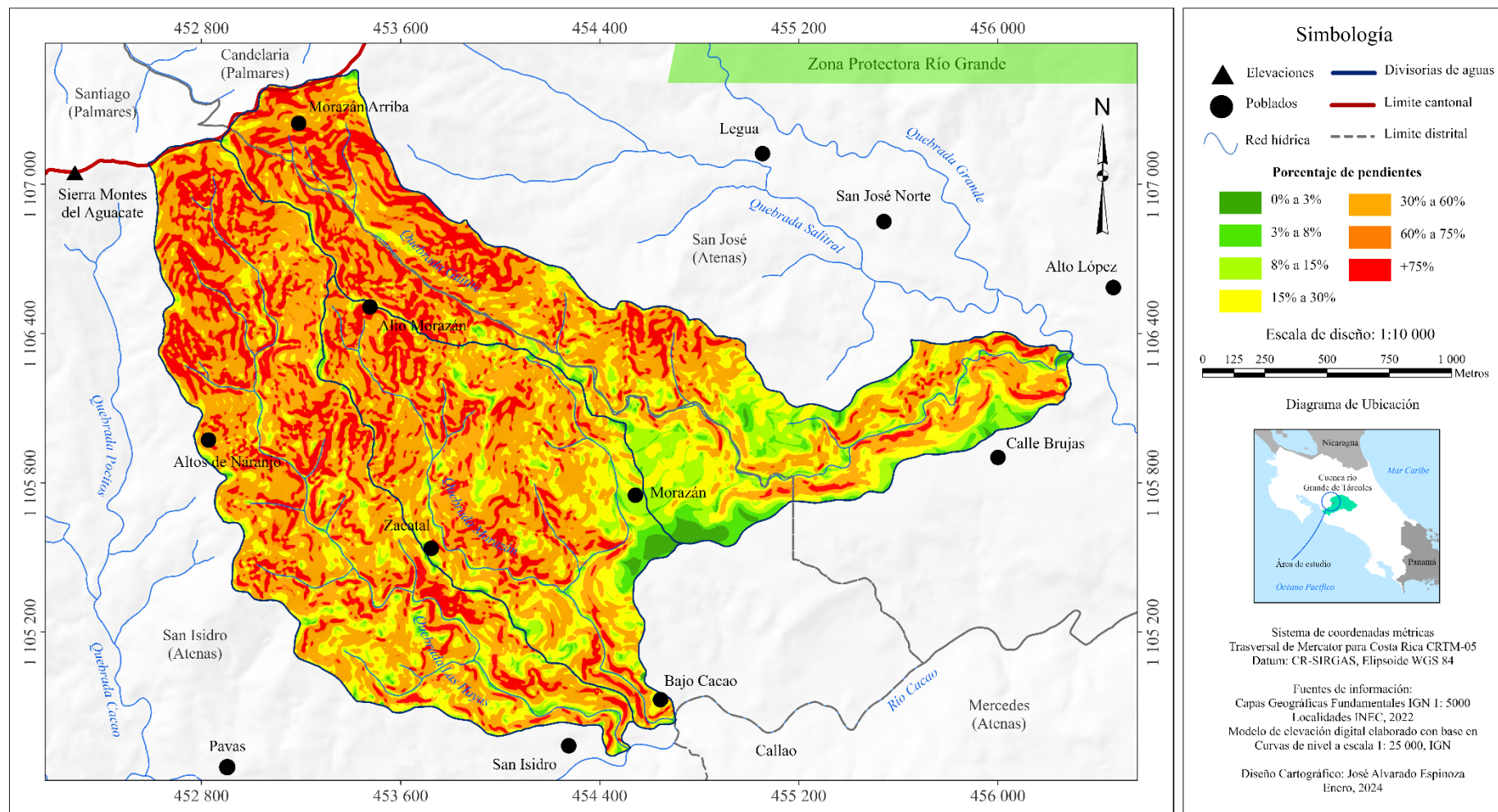
Partes de las subcuencas	Clasificación según la curva de nivel más próxima		
	Subcuenca Quebrada Güitite	Subcuenca Quebrada Morazán	Subcuenca Quebrada Las Hayas
Parte baja	725 - 900	715 - 850	725 - 850
Parte media	900 - 1050	850 - 950	850 - 1000
Parte alta	1000 - 1350	950 - 1170	1000 - 1320

Fuente: elaboración propia a partir de las curvas de nivel 1: 25 000, cada 10 metros, IGN.

En el Mapa 4, la parte alta de la subcuenca de la quebrada Güitite se encuentra al norte de Alto Morazán y comprende terrenos fuertemente ondulados a fuertemente escarpados con pendientes entre el 30% a más del 75%. La parte media se ubica al este del Alto Morazán y al norte de Morazán. Esta parte posee una transición de terrenos ondulados a fuertemente ondulados con pendientes entre el 15% y el 60%. La parte baja, se encuentra al este del poblado Morazán y se extiende por Calle Brujas hasta la confluencia de la quebrada Güitite con la Quebrada Grande. Excepto por los terrenos ubicados cerca del cauce de la quebrada Güitite, los terrenos de la parte baja de la subcuenca poseen pendientes entre el 0% y el 30%.

La subcuenca de la quebrada Morazán tiene su parte alta al sur de Alto Morazán y presenta terrenos fuertemente ondulados a fuertemente escarpados con pendientes entre el 30% a más del 75%. La parte media de la subcuenca se ubica al noroeste de Morazán y al norte de Zacatal. En la parte media se encuentran terrenos ondulados a fuertemente ondulados con pendientes entre el 15% y el 60%. La parte baja se encuentra entre Morazán y Zacatal hasta la confluencia de la quebrada Morazán con el río Cacao. En esta parte se encuentran terrenos con pendientes entre el 0% y el 60%, exceptuando aquellos localizados cerca del cauce de la quebrada Morazán (Mapa 4).

Mapa 3: Porcentaje de pendientes en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: elaboración propia de acuerdo con la clasificación de terrenos según el porcentaje de la pendiente del Decreto Ejecutivo N° 23214 - MAG – MIRENEM

En la subcuenca de la quebrada Las Hayas la parte alta se ubica al norte de los Altos de Naranjo y al noroeste de Alto Morazán. La parte alta comprende terrenos fuertemente ondulados a fuertemente escarpados con pendientes entre el 30% a más del 75%. La parte media se encuentra al sureste de los Altos de Naranjo y comprende terrenos ondulados a fuertemente ondulados con pendientes entre el 15% y el 60%. La parte baja de la subcuenca se localiza al sur de Zacatal hasta la confluencia de la quebrada Las Hayas con el río Cacao; excepto por terrenos cercanos al cauce de la quebrada Las Hayas, los terrenos de la parte baja de la subcuenca presentan pendientes entre el 3% y el 60% (Mapa 4).

5.2. Geomorfología y Unidades Geomorfológicas

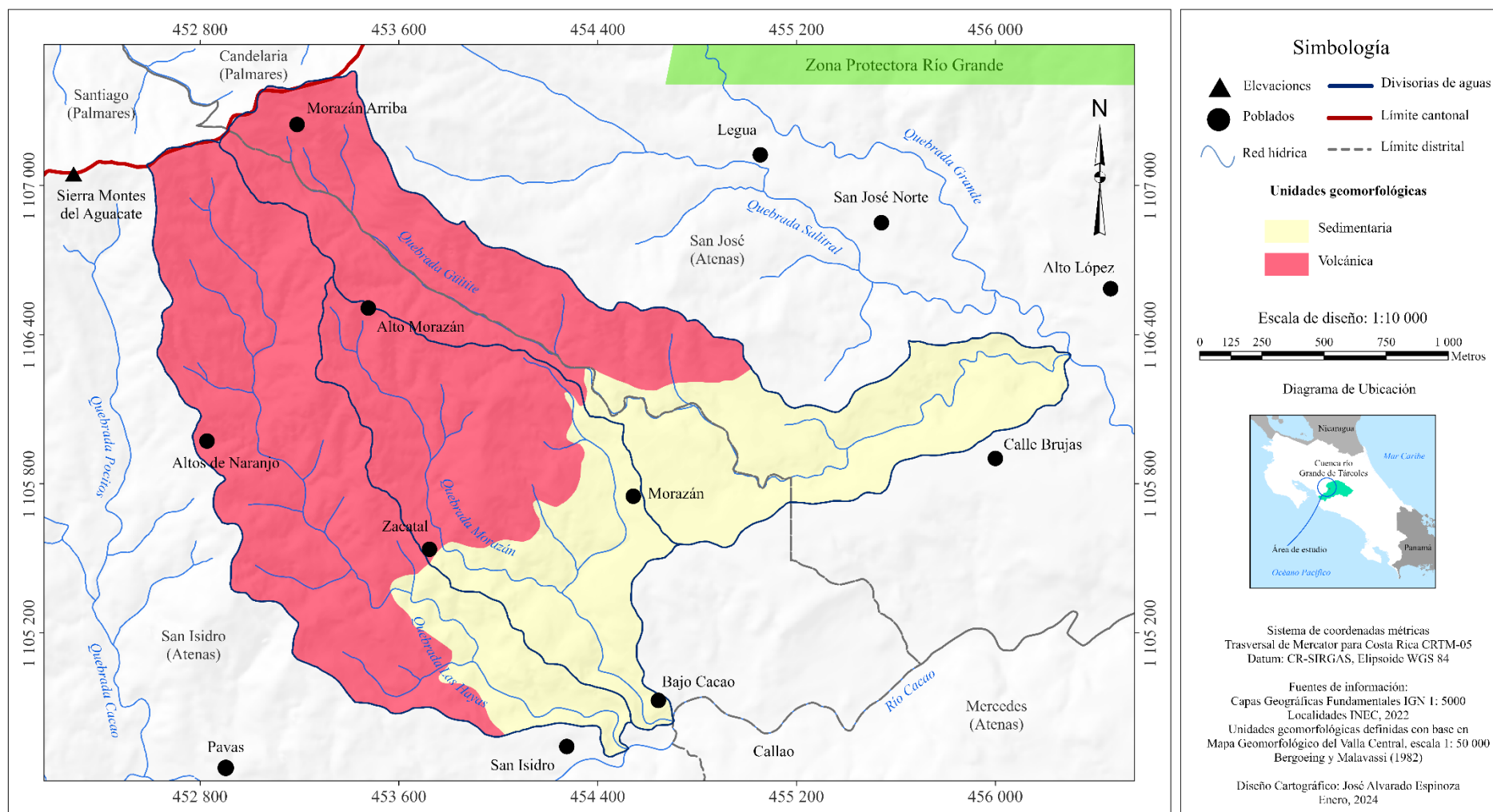
De acuerdo con la información del Mapa Geomorfológico del Valle Central a escala 1:50 000 de Bergoeing y Malavassi (1982a), se pueden establecer dos unidades geomorfológicas en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas según su génesis: una de origen volcánico y otra de origen sedimentario (Mapa 5).

La unidad geomorfológica volcánica se encuentra a partir de los 900 msnm en la subcuenca de la quebrada Güitite y la subcuenca de la quebrada Morazán y sobre los 800 msnm en la subcuenca de la quebrada Las Hayas. En esta unidad se presenta una morfología fluvial de valles en V, en un sentido noroeste-sureste, sobre el talweg (línea profunda del lecho) de las quebradas Güitite y Las Hayas. Los valles en V son paleo-relieves originados por la acción torrencial y violenta del sistema de drenaje en un tiempo climático diferente del actual y en los cuales la meteorización química es de importancia por la influencia del clima forestal tropical (Bergoeing y Malavassi, 1982b) (Mapa 6).

La unidad geomorfológica sedimentaria se ubica al sureste de la unidad de origen volcánico. Del mismo modo que en la unidad de origen volcánico, se presenta un modelado fluvial conformado por terrazas fluviales y el lecho mayor actual del cauce del río Cacao en la confluencia de las quebradas Morazán y Las Hayas. Las terrazas fluviales poseen una litología de rocas sedimentarias del Pleistoceno (hace unos 2.58 millones de años), mientras que el lecho mayor del río Cacao presenta una litología de rocas sedimentarias del Holoceno (hace unos 11 700 millones de años) (Mapa 6).

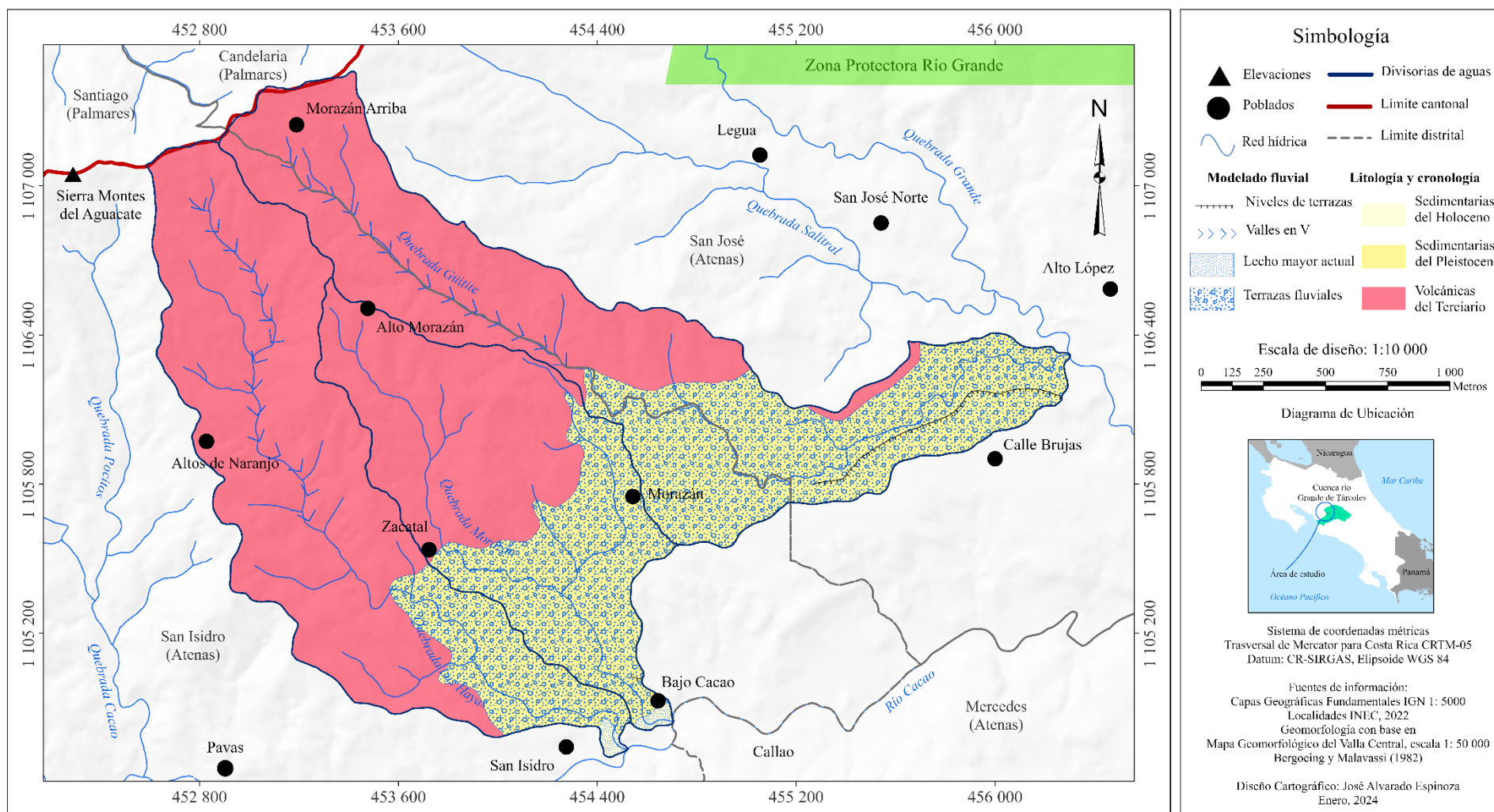
Las terrazas fluviales son sectores planos que se elevan en los márgenes del cauce de un río y se originan por el transporte de material cuando el río mantenía su talweg a ese nivel. Conforme el río ahonda su cauce se forman los niveles de terrazas creando niveles sucesivos en los márgenes. El lecho mayor actual corresponde al área que ha sido ocupada por el río en épocas de máximas crecidas (Bergoeing y Malavassi, 1982b).

Mapa 5: Unidades geomorfológicas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaborado con base en Bergoing y Malavassi (1982a).

Mapa 6: Geomorfología de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaborado con base en Bergoeing y Malavassi (1982a).

5.3. Suelos

Según la información del Mapa digital de suelos de Costa Rica a escala 1:200 000, elaborado por Mata et al. (2016), las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas presentan únicamente suelos de orden Ultisol.

Los ultisoles se caracterizan por ser uno de los órdenes de suelo más viejos presentes en el país. Estos suelos presentan tonalidades pardo-rojizas, rojizas, pardo-amarillentas o amarillentas y se desarrollan en relieves desde ligeramente ondulados hasta fuertemente ondulados, con una profundidad considerable. En su composición física, son suelos que presentan texturas finas como las arcillas y un buen drenaje interno. No obstante, se les considera suelos con un nivel muy bajo de fertilidad debido a que se les cataloga como suelos ácidos y con un bajo nivel de saturación de bases como Na (sodio), K (potasio), Ca (calcio) y Mg (magnesio) por causa del ambiente húmedo en el que se desarrollan. (INTA, 2016). Por este motivo, los ultisoles suelen destinarse para usos forestales y pastizales (Aguilar, 2016).

5.3.1. Agua disponible en el suelo

Como se menciona en la sección metodológica, se realizan dos perfiles del suelo para conocer la retención de la humedad en el suelo, uno por unidad geomorfológica.

El primer perfil del suelo (P1) se realiza en la unidad geomorfológica volcánica, en la coordenada 10° 00' 38,1" N y 84° 25' 39,6" O. Este perfil se encuentra localizado en Calle Zacatal, hacia Morazán Arriba, a una altitud de 1229 m.s.n.m. y en un sitio destinado al cultivo del café. En el perfil P1 se identifican 3 horizontes (Figura 6).

Figura 6: Perfil del suelo 1, unidad geomorfológica volcánica



Fuente: Alvarado Espinoza, J.I. Fotografía tomada el 05 de abril de 2025.

El primer horizonte (P1h1) tiene una profundidad de 0 a 36 cm, el segundo (P1h2) se encuentra a una profundidad de 36 a 96 cm y el tercer horizonte (P1h3) está a una profundidad de 96 a 230 cm. Los resultados del análisis textural indican que el primer horizonte se clasifica como franco arcillo arenoso, el segundo como franco y el tercero como franco arenoso (Tabla 4). Estas categorías indican

que el suelo presenta una textura media, para la cual la retención de la humedad es media, la cual aumenta a mayor porcentaje de arcillas (Rucks et al., 2004).

Tabla 4: Análisis físico del perfil del suelo 1, unidad geomorfológica de origen volcánico

		Horizontes del perfil del suelo		
		P1h1	P1h2	P1h3
Profundidad (cm)		0 - 36	36 - 96	96 - 230
Análisis textural	Arena (%)	54,00	42,94	59,02
	Arcilla (%)	23,96	17,24	8,94
	Limo (%)	22,04	39,82	32,04
	Clase textural	Franco arcillo arenoso	Franco	Franco arenoso
Densidad aparente (g/cm ³)		1,16	1,19	1,20
Color	Nombre	pardo amarillento	pardo amarillento claro	pardo
	Código Munsell	10YR 5/4	10YR 6/4	10YR 5/3
Humedad en el suelo	Capacidad campo (CC)	44,53	40,23	38,78
	Punto Marchitez Permanente (PMP)	38,42	25,09	24,64
	Agua disponible (%)	6,11	15,14	14,14

Fuente: elaboración propia

En el primer perfil del suelo la densidad aparente aumenta con la profundidad. La densidad aparente del primer horizonte es de 1,16 g/cm³, la del segundo de 1,19 g/cm³ y la del tercero de 1,20 g/cm³. En este perfil, el porcentaje de agua disponible es mayor en el segundo y tercer horizonte por lo que es en estos dos horizontes que se presentan las mejores condiciones de humedad disponible para la vegetación. En promedio, el porcentaje de agua disponible del perfil 1 es del 11,8%.

Respecto a la Capacidad de Campo, en el primer horizonte la CC es mayor que en los otros dos horizontes, lo que significa que el suelo, después de ser saturado, es capaz de retener más cantidad de agua en el primer horizonte que en el segundo y el tercero. Al igual que el porcentaje de la CC, el Punto de Marchitez Permanente (PMP) del primer horizonte es mayor que en los otros dos horizontes. Esto indica que, aunque el primer horizonte retiene una buena cantidad de agua, el punto de marchitez en el que la plantas no pueden absorber más el agua es alto y, del volumen total del suelo, solo el 6,11% está disponible para la vegetación. Esta situación es distinta en el segundo y tercer horizonte, en los cuales el PMP es menor y el agua disponible para las plantas es del 15,14% y el 14,14%, respectivamente.

El segundo perfil del suelo (P2) se realiza en la unidad geomorfológica sedimentaria, en la coordenada 10° 00' 10,2" N y 84° 24' 39,8" O. Este perfil se encuentra localizado al noreste del poblado de Morazán, a una altitud de 849 m.s.n.m. y en un sitio destinado al cultivo del café. En el perfil P2 se identifican 3 horizontes (Figura 7).

Figura 7: Perfil del suelo 2, unidad geomorfológica sedimentaria



Fuente: Alvarado Espinoza, J.I. Fotografía tomada el 26 de abril de 2025.

El primer horizonte (P2h1) se encuentra a una profundidad de 0 a 78 cm, el segundo (P2h2) a una profundidad de 78 a 145 cm y el tercero (P2h3) a una profundidad de 145 a 202 cm. Los resultados del análisis textural indican que el primer horizonte se clasifica como franco arcillo arenoso, el segundo como franco arenoso y el tercero como franco arcilloso (Tabla 5), texturas medias asociadas a una media retención de la humedad (Rucks et al., 2004).

Tabla 5: Análisis físico del perfil del suelo 2, unidad geomorfológica de origen sedimentario

		Horizontes del perfil del suelo		
		P2h1	P2h2	P2h3
Profundidad (cm)		0 - 78	78 - 145	145 - 202
Análisis textural	Arena (%)	51,36	63,92	39,12
	Arcilla (%)	23,00	16,18	30,06
	Limo (%)	25,64	19,90	30,82
	Clase textural	franco arcillo arenoso	franco arenoso	franco arcilloso
Densidad aparente (g/cm ³)		1,10	1,27	1,06
Color	Nombre	pardo amarillento claro	amarillo pardusco	pardo
	Código Munsell	10 YR 6/4	10 YR 6/6	7,5 YR 4/2
Humedad en el suelo	Capacidad campo (CC)	33,7	36,39	41,25
	Punto Marchitez Permanente (PMP)	23,05	29,24	26,21
	Agua disponible (%)	10,65	7,15	15,04

Fuente: elaboración propia

La densidad aparente en el segundo horizonte es mayor que en el segundo y el tercero. Respecto a la Capacidad de Campo, esta aumenta con la profundidad siendo de 33,7 % en el primer horizonte, de 36,39 % en el segundo y de 41,25 % en el tercero, lo que indica que después de recibir un proceso de saturación, los horizontes encontrados a una mayor profundidad son capaces de retener una mayor cantidad de humedad.

Similar a la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitez Permanente es mayor en los dos horizontes encontrados a mayor profundidad. Esto quiere decir que, aunque el segundo y el tercer horizonte del perfil del suelo son capaces de retener una mayor cantidad de humedad, el punto de marchitez en el que la vegetación no puede utilizar más la humedad del suelo es alto comparado con

el primero y del volumen total del suelo solo un 7,15% es agua disponible para la vegetación en el segundo horizonte y un 15,04% es agua disponible para la vegetación en el tercero. En promedio el porcentaje de agua disponible en el segundo perfil es del 10,9%, lo que indica que, comparado con el perfil 1, la cantidad de agua disponible para satisfacer los requerimientos de la vegetación en el perfil 2 es ligeramente menor.

5.3.2. Usos del suelo

En las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, los usos del suelo con mayor cobertura de área son el café, el pasto y el bosque. Por su parte, los cítricos y las áreas urbanas son los usos que presentan menor cobertura de área dentro de las subcuencas (Tabla 6, Mapa 7).

Tabla 6: Usos del suelo en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

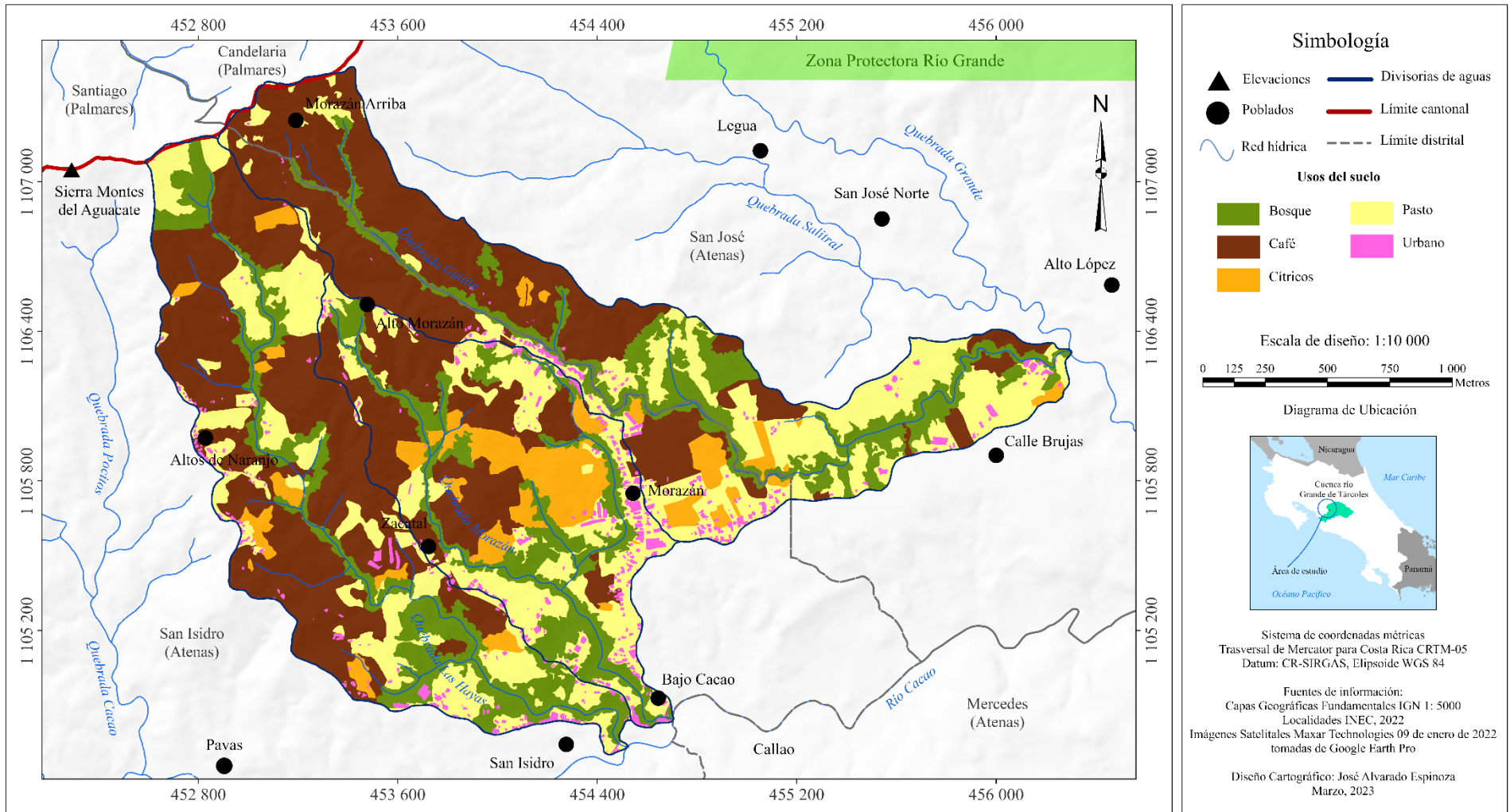
Uso	Subcuenca Quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	Área km ²	Porcentaje	Área km ²	Porcentaje	Área km ²	Porcentaje
Bosque	0,363	21%	0,292	24%	0,340	21%
Pasto	0,463	27%	0,324	27%	0,400	24%
Café	0,786	45%	0,367	30%	0,808	49%
Cítricos	0,077	4%	0,176	14%	0,069	4%
Urbano	0,040	2%	0,056	5%	0,038	2%
Total	1,729	100%	1,215	100%	1,655	100%

Fuente: Elaborado con base en fotointerpretación de imágenes satelitales Maxar Technologies.

5.3.2.1. Bosque

En el Mapa 7, esta categoría comprende bosques riparios y algunos fragmentos con cobertura natural presentes en las subcuencas. Las áreas de bosque cubren el 21% de la subcuenca de la quebrada Güitite, el 27% de la subcuenca de la quebrada Morazán y el 24% de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. La mayor parte de los bosques se encuentran en las riberas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas y algunos arroyos.

Mapa 7: Usos del suelo en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, 2022



Fuente: Elaborado con base en la fotointerpretación de imágenes satelitales Maxar Technologies, 09 de enero de 2022.

5.3.2.2. Café

El café es el uso más importante en extensión de las tres subcuencas. Se presenta en toda la subcuenca de la quebrada Güitite y en la parte media y alta de las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas (Mapa 7). Este uso comprende el 45% de la subcuenca de la quebrada Güitite, el 30% de la subcuenca de la quebrada Morazán y el 49% de la subcuenca de la quebrada Las Hayas.

5.3.2.3. Cítricos

Los cítricos se encuentran de forma dispersa en las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas y de forma localizada en la parte media alta de la subcuenca de la quebrada Morazán (Mapa 7). Las áreas cubiertas por cítricos abarcan el 4% de la subcuenca de la quebrada Güitite, el 14% de la subcuenca de la quebrada Morazán y el 4% de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. Este uso comprende cultivos de naranja, mandarina y limón mesino. En las tres subcuencas se presentan terrenos con cultivo de cítricos en monocultivo y terrenos con cultivos de cítricos en asocio con otros cultivos, como el café y el banano. Especialmente, el asocio con el café se encuentra en la subcuenca de la quebrada Morazán donde los de cítricos se entre mezclan con los cafetales.

5.3.2.4. Pasto

Los pastos se distribuyen de forma dispersa en las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas y de forma localizada en la parte baja de la subcuenca de la quebrada Güitite (Mapa 7). Porcentualmente, las áreas de pasto cubren el 27% de la subcuenca de la quebrada Güitite, el 24% de la subcuenca de la quebrada Morazán y el 27% de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. Las áreas de pasto comprenden zacatales en áreas urbanas, pastizales cercanos a bosques y potreros dedicados a la ganadería de pequeña escala.

5.3.2.5. Urbano

El uso urbano comprende áreas con edificaciones destinadas a la residencia, el comercio, la educación, las asociaciones comunales, los servicios de salud, el culto religioso y el ocio. Este uso abraza el 2% de la subcuenca de la quebrada Güitite, el 5% de la subcuenca de la quebrada Morazán y el 2% de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. El uso urbano se encuentra distribuido a lo largo de las carreteras (Mapa 7). Morazán es el principal poblado en las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, mientras que San Isidro y Altos de Naranjo son los principales centros poblados de la subcuenca de la quebrada Las Hayas.

5.4. Clima

Las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentran influenciadas por el régimen climático de la vertiente del Pacífico. De acuerdo con Manso et al. (2005), este régimen se caracteriza por presentar dos épocas bien definidas: una seca y una lluviosa. La época lluviosa inicia en el mes de mayo y finaliza en el mes de noviembre con un descenso en las precipitaciones durante los meses de julio y agosto debido al efecto del veranillo y la canícula. Por su parte, la época seca se extiende desde el mes de diciembre hasta el mes de abril.

Al encontrarse dentro del Valle Central, las subcuencas reciben la interacción de condiciones meteorológicas tanto del Pacífico (Zona de Convergencia Intertropical y vientos alisios ecuatoriales) como del Caribe (vientos alisios del noreste). En Atenas se presenta un clima de sequía con 5 meses secos al año y 129 días de lluvia superior a 1 mm. La temperatura media mensual es de 22°C con extremos de 27°C y 18°C (Solano y Villalobos, 2001).

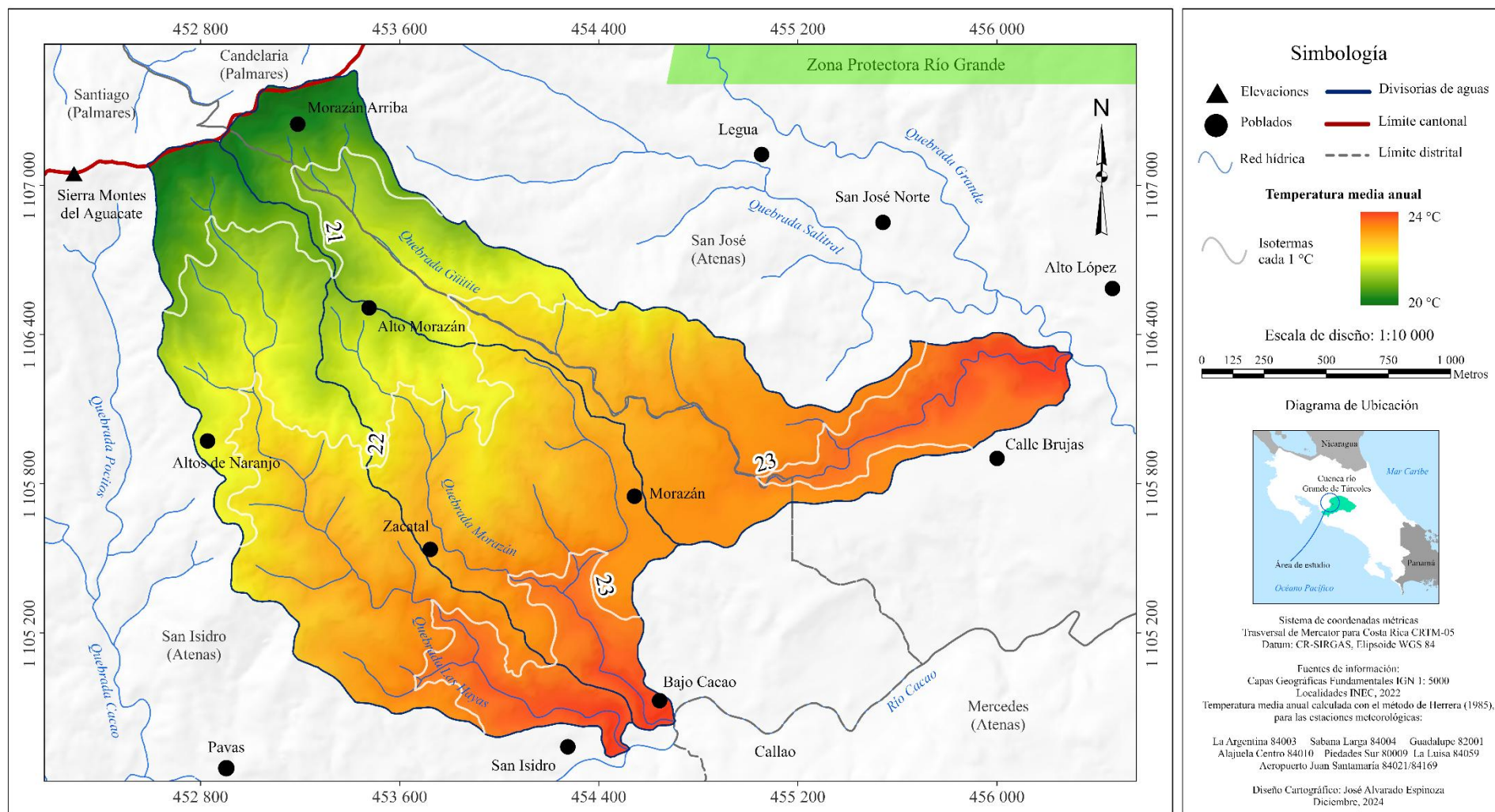
Según la información del Mapa 8, el área de estudio presenta una temperatura media anual que oscila entre los 20°C y los 24°C. El sector en el que se encuentran ubicadas las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas tiende a ser más templado que en el centro y sur de Atenas debido al ingreso de vientos húmedos que proceden desde San Ramón y penetran por las depresiones de la serranía de los Montes del Aguacate, lo que ocasiona un clima más fresco (López, 1968).

5.4.1. Precipitación media

La precipitación media del área de estudio se encuentra en un rango situado entre los 2400 mm y los 2850 mm al año (Mapa 9). La precipitación media anual de la subcuenca de la quebrada Güitite es de 2616,2 mm. En la subcuenca de la quebrada Morazán la precipitación media anual es de 2552,3 mm y en la subcuenca de la quebrada Las Hayas de 2727,3 mm (Tabla 7).

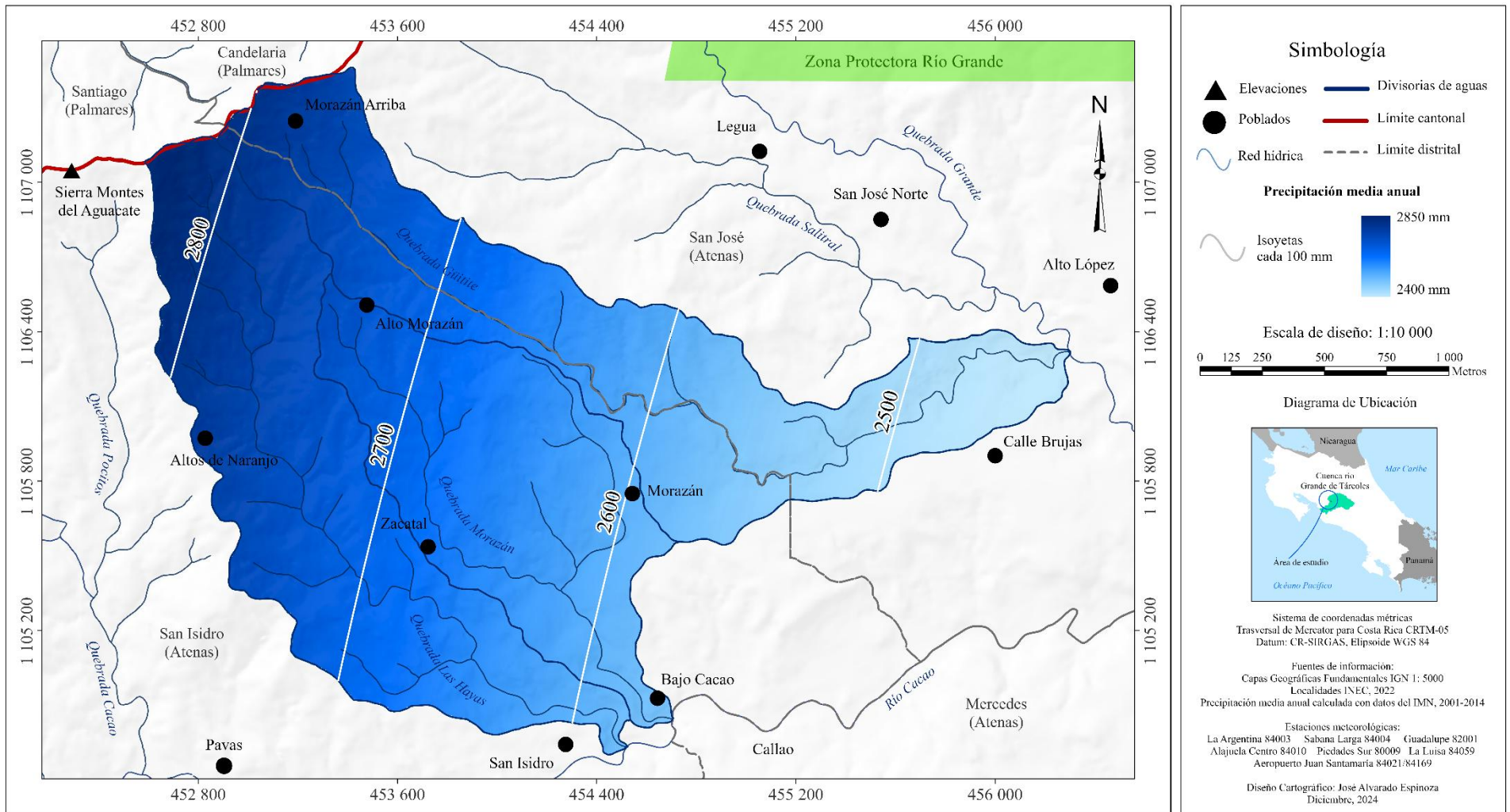
Para la subcuenca de la quebrada Güitite la época seca se extiende desde el mes de diciembre hasta el mes de abril. El mes más lluvioso de esta época es el mes de abril en el cual la precipitación media no supera los 90 mm. La época lluviosa comprende desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre. Las primeras lluvias de la época inician en el mes de mayo con un valor promedio de 357 mm. Octubre corresponde al mes más lluvioso con un valor promedio de 493 mm. Durante la época lluviosa se presenta un descenso en la precipitación para el mes de julio a un valor promedio de 283 mm debido al efecto del veranillo y la canícula (Gráfico 8).

Mapa 8: Temperatura media anual de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaborado con base en Herrera (1985).

Mapa 9: Precipitación media anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014 mediante el método de Kriging.

Tabla 7: Precipitación media anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

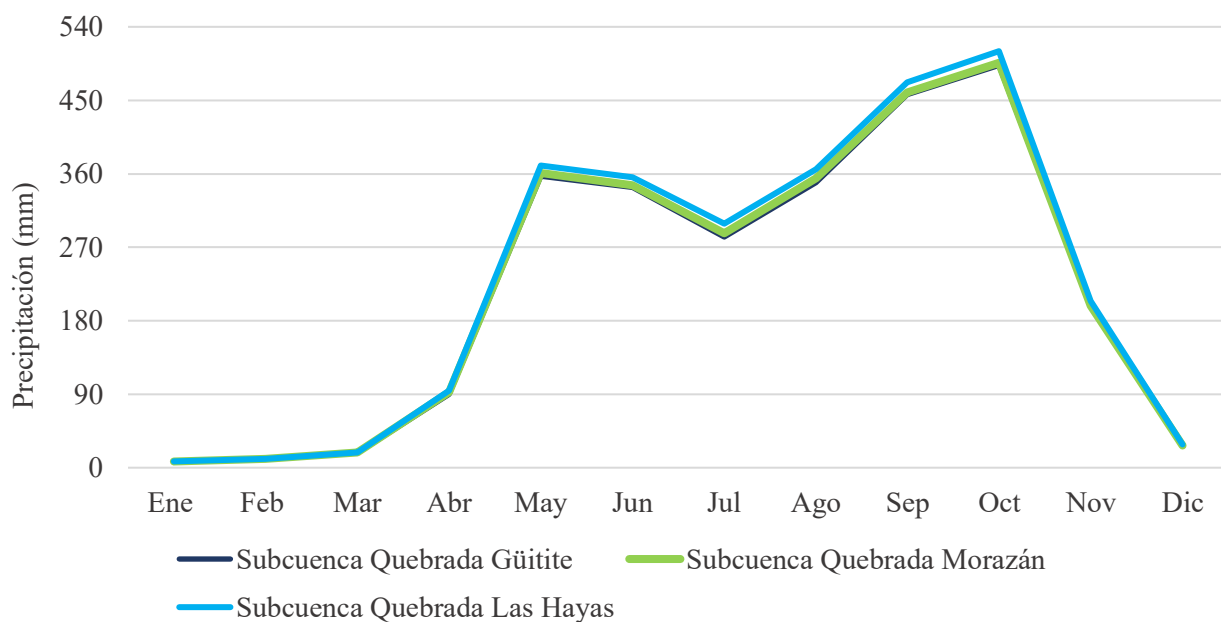
Isoyetas	Precipitación (mm)	Subcuenca Quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
		Ap km ²	Pp	Ap km ²	Pp	Ap km ²	Pp
2400 - 2500	2450	0,3	615,4	-	-	-	-
2500 - 2600	2550	0,6	1 504,0	0,159	405,5	0,040	102,0
2600 - 2700	2650	0,4	1 044,1	0,869	2 302,9	0,472	1 250,8
2700 -2800	2750	0,5	1 323,9	0,187	514,3	0,967	2 659,3
2800 - 2900	2850	0,0	37,1	-	-	0,176	501,6
Totales		1,7	4 524,4	1,215	3 222,6	1,655	4 513,7
Precipitación media (mm)		2616,2		2652,3		2727,3	

Ap: Área parcial de la cuenca (en hectáreas) según el intervalo de isoyetas

Pp: Precipitación ponderada al área parcial

Fuente: elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Gráfico 8: Precipitación media mensual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Al igual que la subcuenca de la quebrada Güitite, las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas presentan la época seca desde el mes de diciembre hasta el mes de abril (Gráficos 8).

Durante esta época, el mes de abril es el más lluvioso. En la subcuenca de la quebrada Morazán la precipitación media mensual del mes de abril es menor a los 93 mm y en la subcuenca de la quebrada Las Hayas la precipitación media mensual del mes de abril es menor a los 95 mm.

En las subcuencas de las quebradas Morazán y Las Hayas, la época lluviosa también comprende desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre (Gráfico 8). La subcuenca de la quebrada Morazán inicia la época lluviosa durante el mes de mayo con un valor promedio de 361 mm. En la subcuenca de la quebrada Las Hayas, el inicio de la estación lluviosa ocurre también en el mes de mayo con un valor promedio de 370 mm. Las dos subcuencas presentan las mayores precipitaciones para el mes de octubre. En la subcuenca de la quebrada Morazán la precipitación en el mes de octubre tiene un valor promedio de 496 mm y en la subcuenca de la quebrada Las Hayas la precipitación en el mes de octubre alcanza un valor promedio de 510 mm.

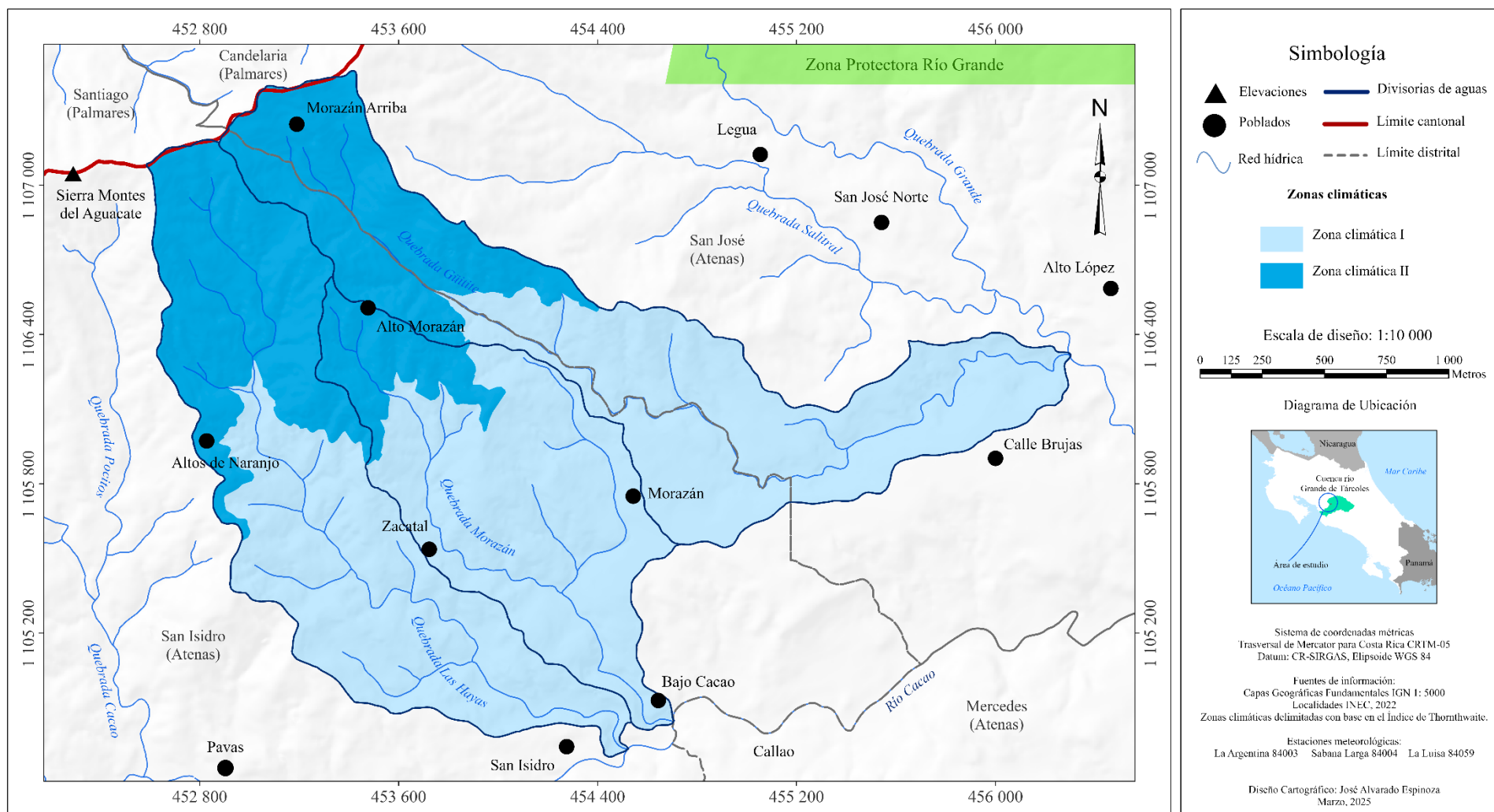
5.4.2. Zonas climáticas

Se establecen dos zonas climáticas en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas. La Zona Climática I comprende las partes baja y media de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, mientras que la Zona Climática II comprende la parte alta de las subcuencas (Mapa 10).

La Zona climática I cubre 1,12 km² en la subcuenca de la quebrada Güitite, 1,00 km² en la subcuenca de la quebrada Morazán y 0,97 km² en la subcuenca de la quebrada Las Hayas (Mapa 10). Esta zona se encuentra entre los índices hídricos (Im) 30% y 85%, los cuales se clasifican dentro de un clima Húmedo. En altitud, la Zona Climática I comprende un rango altitudinal situado entre los 650 msnm y los 1000 msnm. Esta zona climática presenta una precipitación media anual de 2428,2 mm. La temperatura media es de 23,7 °C y la evapotranspiración potencial anual de 1599,1 mm.

La Zona Climática II comprende 0,61 km² en la subcuenca de la quebrada Güitite, 0,21 km² en la subcuenca de la quebrada Morazán y 0,69 km² en la subcuenca de la quebrada Las Hayas (Mapa 10). Esta zona se encuentra entre los índices hídricos (Im) 85% y 138%, los cuales se clasifican dentro de un clima Muy Húmedo. En altitud la Zona Climática II se sitúa entre los 1000 msnm y los 1350 msnm. En esta zona climática se presenta una precipitación media anual de 2674,4 mm. La temperatura media es de 22,0 °C y la evapotranspiración potencial anual de 1521,6 mm.

Mapa 10: Zonas climáticas de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Elaboración propia.

5.5. Régimen hídrico

El balance hídrico se calcula en 12 áreas (Anexos del 8 al 19) obtenidas de dos zonas climáticas, dos unidades geomorfológicas y cuatro usos del suelo, sin considerar el uso urbano (Tabla 8).

Tabla 8: Resultados generales de los balances hídricos según zona climática, unidad geomorfológica y uso del suelo

Zona Climática	Unidad geomorfológica	Uso del suelo	P	ETP	ETA	D	G
I	Sedimentaria	Bosque	2428,18	1599,06	1259,59	339,48	1168,59
I	Sedimentaria	Pasto	2428,18	1599,06	1074,70	524,36	1353,48
I	Sedimentaria	Café	2428,18	1599,06	1102,10	496,96	1326,08
I	Sedimentaria	Cítricos	2428,18	1599,06	1167,09	431,97	1261,09
I	Volcánica	Bosque	2428,18	1599,06	1271,51	327,56	1156,67
I	Volcánica	Pasto	2428,18	1599,06	1076,00	523,06	1352,18
I	Volcánica	Café	2428,18	1599,06	1105,50	493,56	1322,68
I	Volcánica	Cítricos	2428,18	1599,06	1175,20	423,86	1252,98
II	Volcánica	Bosque	2687,42	1521,62	1196,02	325,60	1491,40
II	Volcánica	Pasto	2687,42	1521,62	1000,73	520,89	1686,69
II	Volcánica	Café	2687,42	1521,62	1030,23	491,39	1657,19
II	Volcánica	Cítricos	2687,42	1521,62	1099,91	421,71	1587,51

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **ETA:** Evapotranspiración actual
D: Déficit hídrico **G:** Ganancia hídrica

Fuente: elaboración propia.

5.5.1. Comportamiento hídrico en la Zona Climática I

La Zona Climática I cubre la parte baja y media de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas. Esta zona comprende áreas de bosque, pasto, café y cítricos de la unidad geomorfológica volcánica y de la unidad geomorfológica sedimentaria (Tabla 8).

Las áreas cubiertas por bosque de la unidad geomorfológica sedimentaria tienen una Lámina de agua disponible (LAD) de 218,9 mm. Durante la época lluviosa, la humedad del suelo disponible (HSD) alcanza el valor de la LAD permitiendo que las áreas de bosque tengan suficiente humedad para su desarrollo. De diciembre abril, la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, lo que genera déficits de humedad en el suelo. En diciembre, la pérdida potencial acumulada de humedad (PPA) es de 97,94 mm, este valor se incrementa cada mes de la época seca siendo para el mes de abril de 540,76 mm.

Durante la época seca, el agua cedida por el suelo a la vegetación no alcanza la LAD por lo que las plantas se encuentran en proceso de marchitamiento. En diciembre la vegetación utiliza 80,21 mm de humedad y en abril apenas puede utilizar 5,54 mm (Anexo 8).

En total, el déficit hídrico en las áreas de bosque de la unidad geomorfológica sedimentaria es de 339,48 mm/año siendo los meses más críticos febrero y marzo cuando el déficit hídrico es de 85,86 mm y 121,13 mm, respectivamente. Por el contrario, la ganancia hídrica en estas áreas se presenta en la época lluviosa, de junio a noviembre, siendo mayo un mes en el que no se presentan ni déficit ni ganancia debido a que, a pesar del incremento en la precipitación en este mes, los suelos ceden la humedad a la vegetación sin generar excesos que permitan la recarga. En total, la ganancia hídrica de estas áreas es de 1168,59 mm/año siendo los meses de septiembre y octubre en los que se presentan los mayores excesos (Anexo 8).

En las áreas de pasto de la unidad geomorfológica sedimentaria, la Lámina de Agua disponible (LAD) es de 16,4 mm. Durante la época lluviosa, la humedad en el suelo disponible (HSD) alcanza el valor de la LAD permitiendo el buen desarrollo de la vegetación durante estos meses. Desde el mes de diciembre y hasta el mes de abril la precipitación no supera la evapotranspiración potencial generando una pérdida potencial acumulada (PPA) de 97,94 mm en el mes de diciembre y de 540,76 mm al mes de abril. En los meses de época seca, la humedad del suelo disponible disminuye mes a mes ocasionado el marchitamiento de la vegetación hasta que en mayo la cantidad de agua que precipita permite que haya excesos de humedad en el suelo. De febrero a abril, los suelos no almacenan más humedad lo que genera déficits hídricos altos en los meses de febrero y marzo: de 119,46 mm en el mes de febrero y de 143,08 mm en el mes de marzo (Anexo 9).

En total, el déficit hídrico de las áreas cubiertas por pasto de la unidad geomorfológica sedimentaria es de 524,36 mm/año siendo los meses más críticos enero y marzo. La ganancia hídrica se presenta en la época lluviosa, de mayo a noviembre, cuando la precipitación supera a la evapotranspiración potencial, lo que genera excesos de humedad en el suelo que permiten la percolación. Al año estas áreas presentan una ganancia hídrica de 1353,48 mm (Anexo 9).

Las áreas cubiertas por café de la unidad geomorfológica sedimentaria presentan una lámina de agua disponible (LAD) de 43,8 mm, mayor que la calculada en las áreas cubiertas por pasto debido a que los cultivos de café requieren de más humedad para su desarrollo. En estas áreas, los suelos alcanzan el valor de la LAD de mayo a noviembre, cuando la precipitación supera la evapotranspiración potencial y produce excesos de humedad en el suelo. Al igual que el comportamiento descrito para las áreas de

bosque y pastos, la pérdida potencial acumulada de humedad (PPA) se incrementa mes a mes de diciembre a abril, cuando las precipitaciones disminuyen y la evapotranspiración potencial supera la cantidad de agua llovida. Durante estos meses de época seca, la humedad del suelo disponible (HSD) disminuye de 4,48 mm en el mes de diciembre a 0,02 mm en el mes de febrero. Tanto en marzo como en abril, los suelos no almacenan más humedad. En diciembre, la vegetación utiliza 39,32 mm y en marzo apenas puede utilizar 0,02 mm, por lo que la vegetación se encuentra en proceso de marchitamiento (Anexo 10).

Respecto al déficit y a la ganancia hídrica en las áreas cubiertas por café de la unidad geomorfológica sedimentaria, se presenta un déficit anual de 494,96 mm y una ganancia hídrica de 1326,08 mm/año. Los meses de mayor déficit anual corresponde a febrero y marzo, 119,22 mm y 143,06 mm, respectivamente. Por el contrario, la mayor ganancia hídrica sucede en septiembre y octubre, con un valor de 275,52 mm en el mes de septiembre y 321,54 mm en el mes de octubre (Anexo 10).

Las áreas de cítricos de la unidad geomorfológica sedimentaria tienen una lámina de agua disponible (LAD) de 109,5 mm. Los suelos alcanzan el valor de la LAD de mayo a noviembre, cuando la precipitación supera la evapotranspiración potencial mensual y la cantidad de agua llovida permite que los suelos almacenen la humedad necesaria para el desarrollo de la vegetación. Durante los meses de época seca, la pérdida potencial acumulada (PPA) de la humedad aumenta de 97,94 mm en el mes de diciembre a 540,76 mm en el mes de abril. En este período, el suelo pasa de almacenar 43,98 mm en el mes de diciembre a solo 0,71 mm en el mes de abril, por lo que los cítricos se encuentran en proceso de marchitamiento. Debido a la disminución de la humedad en el suelo disponible (HSD), el cambio de la humedad mensual disminuye también. En el mes de diciembre la vegetación utiliza 65,52 mm, producto de los excesos sucedidos en el mes de noviembre y en el mes de abril la vegetación apenas utiliza 0,52 mm de las pocas lluvias sucedidas en el mes de marzo (Anexo 11).

El déficit hídrico anual en las áreas cubiertas por cítricos de la unidad geomorfológica sedimentaria es de 431,97 mm. Al inicio de la época seca, el déficit es de 32,41 mm. Este aumenta de enero a marzo, siendo para el mes de marzo de 139,65 mm. En abril el déficit hídrico disminuye a 58,19 mm debido al aporte de humedad que generan las precipitaciones en este mes. Respecto a la ganancia hídrica, en estas áreas se presenta una ganancia de 1261,09 mm al año. En mayo, la ganancia hídrica es de 89,23 mm, en junio se incrementa a 192,89 mm, disminuyendo en julio y agosto. Las fuertes lluvias de septiembre y octubre generan excesos de humedad que permiten el aumento de la ganancia hídrica, siendo en septiembre de 275,52 mm y en octubre de 321,54. En noviembre, la disminución de las lluvias genera que la ganancia hídrica disminuya nuevamente, a un valor de 62,64 mm (Anexo 11).

Las áreas cubiertas por bosque de la unidad geomorfológica volcánica siguen un comportamiento similar al descrito para las áreas de bosque de la unidad geomorfológica sedimentaria. En las áreas de bosque de la unidad geomorfológica volcánica el valor de la lámina de agua disponible (LAD), es ligeramente mayor, de 236,0 mm. De junio a noviembre, las abundantes lluvias sobrepasan la evapotranspiración potencial mensual permitiendo que la humedad del suelo disponible (HSD) sea igual al valor de la LAD. Durante estos meses de época lluviosa, se generan excesos que permiten la percolación del agua hacia las capas profundas del suelo. Los excesos de humedad hacen que en las áreas de bosque de la unidad geomorfológica volcánica la ganancia hídrica anual sea de 1156,67 mm/año (Anexo 12).

De diciembre a abril, las áreas de bosque de la unidad geomorfológica volcánica experimentan déficit de humedad. En estos meses de época seca, las precipitaciones no superan la evapotranspiración mensual generando pérdidas potenciales de humedad (PPA) que se incrementan mes a mes. En diciembre la PPA es de 97,94 mm y para el mes de abril es de 540,76 mm. Como consecuencia de la disminución de las precipitaciones, la humedad en el suelo disponible (HSD) disminuye mes a mes lo que induce al marchitamiento de la vegetación. En diciembre, la HSD es de 154,56 y las plantas utilizan 81,44 mm. Para el mes de abril la HSD disminuye a 22,80 mm y las plantas apenas utilizan 6,58 mm. En total, el déficit hídrico es de 327,56 mm al año, siendo marzo el mes en el que se presenta el mayor déficit hídrico en estas áreas: 117,93 mm (Anexo 12).

Para las áreas cubiertas por pastos de la unidad geomorfológica volcánica el valor de la lámina de agua disponible (LAD) es de 17,7 mm. Durante la época lluviosa, la humedad del suelo disponible (HSD) alcanza el valor de la LAD permitiendo que las áreas de pasto tengan suficiente humedad para su desarrollo. De diciembre a abril, la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, lo que genera déficit de humedad en el suelo. En diciembre, la pérdida potencial acumulada de humedad (PPA) es de 97,94 mm, este valor se incrementa cada mes de la época seca siendo para el mes de abril de 540,76 mm. Durante los meses de la época seca, el agua cedida por el suelo a la vegetación no alcanza la LAD por lo que las plantas se encuentran en proceso de marchitamiento. En diciembre la vegetación utiliza 17,64 mm de humedad y en enero apenas puede utilizar 0,06 mm. De febrero a abril los suelos no almacenan más humedad ocasionando que la vegetación no cuente con agua suficiente hasta el inicio de la época lluviosa en el mes de mayo (Anexo 13).

En total, el déficit hídrico en las áreas de pasto de la unidad geomorfológica volcánica es de 523,06 mm/año siendo marzo el mes en el que se presenta un mayor déficit hídrico, 143,08 mm. La ganancia hídrica en estas áreas se presenta en la época lluviosa, de junio a noviembre. En total, la

ganancia hídrica de estas áreas es de 1352,18 mm/año siendo los meses de septiembre y octubre en los que se presentan los mayores excesos (Anexo 13).

Las áreas cubiertas por café de la unidad geomorfológica volcánica presentan una lámina de agua disponible (LAD) de 47,2 mm. De mayo a noviembre, las lluvias sobrepasan la evapotranspiración potencial mensual permitiendo que la humedad del suelo disponible (HSD) sea igual al valor de la LAD y generando excesos de humedad en el suelo. Estos excesos hacen que en las áreas cubiertas por café de la unidad geomorfológica volcánica la ganancia hídrica anual sea de 1322,68 mm/año (Anexo 14).

De diciembre a abril, los cafetales de la unidad geomorfológica volcánica experimentan déficit de humedad. En estos meses de época seca, las precipitaciones no superan la evapotranspiración mensual generando pérdidas potenciales de humedad (PPA) que se incrementan mes a mes. En diciembre la PPA es de 97,94 mm y para el mes de abril es de 540,76 mm. Como consecuencia de la disminución de las precipitaciones, la humedad en el suelo disponible (HSD) disminuye mes a mes lo que induce al marchitamiento de la vegetación. En diciembre, la HSD es de 5,69 y las plantas utilizan 41,51 mm. Para el mes de abril los suelos no almacenan humedad y las plantas no tienen humedad que utilizar hasta el mes de mayo. En total, el déficit hídrico es de 493,56 mm al año, siendo marzo el mes en el que se presenta el mayor déficit hídrico en estas áreas: 143,05 mm (Anexo 14).

En último caso, las áreas cubiertas por cítricos de la unidad geomorfológica volcánica tienen una lámina de agua disponible de 118,0 mm. Durante los meses de época lluviosa, la humedad disponible en el suelo (HSD) alcanza el valor de la LAD por lo que hay humedad suficiente para el buen desarrollo de los cultivos. Durante la época seca, la precipitación disminuye y los aportes de humedad en el suelo también. En diciembre la pérdida potencial acumulada de humedad (PPA) es de 97,94 mm, la cual continúa disminuyendo hasta abril cuando alcanza un valor de 540,76 mm. Debido al déficit de humedad, en diciembre, los suelos almacenan 50,61 mm y las plantas utilizan 67,39 mm de los excesos producidos en el mes de noviembre. Para el mes de abril, la humedad en el suelo es poca, siendo de 1,10 mm y las plantas utilizan apenas un 0,73 mm (Anexo 15).

Respecto al déficit y la ganancia hídrica, en las áreas cubiertas por cítricos de la unidad geomorfológica volcánica se presenta un déficit anual de 423,86 mm y una ganancia hídrica de 1252,98 mm. Los meses en los que se experimenta un mayor déficit hídrico corresponden a febrero y marzo. En febrero el déficit de humedad es de 108,07 mm y en marzo de 138,61 mm. En el caso de la ganancia hídrica, los meses en los que se presentan las mayores ganancias son septiembre y octubre, 275,52 mm y 321,54 mm, respectivamente (Anexo 15).

5.5.2. Comportamiento hídrico en la Zona Climática II

La Zona Climática II cubre la parte alta de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas. Esta zona comprende áreas de bosque, pasto, café y cítricos de la unidad geomorfológica volcánica. Específicamente, las áreas de cítricos dentro de esta zona climática solo se encuentran en las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas (Tabla 8).

Las áreas de bosque de la Zona Climática II presentan una lámina de agua disponible (LAD) de 236,0 mm. De mayo a noviembre la precipitación sobrepasa la evapotranspiración potencial lo que genera que la humedad disponible en el suelo (HSD) sea igual al valor de la LAD. Durante estos meses no se presenta una pérdida potencial acumulada de la humedad (PPA), sin embargo, solo se generan excesos de humedad desde el mes de junio hasta el mes de noviembre, debido a que en el mes de mayo los suelos ceden la humedad a la vegetación y no se genera un excedente hídrico que produzca una ganancia de humedad. En total, la ganancia hídrica de estas áreas es de 1491,40 mm/año siendo septiembre y octubre los meses de mayor ganancia (Anexo 16).

Desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, la precipitación mensual no supera la evapotranspiración potencial, por lo que se presentan déficit de humedad en el suelo. Al inicio de la época seca, la pérdida potencial acumulada de humedad (PPA) es de 86,28 mm en el mes de diciembre. La PPA aumenta mes a mes hasta que en el mes de abril alcanza un valor de 538,59 mm. Debido a la falta de humedad en el suelo, los bosques de la Zona Climática II se encuentran en proceso de marchitamiento durante toda la época seca. En el mes de diciembre, el suelo almacena 162,54 mm de humedad y la vegetación utiliza 73,46 mm. Finalizando la época seca, en el mes de abril, la humedad del suelo disponible (HSD) disminuye hasta los 23,02 mm y la vegetación apenas puede utilizar 9,14 mm. En total, el déficit hídrico en estas áreas es de 325,60 mm/año siendo febrero y marzo los meses de mayor déficit mensual (Anexo 16).

En las áreas cubiertas por pasto, la lámina de agua disponible (LAD) es de 17,7 mm. Desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre, la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial lo que permite buenas condiciones de humedad para el desarrollo de la vegetación. Durante estos meses de época lluviosa, no se experimenta pérdida potencial acumulada (PPA) de la humedad y los suelos almacenan 17,7 mm. Las abundantes lluvias durante este período generan excesos de humedad que permiten la percolación hacia las capas profundas del suelo. Anualmente, en estas áreas se experimenta una ganancia hídrica de 1686,69 mm, siendo octubre el mes en el que se presenta el mayor exceso hídrico, 380,67 mm (Anexo 17).

En los meses de época seca, de diciembre a abril, la humedad del suelo disponible disminuye mes a mes ocasionado el marchitamiento de la vegetación. De enero a abril, los suelos no almacenan más humedad. En enero la vegetación apenas utiliza 0,12 mm. A partir de febrero las áreas de pasto no pueden seguir utilizando la humedad del suelo. Como consecuencia de la falta de precipitaciones, de enero a marzo se presentan los mayores déficits de humedad en estas áreas: en enero el déficit es de 117,80 mm, en febrero de 116,34 y en marzo de 140,67 mm. Anualmente, las áreas de pasto de la Zona Climática II experimentan un déficit hídrico de 520,89 mm (Anexo 17).

Respecto a las áreas cubiertas por café de la Zona Climática II, la lámina de agua disponible (LAD) es de 47,2 mm. De diciembre a abril, la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial lo que genera déficit de humedad en el suelo durante estos meses. La falta de precipitaciones ocasiona que desde el mes de diciembre exista una pérdida potencial de la humedad (PPA) de 86,28 mm, la cual aumenta mes a mes, siendo para el mes de abril de 538,59 mm. Durante la época seca, los suelos almacenan menos humedad de la requerida por la vegetación para su desarrollo. Al inicio de la época seca, en diciembre, los suelos almacenan 7,31 mm y la vegetación utiliza 39,89 mm de los excesos de humedad acumulados en el mes de noviembre. A partir del mes de marzo, los suelos no almacenan humedad hasta que, en el mes de mayo, con el inicio de la época lluviosa, las precipitaciones permiten condiciones de humedad favorables para el desarrollo de las plantas (Anexo 18).

En las áreas cubiertas por café, el déficit hídrico anual es de 491,39 mm. Los meses de mayor déficit son febrero y marzo, de 115,81 mm y 140,63 mm, respectivamente. La ganancia hídrica se presenta en los meses de la época lluviosa, de mayo a noviembre. La ganancia total es de 1657,19 mm al año, siendo octubre el mes en el que se presenta la mayor ganancia hídrica de 380,67 mm (Anexo 18).

Como último caso, se encuentran las áreas cubiertas por cítricos. En estas áreas, la lámina de agua disponible (LAD) es de 118,0 mm. De mayo a noviembre, las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial permitiendo buenas condiciones de humedad para el desarrollo de la vegetación. En estos meses, las áreas de cítricos no experimentan pérdida potencial acumulada (PPA) de la humedad y los suelos almacenan el valor de la LAD. Además, en este período se presentan excesos que favorecen la percolación hacia las capas profundas del suelo. La ganancia hídrica anual es de 1587,51 mm siendo octubre el mes en el que se presenta la mayor ganancia hídrica, de 380,67 mm (Anexo 19).

De diciembre a abril, la humedad del suelo disponible en las áreas cubiertas por cítricos disminuye mes a mes ocasionado el marchitamiento de la vegetación. En diciembre, inicio de la época seca, el suelo almacena una humedad de 55,97 mm y la vegetación utiliza 62,03 mm de los excesos

ocurridos en el mes de noviembre. En enero, la humedad del suelo disponible (HSD) disminuye a 20,20 mm siendo para el mes de abril de 1,12 mm, mes en el que la vegetación apenas puede utilizar 1,07 mm de la humedad disponible en el suelo. Anualmente, el déficit hídrico es de 1587,51 mm, siendo febrero y marzo los meses de mayor déficit hídrico en las áreas cubiertas por cítricos: en el mes de febrero el déficit hídrico es de 103,53 mm y en el mes de marzo de 135,48 mm (Anexo 19).

5.6. Distribución espacial del déficit y la ganancia hídrica anual

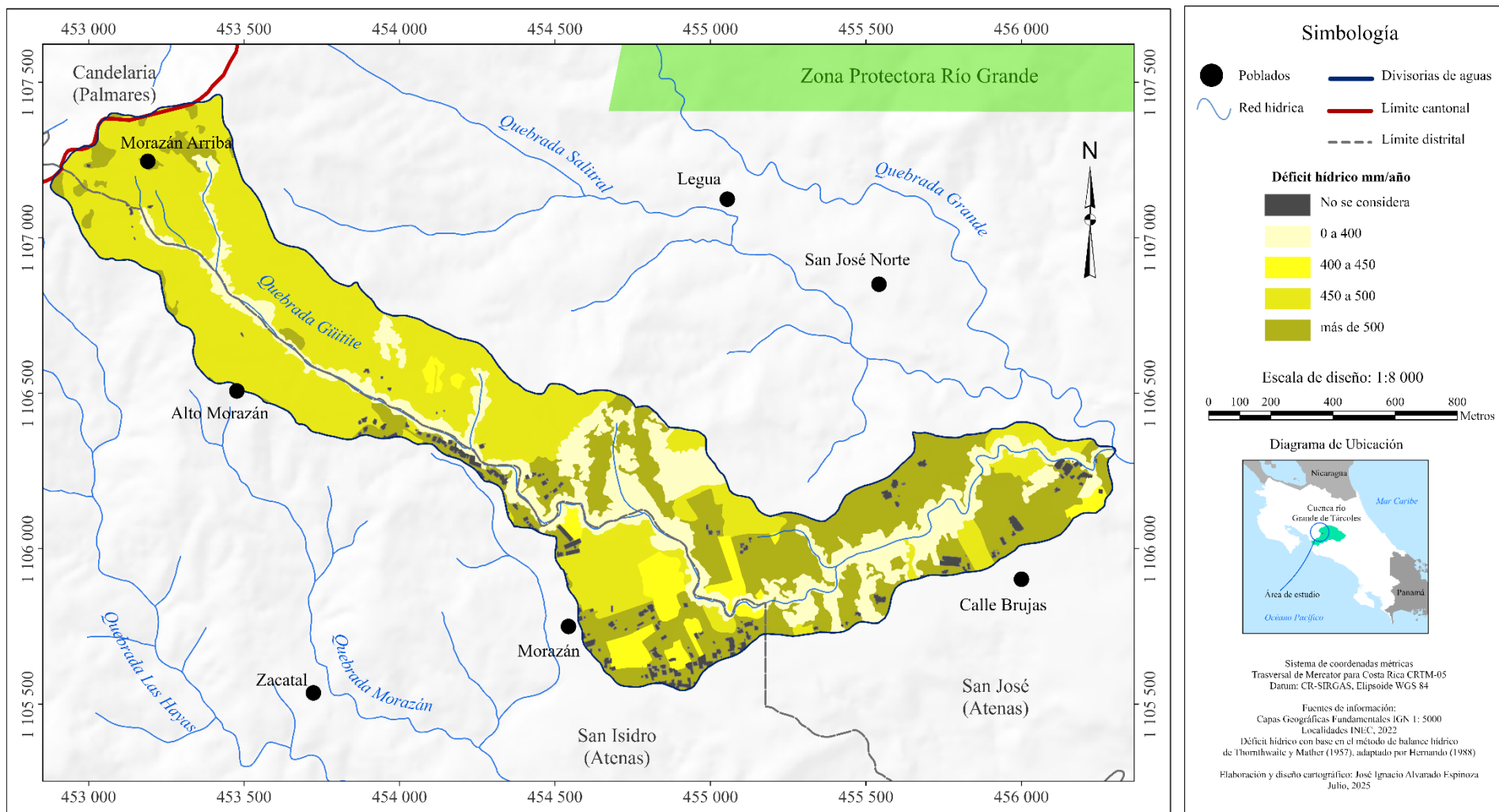
5.6.1. Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite

En la subcuenca de la quebrada Güitite el déficit total es de 5320,4 mm al año. Las áreas que presentan el menor déficit anual corresponden a áreas cubiertas por bosque, ubicadas a lo largo de la quebrada Güitite y algunos arroyos de la subcuenca (Mapa 11). Estas áreas cubren un 21% de la subcuenca (0,36 km²) y presentan un déficit hídrico entre los 0 mm y los 400 mm al año. Las áreas cubiertas por cítricos presentan un déficit hídrico entre los 400 mm y los 450 mm al año, las cuales comprenden un 5% de la subcuenca (0,08 km²) (Anexo 20).

Las áreas cubiertas por café tienen un déficit hídrico anual mayor que las áreas cubiertas por cítricos, el cual se sitúa entre los 450 mm y los 500 mm al año. Estas áreas comprenden el 46% de la subcuenca (0,79 km²) y se concentran en la parte media y alta de la subcuenca. Como último caso, las áreas cubiertas por pasto muestran los mayores déficit de humedad al año, más de los 500 mm. Las áreas de pasto se concentran en la parte media y baja de la subcuenca abarcando un 27% del área de la subcuenca (0,46 km²) (Anexo 20).

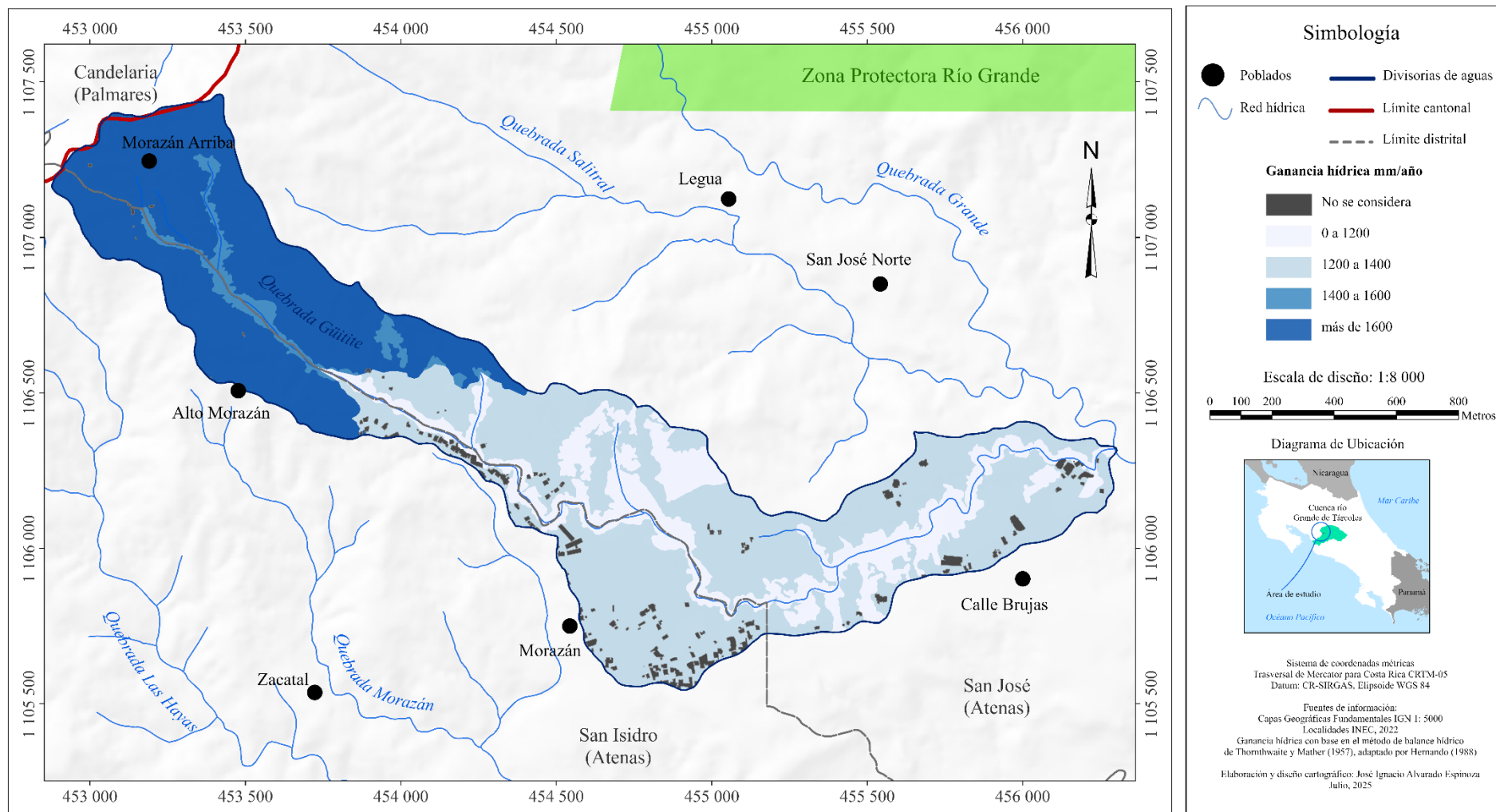
Respecto a la ganancia hídrica, en la subcuenca de la quebrada Güitite la ganancia hídrica anual es de 16 616,5 mm al año. La menor ganancia hídrica se presenta en áreas de bosque de la Zona Climática I, las cuales abarcan un 18% del área de la cuenca (0,31 km²) y tienen una ganancia hídrica entre los 0 mm y los 1200 mm al año (Mapa 12). Las áreas cubiertas por pasto, cítricos y café de la Zona Climática I presentan una ganancia hídrica anual entre los 1200 mm y los 1400 mm al año, cubriendo un 45% de la subcuenca (0,77 km²). Las mayores ganancias se presentan en la parte alta de la subcuenca en áreas de bosque, pasto café y cítricos de la Zona Climática II. Los bosques de la Zona Climática II comprenden un 3% de la subcuenca (0,05 km²) y presentan una ganancia hídrica entre los 1400 mm y los 1600 mm al año. Por su parte, las áreas cubiertas por pastos, cítricos y cafetales tienen las mayores ganancias, más de los 1600 mm al año, las cuales cubren un 32% del área de la subcuenca (0,55 km²) (Anexo 21).

Mapa 11: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Güitite



Fuente: elaboración propia.

Mapa 12: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite



Fuente: elaboración propia.

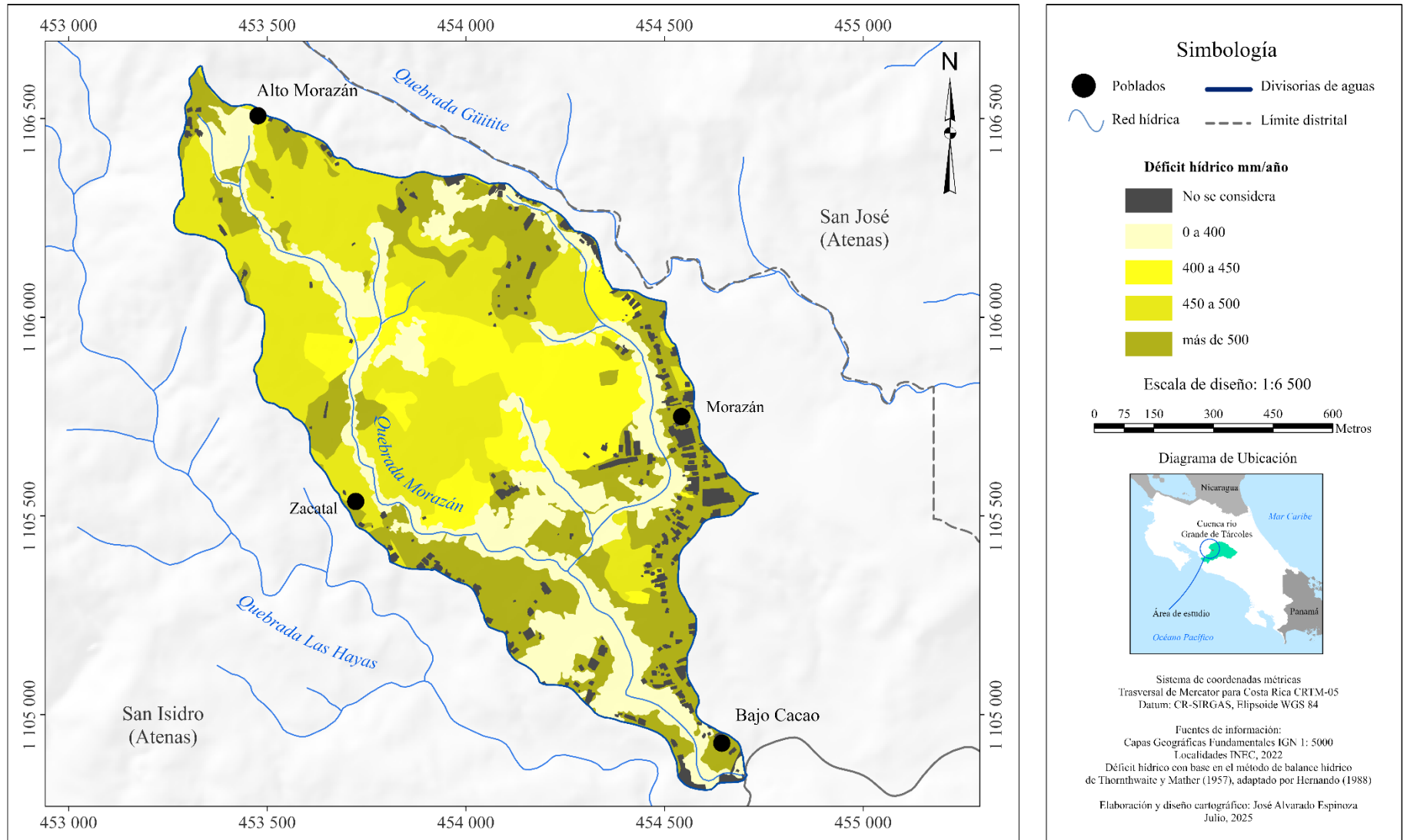
5.6.2. Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán

El déficit hídrico total en la subcuenca de la quebrada Morazán es de 4898,7 mm por año. Las áreas cubiertas por bosque presentan los menores déficit de humedad, las cuales cubren un 24% de la subcuenca (0,29 km²) (Mapa 13). En estas áreas el déficit es de 0 mm a 400 mm por año. Las áreas cubiertas por cítricos presentan déficit mayores que las áreas cubiertas por bosques. Las áreas cubiertas por cítricos comprenden un 15% del área de la cuenca (0,18 km²) y presentan déficit de 400 mm a 450 mm al año. En el caso de las áreas cubiertas por café, representan un 30% de la subcuenca (0,37 km²) y presentan déficit entre los 450 mm y los 500 mm al año. Los mayores déficit se presentan en áreas cubiertas por pastos, las cuales cubren el 26% de la subcuenca (0,32 km²) y en donde el déficit supera los 500 mm al año (Anexo 20).

En la subcuenca de la quebrada Morazán la ganancia hídrica total es de 15 029,0 mm al año. La menor ganancia hídrica se presenta en áreas de bosque de la Zona Climática I, las cuales cubren un 21% de la subcuenca (0,26 km²) y donde la ganancia hídrica es de 0 mm a 1200 mm al año (Mapa 14). En las áreas cubiertas por pasto, café y cítricos de la Zona Climática I, la ganancia hídrica es de 1200 mm a 1400 m al año, las cuales, en conjunto cubren el 57% de la subcuenca (0,69 km²) (Anexo 21).

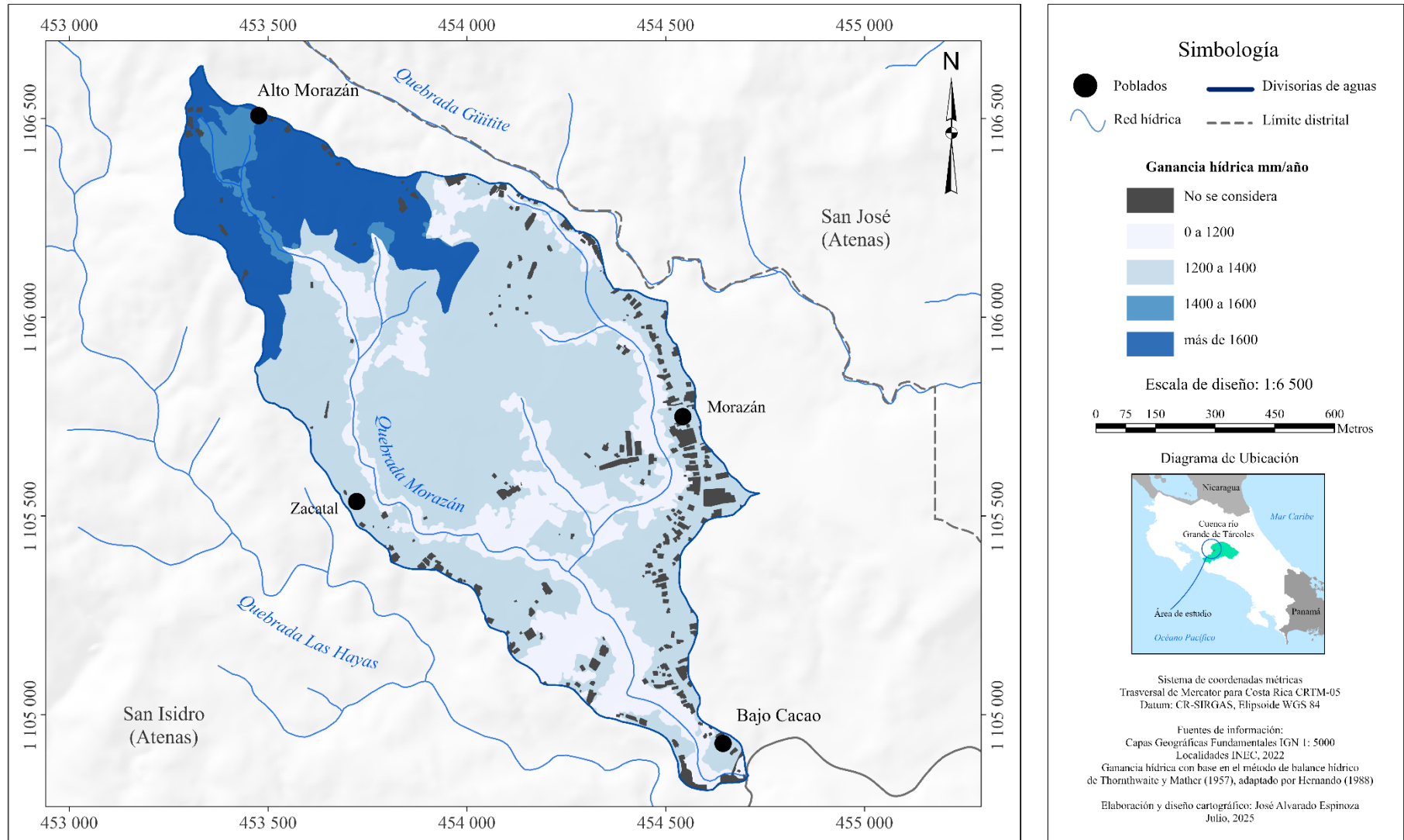
Al igual que en la subcuenca de la quebrada Güitite, en la subcuenca de la quebrada Morazán las mayores ganancias se presentan en la parte alta de la subcuenca, en áreas pertenecientes a la Zona Climática II. Los bosques de la Zona Climática II abarcan el 2% (0,03 km²) de la subcuenca y presentan ganancias entre los 1400 y 1600 mm al año. Por su parte, las áreas de pasto y cultivos de cítricos y café comprenden el 15% (0,18 km²) de la subcuenca, donde la ganancia hídrica supera los 1600 mm al año.

Mapa 13: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

Mapa 14: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

5.6.3. Déficit y ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas

El déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas es de 5320,4 mm al año. Las áreas con menor déficit hídrico anual corresponden a los bosques distribuidos a lo largo de la quebrada Las Hayas y algunos arroyos de la subcuenca (Mapa 15). Estas áreas comprenden el 20% del territorio de la subcuenca (0,34 km²) y presentan un déficit hídrico anual entre los 0 mm y los 400 mm (Anexo 20).

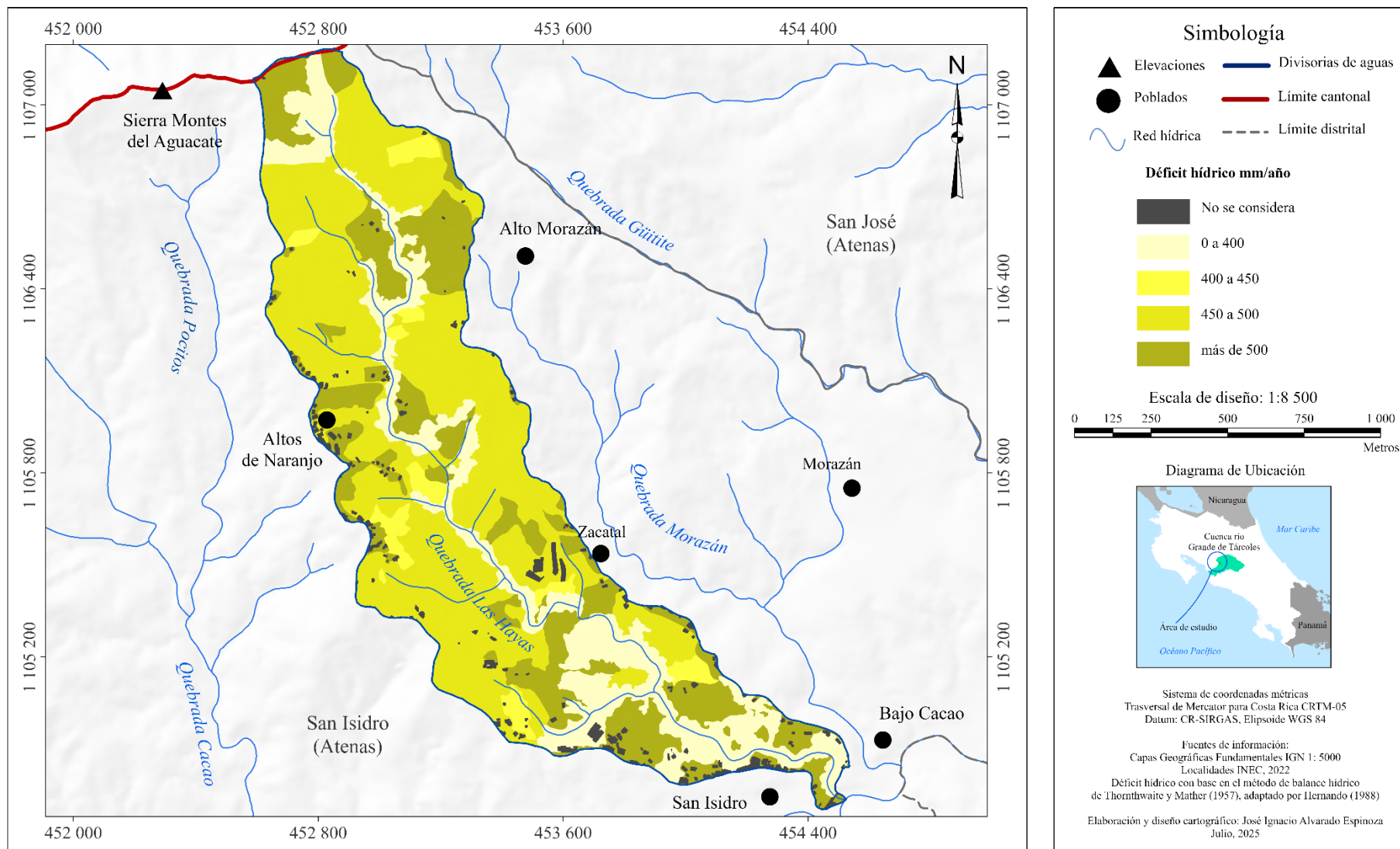
Las áreas cubiertas por cítricos tienen un déficit hídrico entre los 400 mm y los 450 mm y abarcan el 4% de la subcuenca (0,07 km²). Las áreas que comprenden déficit hídricos entre los 450 mm y los 500 mm corresponden a áreas cubiertas por café, las cuales cubren el 49% del territorio de la subcuenca (0,81 km²). En último caso, los mayores valores del déficit hídrico se presentan en áreas de pasto, donde el déficit hídrico anual supera los 500 mm, cubriendo el 24% de la subcuenca (0,4 km²) (Anexo 20).

Respecto a la ganancia hídrica, en la subcuenca de la quebrada Las Hayas se presenta una ganancia total de 5320,4 mm al año. Las áreas con menor ganancia hídrica son las áreas de bosque de la Zona Climática I las cuales abarcan el 15% del área de la cuenca (0,25 km²) y donde la ganancia hídrica es de 0 mm a los 1200 mm por año (Mapa 16 y Anexo 21).

Las áreas cubiertas por pasto, cítricos y café de la Zona Climática I tienen ganancia hídrica entre los 1200 mm y los 1400 mm al año, las cuales abarcan el 42% del territorio de la cuenca (0,69 km²). Al igual que en las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, la mayor ganancia hídrica se presenta en áreas de la Zona Climática II (Anexo 21).

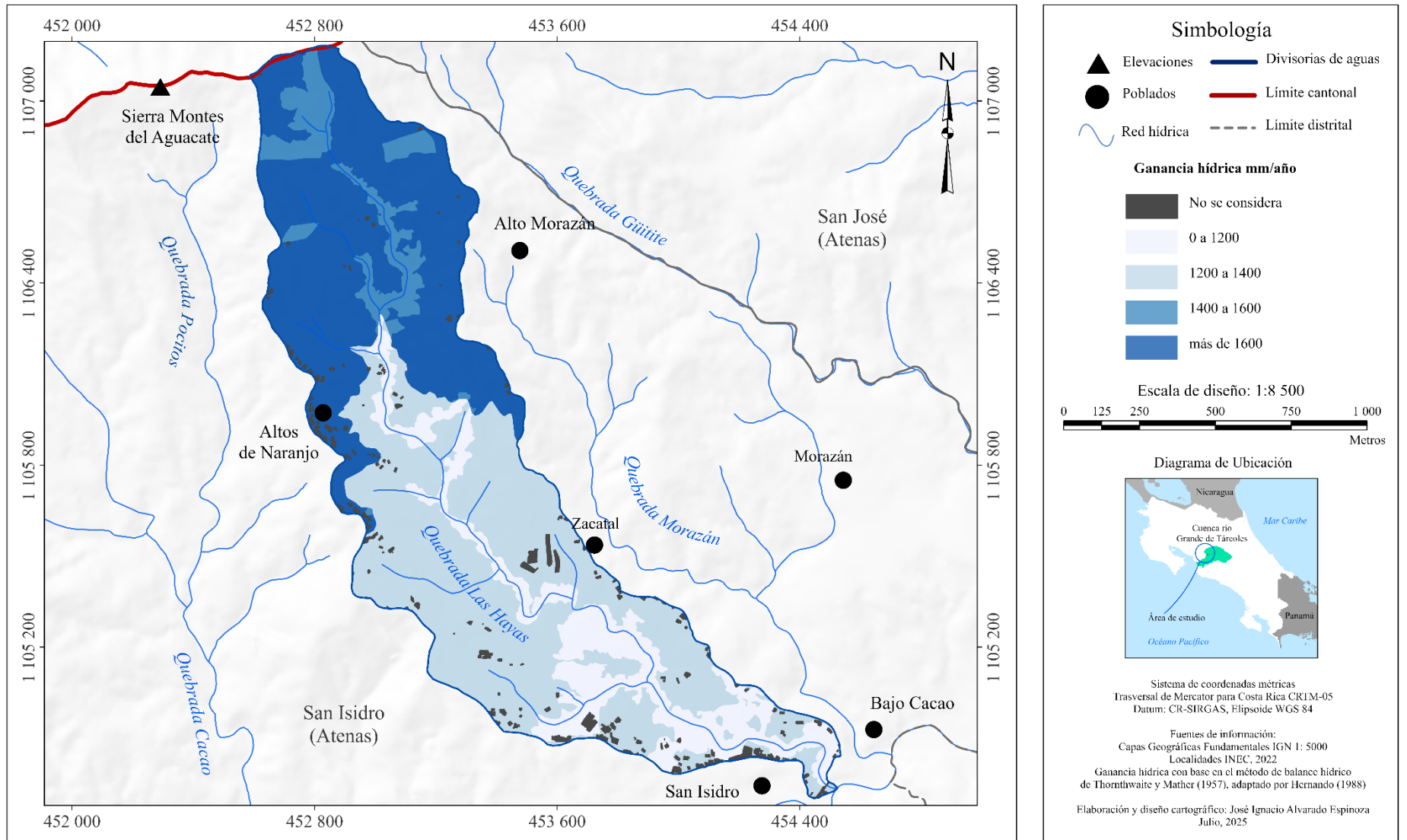
Los bosques de la Zona Climática II comprenden un 7% de la subcuenca (0,11 km²) y presentan una ganancia hídrica entre los 1400 mm y los 1600 mm al año. Por su parte, áreas de pastos, cítricos y cafetales tienen ganancias que superan los 1600 mm al año, las cuales cubren el 34% de la subcuenca (0,57 km²) (Anexo 21).

Mapa 15: Déficit hídrico anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: elaboración propia

Mapa 16: Ganancia hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: elaboración propia.

5.7. Oferta y demanda hídrica anual

5.7.1. Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite

En la subcuenca de la quebrada Güitite la oferta hídrica total es de 9863,3 mm al año y la demanda total es de 2320,2 mm al año. La mayor parte de la subcuenca presenta tanto una baja oferta hídrica y como una baja demanda hídrica (Mapas 17 y 18). Ambas categorías cubren un 72% del territorio de la subcuenca (1,25 km²). Dentro de estas categorías se encuentran pastizales y cafetales que corresponden a las áreas donde menos se produce y demanda humedad al año (Anexos 22 y 23).

Las categorías de media oferta hídrica y media demanda hídrica abarcan un 5% del territorio de la subcuenca (0,09 km²), ubicándose especialmente en la parte baja. Estas categorías la comprenden terrenos destinados al cultivo de cítricos, los cuales figuran como áreas con un comportamiento medio en cuanto a producción y demanda de humedad al año de agua al año (Anexos 22 y 23).

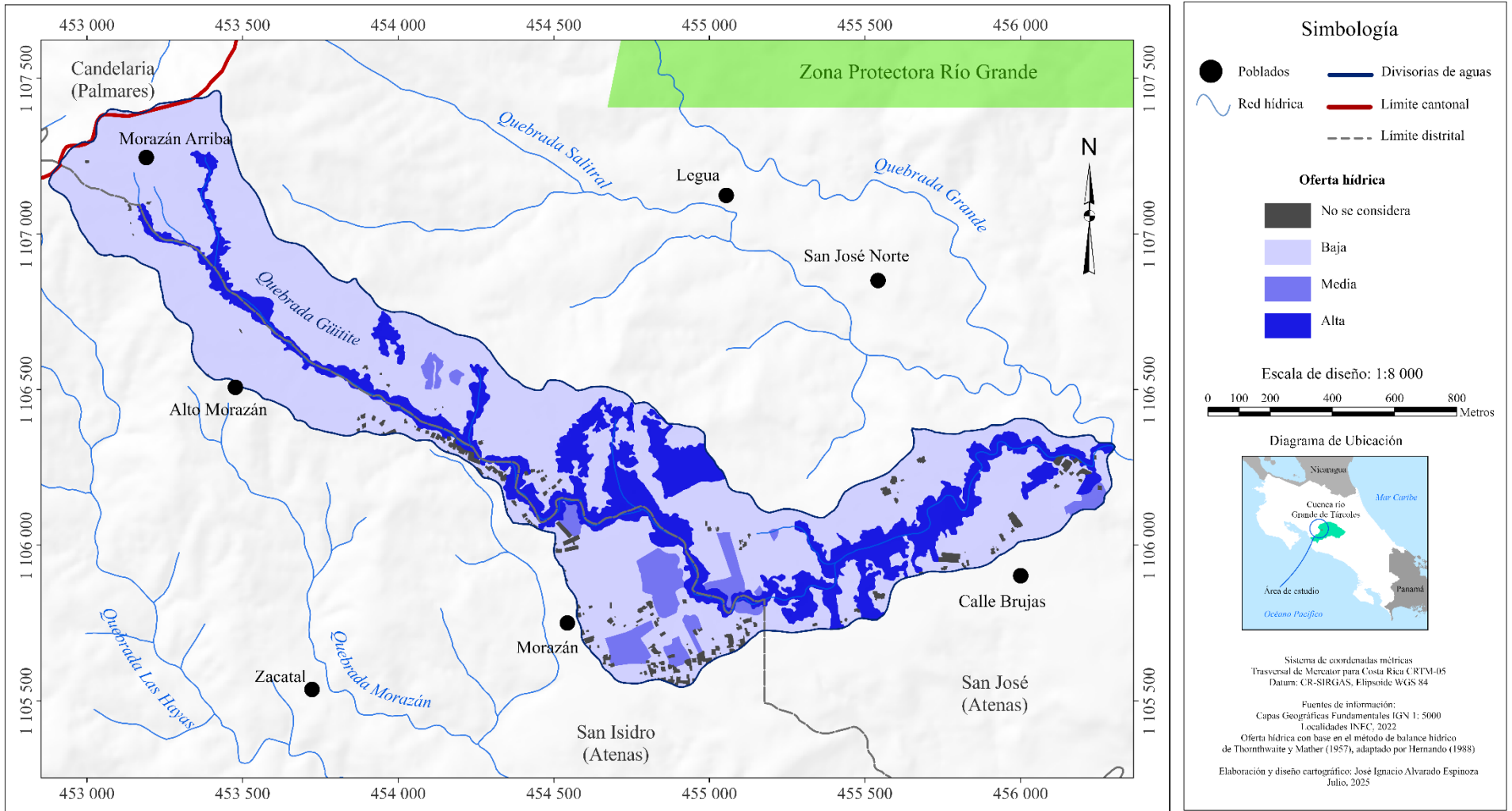
En último caso, se encuentran las categorías de alta oferta hídrica y alta demanda hídrica, ambas comprenden un 21% de la subcuenca (0,36 km²). En esta categoría se encuentran los bosques riparios encontrados a lo largo de la quebrada Güitite y algunos arroyos de la subcuenca, las cuales corresponden a las áreas en las que se presenta la mayor producción y demanda de humedad al año (Anexos 22 y 23).

5.7.2. Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán

Para la subcuenca de la quebrada Morazán, el valor total de la oferta hídrica anual es de 8950,5 mm al año y el de la demanda de 2086,4 mm por año. La mayor parte de la subcuenca, correspondiente a un 56% del territorio (0,68 km²), se encuentra en las categorías de baja oferta hídrica y baja demanda hídrica (Anexos 22 y 23). En estas categorías se encuentran áreas de pasto y el café, las cuales presentan la menor producción y demanda de humedad en la subcuenca (Mapas 19 y 20).

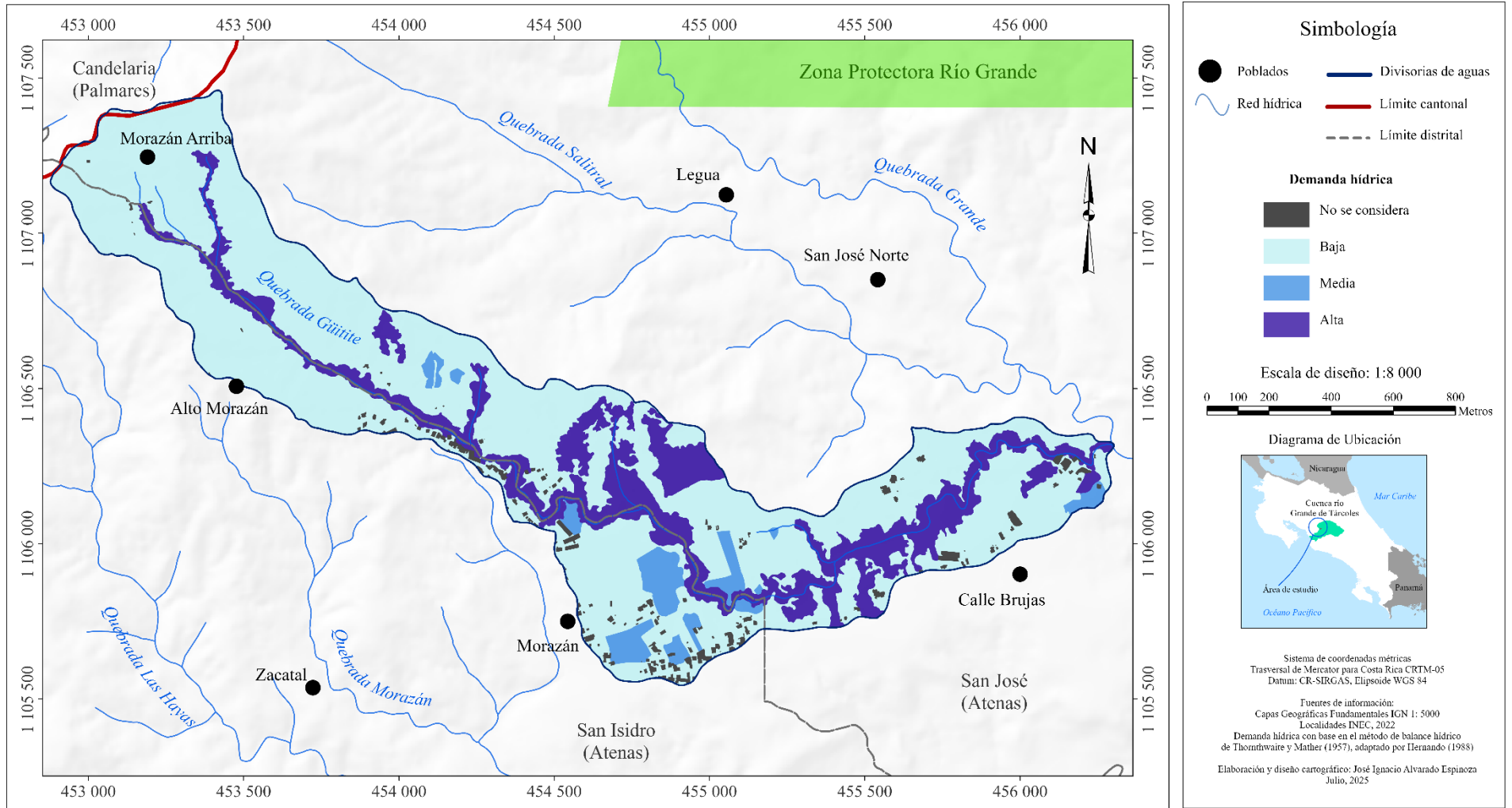
Las categorías de media oferta hídrica y media demanda hídrica cubren el 15% del área de la subcuenca (0,18 km²). Dentro de estas categorías se encuentran áreas destinadas al cultivo de cítricos, las cuales ofertan y demandan una mayor cantidad de humedad del suelo que las áreas de pasto y cafetales. Tanto la categoría de alta oferta hídrica como de alta demanda hídrica abarcan el 24% del territorio de la subcuenca (0,29 km²). En estas categorías se encuentran áreas cubiertas por bosque para las cuales el suelo ofrece una mayor cantidad de humedad al año y en las que la vegetación demanda una mayor humedad anual (Anexos 22 y 23).

Mapa 17: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitiite



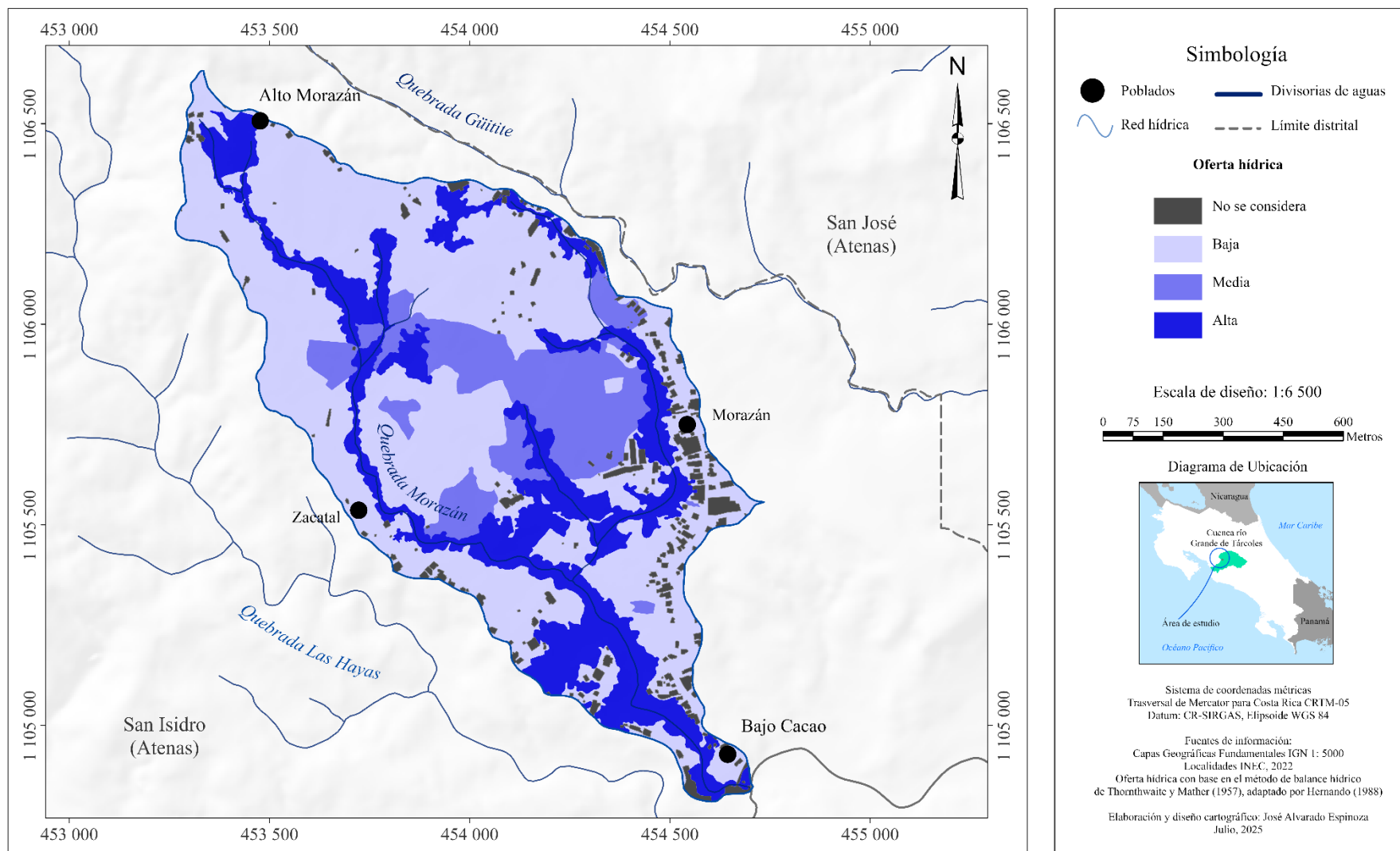
Fuente: elaboración propia.

Mapa 18: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite



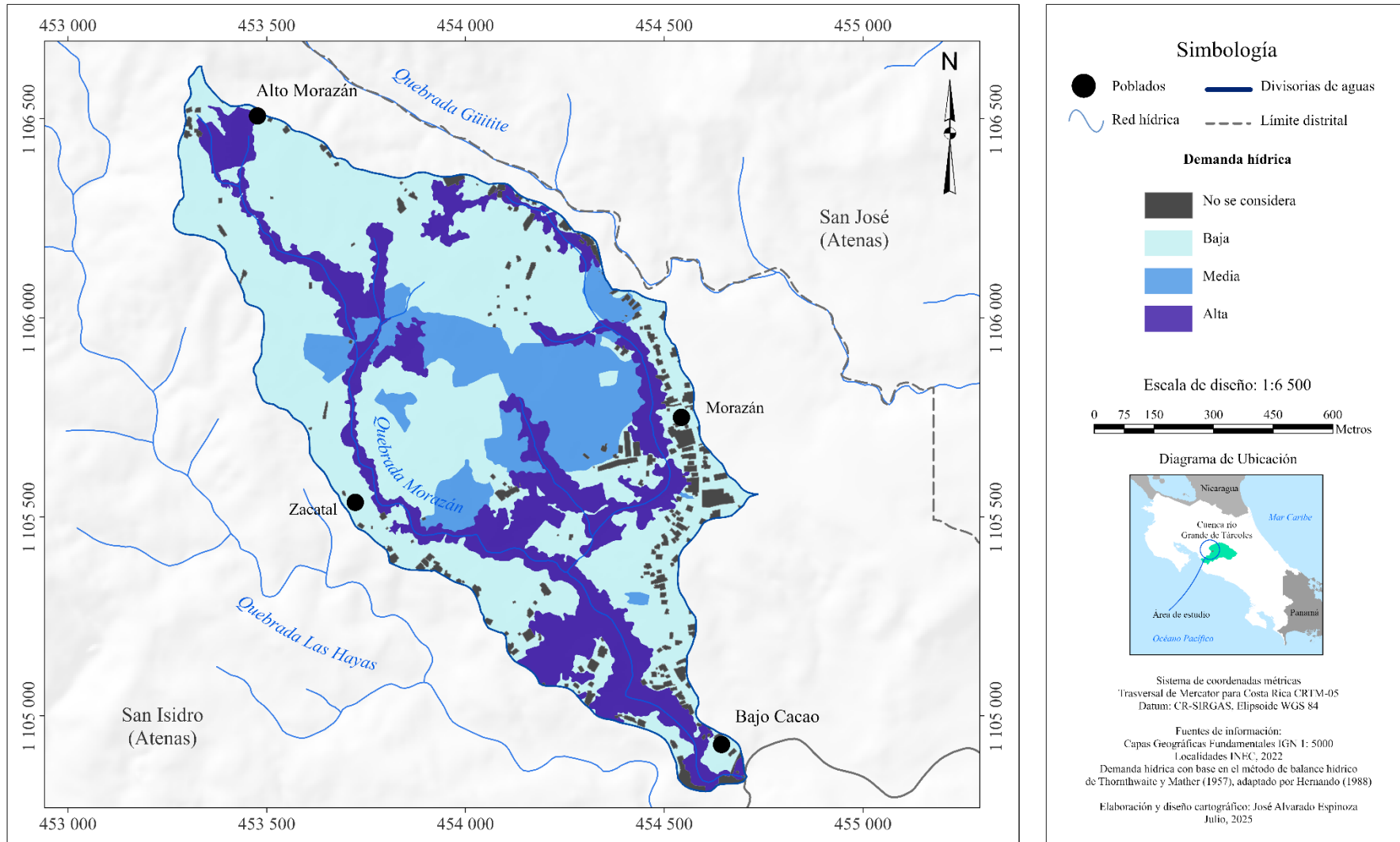
Fuente: elaboración propia.

Mapa 19: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

Mapa 20: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

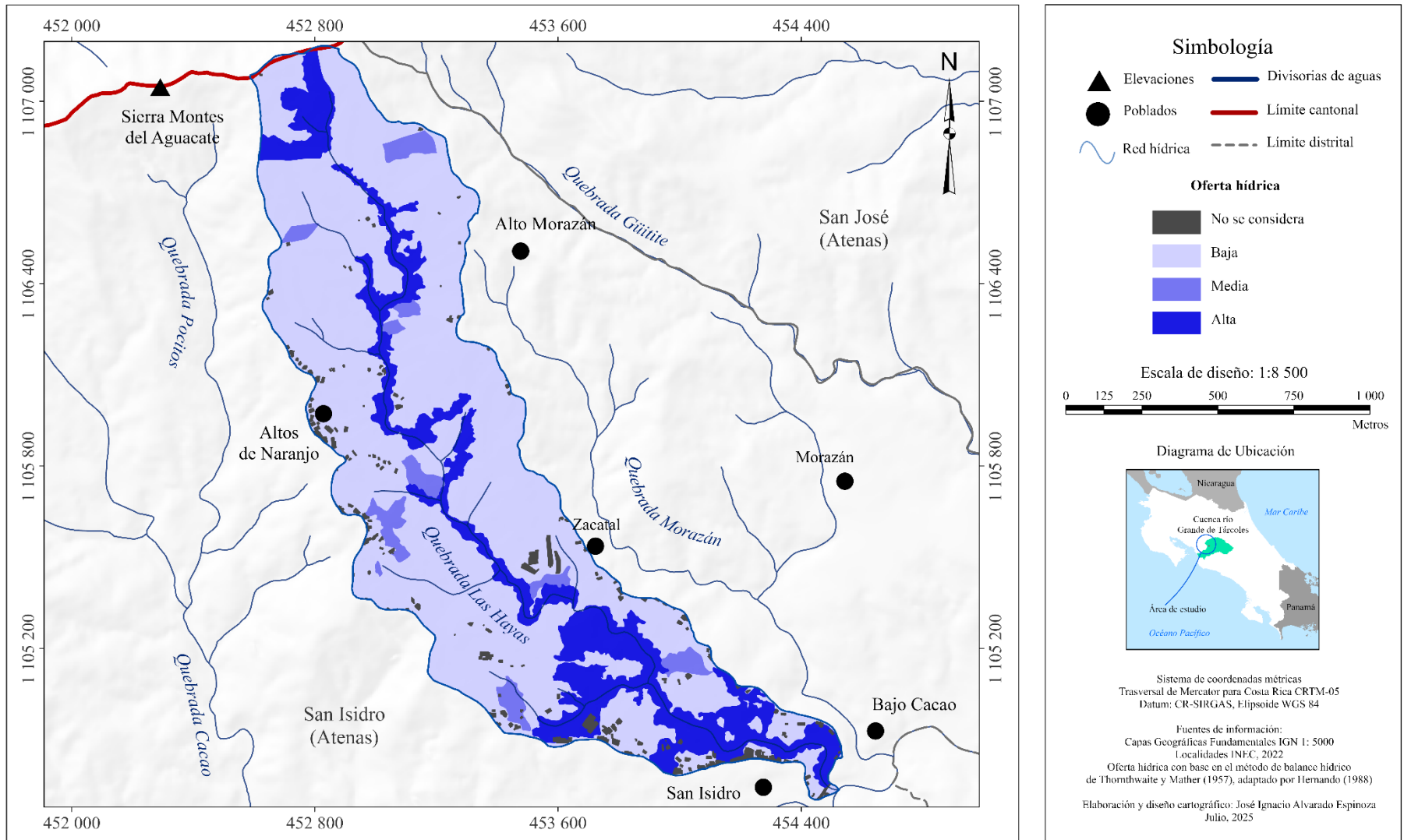
5.7.3. Oferta y demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas

Similar al comportamiento en la subcuenca de la quebrada Güitite, en la subcuenca de la quebrada Las Hayas la oferta hídrica total es de 9863,3 mm al año y la demanda hídrica total de 2320,2 mm al año. Un 73% del territorio de la subcuenca (1,21 km²) se encuentra en las categorías tanto de baja oferta hídrica y como de baja demanda hídrica (Anexos 22 y 23). Las áreas que se encuentran dentro de estas categorías son áreas de pasto y café, las cuales corresponden a las áreas de menor oferta y demanda hídrica al año (Mapas 21 y 22).

Al igual que el comportamiento descrito para las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, las áreas cubiertas por cítricos se catalogan dentro de las categorías de media oferta hídrica y media demanda hídrica. Ambas categorías abarcan el 4% de la subcuenca (0,07 km²) siendo las categorías con menor presencia en el territorio de la subcuenca de la quebrada Las Hayas (Anexos 22 y 23).

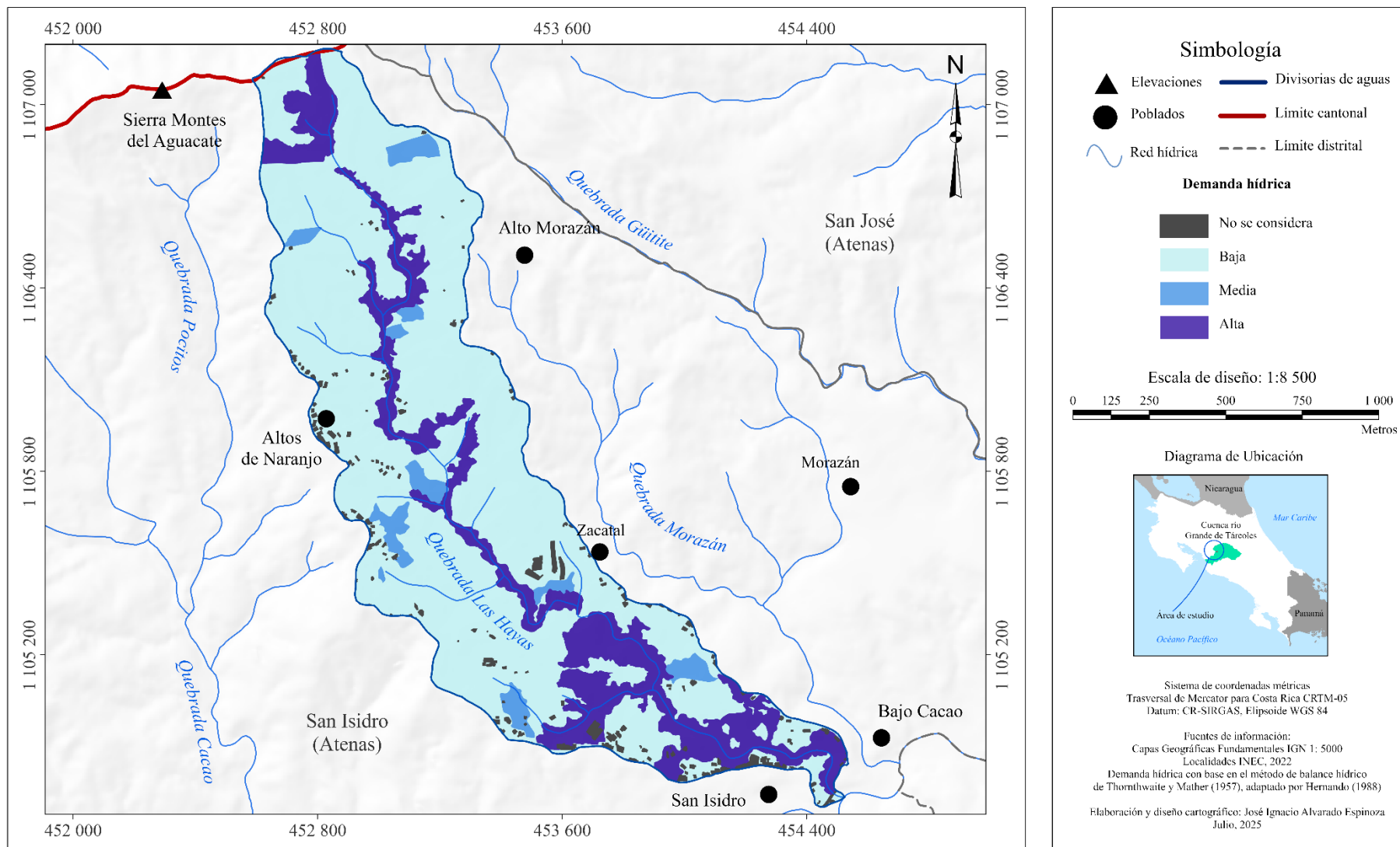
En último caso, las áreas de bosque corresponden a las áreas catalogadas con la mayor oferta y demanda hídrica anual. En la subcuenca de la quebrada Las Hayas, ambas categorías comprenden el 20% del área de la subcuenca (0,34 km²). Esto quiere decir que las áreas de bosque corresponden a las áreas de mayor producción y demanda de humedad al año (Anexos 22 y 23).

Mapa 21: Oferta hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: elaboración propia.

Mapa 22: Demanda hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: elaboración propia.

5.8. Disponibilidad hídrica anual

De acuerdo con los resultados obtenidos del cálculo del Índice de escasez (Ie), las 12 áreas para las cuales se calculó el balance hídrico se encuentran en una categoría media de escasez hídrica, siendo las áreas de bosque las que presentan la menor escasez y las áreas de pasto la mayor (Tabla 9).

Tabla 9: Resultados del Índice de escasez (Ie) y disponibilidad hídrica según zona climática, unidad geomorfológica y uso del suelo

Zona Climática	Unidad geomorfológica	Uso del suelo	Ie %	Categoría Ie	Disponibilidad hídrica
I	Sedimentaria	Bosque	22%	Medio	Moderada
I	Sedimentaria	Pasto	29%	Medio	Moderada
I	Sedimentaria	Café	28%	Medio	Moderada
I	Sedimentaria	Cítricos	26%	Medio	Moderada
I	Volcánica	Bosque	21%	Medio	Moderada
I	Volcánica	Pasto	29%	Medio	Moderada
I	Volcánica	Café	28%	Medio	Moderada
I	Volcánica	Cítricos	26%	Medio	Moderada
II	Volcánica	Bosque	21%	Medio	Moderada
II	Volcánica	Pasto	29%	Medio	Moderada
II	Volcánica	Café	28%	Medio	Moderada
II	Volcánica	Cítricos	26%	Medio	Moderada

Fuente: elaboración propia con base en IDEAM (2004) y Hernando, Ruíz y Solís (2012).

En las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas entre el 21% y el 29% de la oferta hídrica es utilizada por la vegetación (Tabla 9). De lo anterior, se obtiene que en las tres subcuencas la disponibilidad hídrica es moderada. Esto quiere decir que debe de existir un ordenamiento de la oferta y la demanda (IDEAM, 2004), a través del cual se propicie un adecuado manejo y planificación del aprovechamiento del recurso hídrico.

5.8.1. Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite

En la subcuenca de la quebrada Güitite, el 72% del territorio (1,25 km²) se encuentra en la categoría de moderada baja disponibilidad hídrica (Mapa 23). Esta categoría la comprenden áreas cubiertas por pastos y café las cuales presentan índices de escasez (Ie) entre el 28% y el 29% (Tabla 9). La categoría de moderada media disponibilidad hídrica cubre el 5% de la subcuenca (0,08 km²). En esta

categoría se encuentran áreas destinadas al cultivo de cítricos, las cuales presentan un índice I_e del 26%. Por su parte, la categoría de moderada alta disponibilidad hídrica se presenta en áreas de bosque, las cuales cubren el 21% (0,36 km²) del territorio de la subcuenca y presentan índices de escasez (I_e) entre el 21% y el 22%.

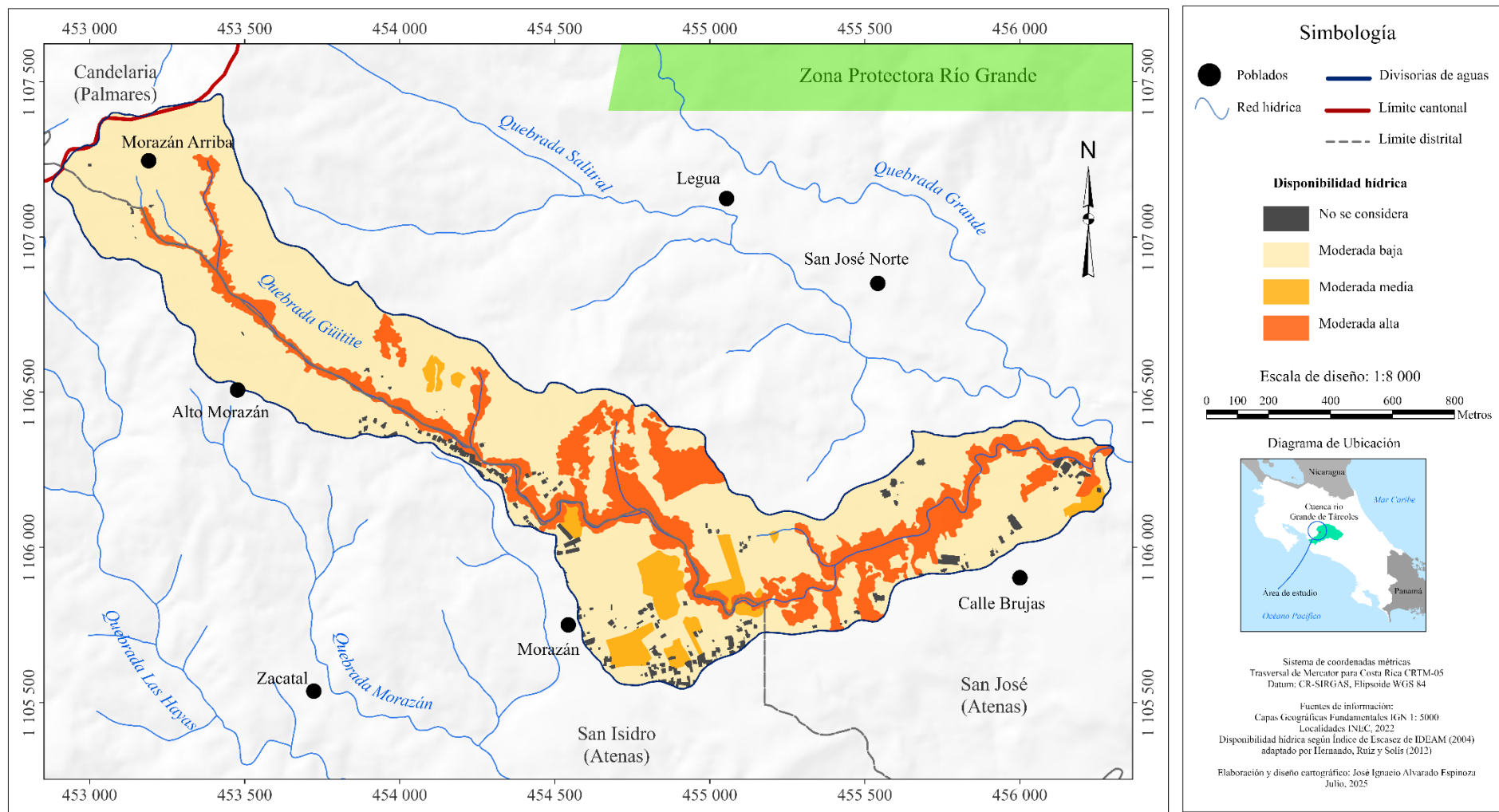
5.8.2. Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán

La categoría de moderada baja disponibilidad hídrica en la subcuenca de la quebrada Morazán abarca el 57% de la subcuenca (0,69 km²) y la comprenden áreas de pasto y café que presentan índices de escasez (I_e) entre el 28% y el 29% (Mapa 24 y Tabla 9). La categoría de moderada media disponibilidad hídrica comprende el 14% del territorio de la subcuenca (0,18 km²), se conforma de áreas destinadas al cultivo de cítricos con un índice (I_e) del 26%. Al igual que en la subcuenca de la quebrada Güitite, en la subcuenca de la quebrada Morazán la categoría de moderada alta disponibilidad hídrica se presenta en áreas de bosque, las cuales comprenden el 24% de la subcuenca y presentan valores del índice (I_e) del 21% al 22%.

5.8.3. Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas

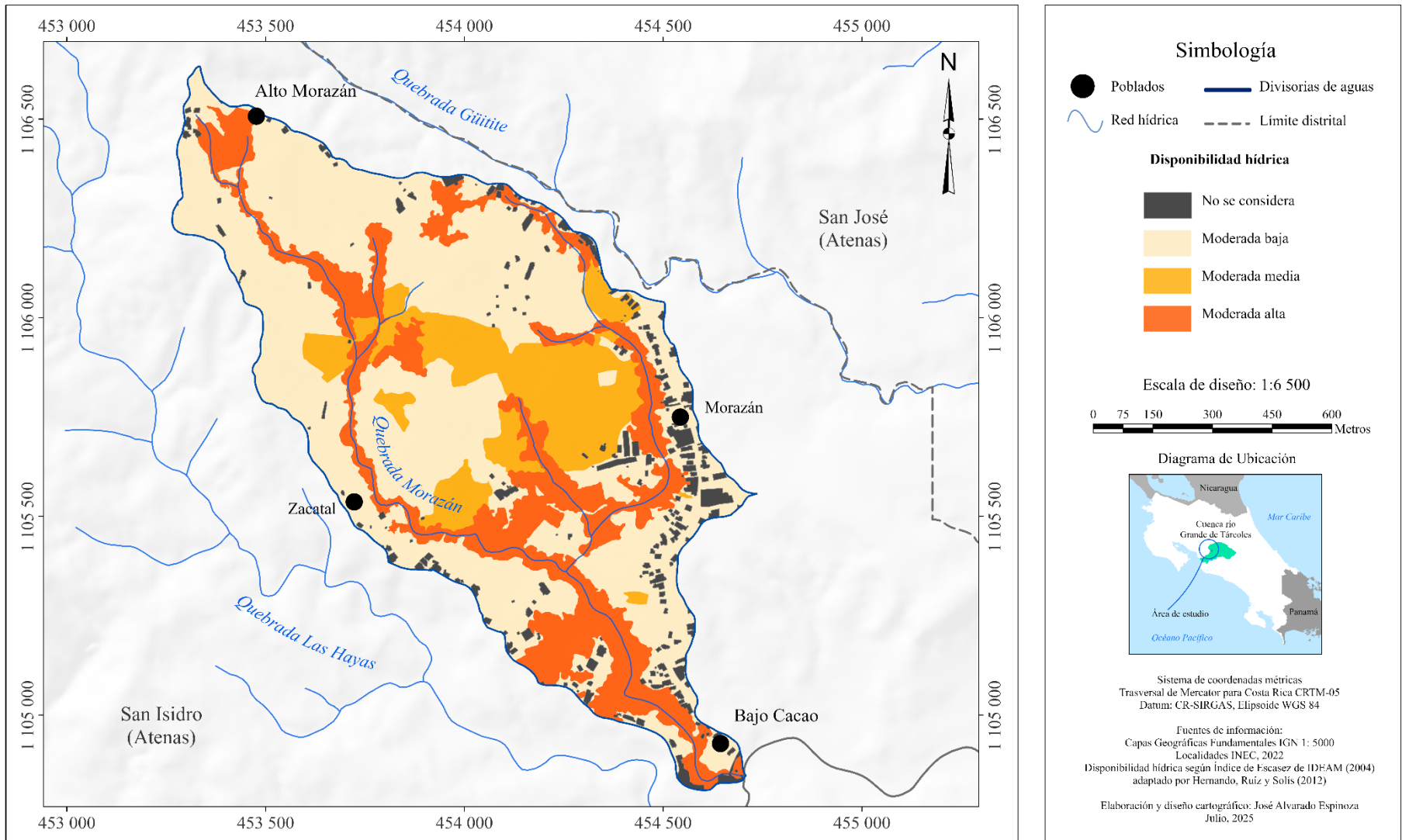
En la subcuenca de la quebrada Las Hayas la mayor parte del territorio se encuentra en la categoría de moderada baja disponibilidad hídrica, la cual cubre un 73% de la subcuenca (1,21 km²) y se presenta en áreas de pasto y café (Mapa 25). Las áreas catalogadas en la moderada media disponibilidad hídrica corresponden a áreas de cítricos que presentan índices de escasez (I_e) del 26% y comprenden el 4% de la subcuenca (0,069 km²) (Tabla 9). En último caso, la categoría de moderada alta disponibilidad hídrica se presenta en áreas de bosque que presentan índices de escasez entre el 21% y el 22% con una cobertura del 21% de la subcuenca (0,34 km²).

Mapa 23: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Güitite



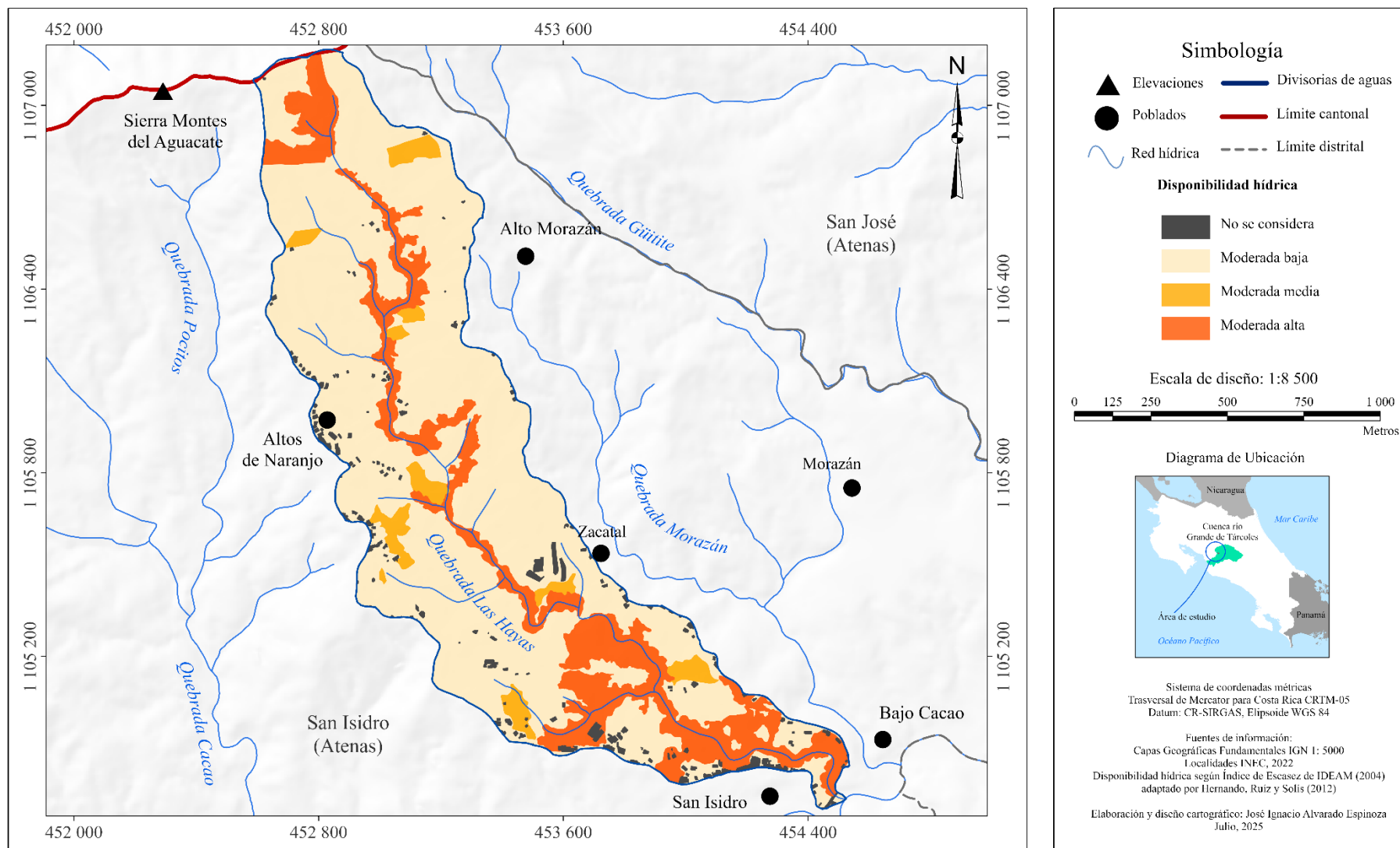
Fuente: elaboración propia.

Mapa 24: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

Mapa 25: Disponibilidad hídrica anual en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: elaboración propia.

5.9. Aprovechamiento del recurso hídrico

5.9.1. Concesiones de agua superficial y subterránea

En las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas la mayoría de las concesiones de agua son concesiones de agua subterránea. Las nacientes destacan como la principal fuente de aprovechamiento en las comunidades de las subcuencas (Tabla 10).

En la subcuenca de la quebrada Güitite se registra un total de 28 concesiones de las cuales 1 corresponde a una concesión de agua superficial y 27 a concesiones de agua subterránea. La subcuenca de la quebrada Morazán registra 22 concesiones, todas concesiones de agua subterránea. En el caso de la subcuenca de la quebrada Las Hayas se tienen registradas 20 concesiones, 1 de agua superficial y 19 de agua subterránea (Tabla 10).

Tabla 10: Cantidad de pozos, nacientes y concesiones de agua superficial dentro de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

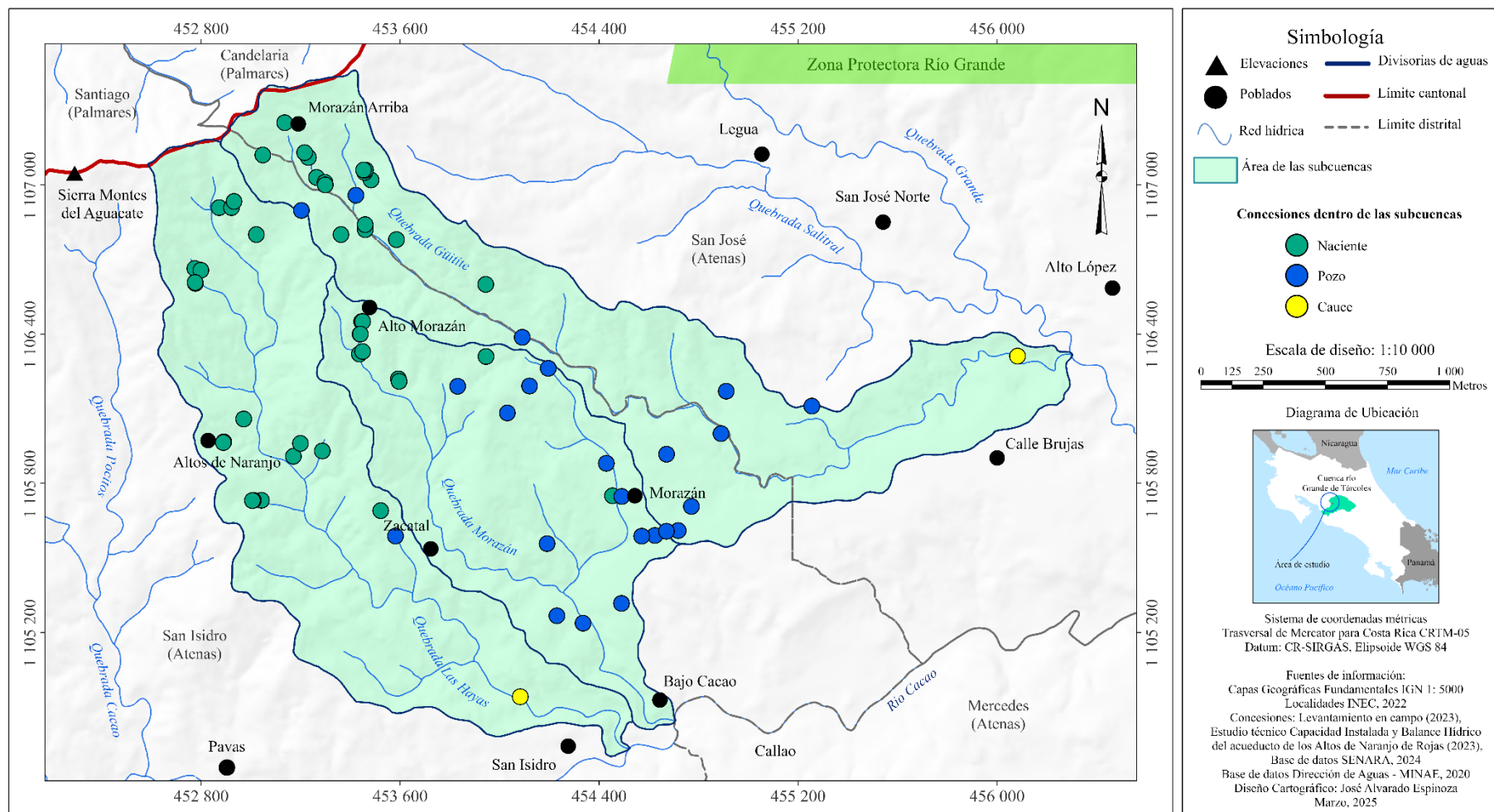
Fuente de abastecimiento	Subcuenca Quebrada Güitite	Subcuenca Quebrada Morazán	Subcuenca Quebrada Las Hayas	Total
Pozo	10	12	1	23
Naciente	17	10	18	45
Cauce	1	0	1	2
Total	28	22	20	70

Fuente: Elaborado a partir de levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

Las nacientes de la subcuenca de la quebrada Güitite se concentran en la parte alta de la subcuenca, al norte de Alto Morazán. Los pozos se encuentran dispersos por toda la subcuenca, pero la mayoría se localiza en la parte baja, entre los poblados de Alto Morazán y Morazán. Hacia la confluencia de la quebrada Güitite con la Quebrada Grande se encuentra una captación de agua superficial que utiliza el agua de la quebrada Güitite (Mapa 26).

En la subcuenca de la quebrada Morazán, la mayoría de las nacientes se ubican en la parte alta de la subcuenca, hacia el poblado de Alto Morazán. Los pozos se encuentran dispersos por toda la subcuenca, la mayoría se concentran en el sector noreste y este de la subcuenca (Mapa 26).

Mapa 26: Concesiones dentro de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, según tipo de fuente de abastecimiento



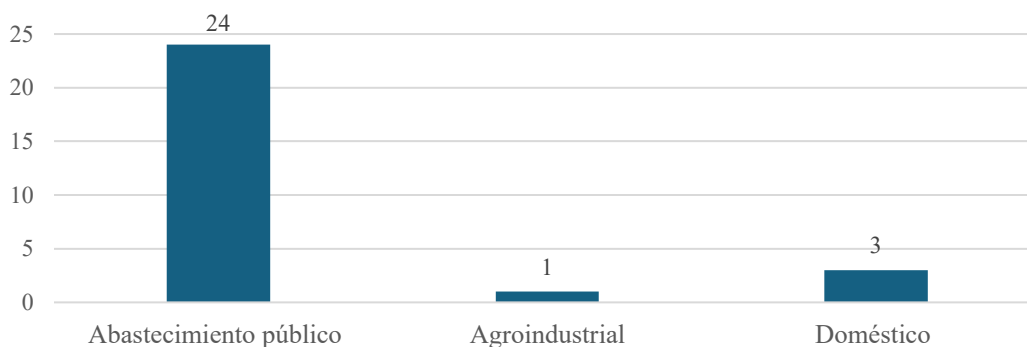
Fuente: Levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

A diferencia de la distribución de las nacientes de las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, en la subcuenca de la quebrada Las Hayas las nacientes se distribuyen entre la parte media y alta de la subcuenca. Hacia la confluencia de la quebrada Las Hayas con el río Cacao se localiza una concesión de agua superficial que aprovecha el agua proveniente de la quebrada Las Hayas. El único pozo que se registra en la subcuenca se encuentra en el sector de Zacatal (Mapa 26).

5.9.2. Uso de las concesiones de agua superficial y subterránea

En la subcuenca de la quebrada Güitite 24 concesiones se encuentran registradas para el abastecimiento público, 3 para el uso doméstico y 1 para el uso agroindustrial (Gráfico 9). De las 24 concesiones utilizadas para el abastecimiento público 17 son nacientes y 3 son pozos registrados a nombre de la ASADA de Morazán. Además, 4 son pozos registrados a nombre del AyA. Las 4 concesiones restantes corresponden a concesiones a nombre de particulares: 1 pozo a nombre de una persona física, 1 pozo a nombre de una sociedad anónima, 1 pozo a nombre de una sociedad responsabilidad limitada y 1 concesión de agua superficial a nombre de una persona física (Anexo 25).

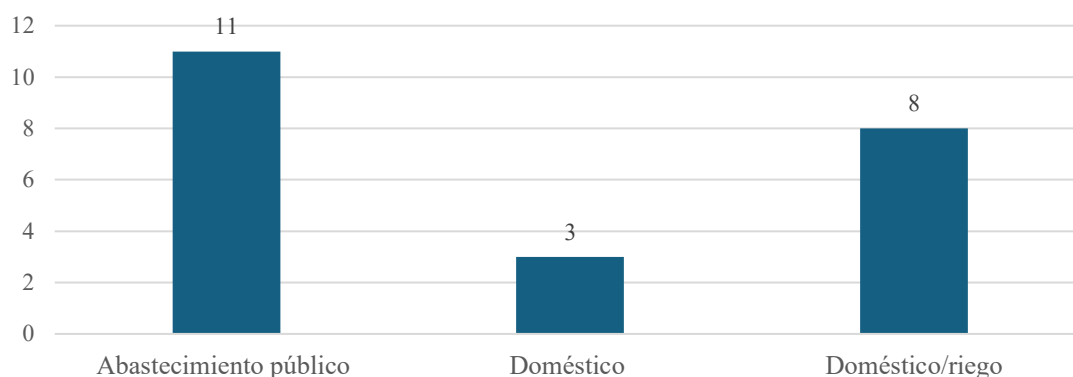
Gráfico 9: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Güitite



Fuente: Elaborado a partir de levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

En la subcuenca de la quebrada Morazán 11 concesiones se utilizan para el abastecimiento público, 8 para un uso mixto doméstico/riego y 3 para solo para el uso doméstico (Gráfico 10). Las 11 concesiones utilizadas para el abastecimiento público son 9 nacientes y 2 pozos registrados a nombre de la ASADA de Morazán. Las 11 concesiones restantes están registradas a nombre de particulares: 1 nacimiento a nombre de una persona física, 4 pozos a nombre de personas físicas, 3 pozos a nombre de sociedades anónimas y 3 pozos a nombre sociedades de responsabilidad limitada (Anexo 25).

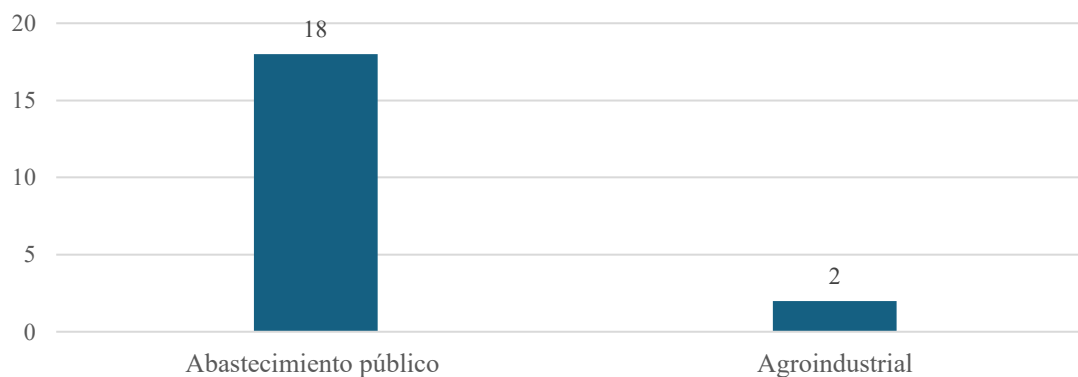
Gráfico 10: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: Elaborado a partir de levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

En el caso de la subcuenca de la quebrada Las Hayas, 18 de las concesiones registradas en la subcuenca son utilizadas para el abastecimiento público y 2 para el uso agroindustrial (Gráfico 11). Las 2 concesiones registradas para el uso agroindustrial corresponden a 1 pozo registrado a nombre de una persona particular y 1 concesión superficial a nombre de Coopeatenas.R.L. De las 18 concesiones registradas para el abastecimiento público 14 corresponden a nacientes de la ASADA de Altos de Naranjo y 4 a nacientes de la ASADA de Morazán (Anexo 25).

Gráfico 11: Usos registrados para las concesiones de la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: Elaborado a partir de levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

De los datos anteriores se identifica que las principales figuras concesionarias en las subcuencas de las quebradas Güitite Morazán y Las Hayas son las ASADAS de Morazán y Altos de

Naranjo. En total la ASADA de Morazán posee 35 concesiones en el área de estudio y la ASADA de Altos de Naranjo tiene 14.

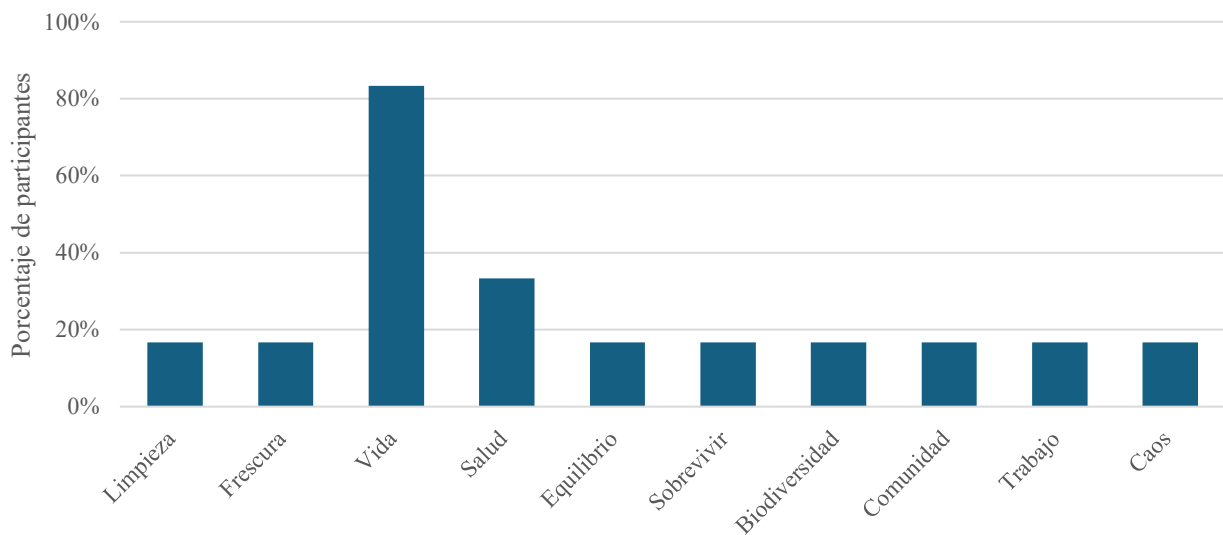
Según el estudio de Rojas (2023) las nacientes que son aprovechadas para brindar el servicio de abastecimiento en el acueducto de los Altos de Naranjo presentan caudales iguales o inferiores a los 2 l/s y el pozo presenta caudales entre los 3 y los 3,5 l/s. En general, las fuentes de captación del acueducto producen 5,50 l/s y el consumo máximo diario es de 2,65 l/s. En el caso del acueducto de Morazán, según el estudio de Cortés (2023), las nacientes presentan caudales inferiores a 1 l/s y los pozos caudales menores a los 2 l/s. En general, las fuentes de captación del acueducto producen 5,31 l/s y el consumo máximo diario en el acueducto es de 4,21 l/s.

5.9.3. Percepción de las comunidades sobre el aprovechamiento del recurso hídrico

5.9.3.1. Significado del agua

Desde la percepción de las personas participantes en el taller, el agua tiene un significado que relacionan con las palabras: salud, limpieza, frescura, caos, equilibrio, biodiversidad, vida, sobrevivir, comunidad y trabajo. Un 83% de los participantes coinciden en relacionar al agua con la palabra “Vida” y un 33% con la palabra “Salud”. Palabras como “Limpieza”, “Frescura”, “Caos”, “Equilibrio”, “Trabajo”, “Comunidad”, “Sobrevivir” y “Biodiversidad” son mencionados por un 17% de las personas participantes (Gráfico 12).

Gráfico 12: Porcentaje de participantes que mencionaron cada palabra durante el taller



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

Del conjunto de palabras mencionado prevalecen las palabras “Vida” y “Salud” siendo la “Vida” el significado más frecuente entre las personas cuando se les pregunta por el significado que tiene el agua para ellas (Figura 8). Otras palabras como “Limpieza”, “Frescura”, “Biodiversidad” o “Trabajo” son significados menos frecuentes entre los participantes. De lo anterior se entiende que entre las personas que asistieron al taller el agua es percibida especialmente con un simbolismo relacionado a la vida.

Figura 8: Palabras que las personas de las comunidades relacionan con el significado del agua según la frecuencia con que se mencionan



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

Se puede comprender que entre las personas participantes el principal significado del agua esté relacionado con la palabra “Vida”, ya que el uso y el aprovechamiento del agua se encuentra relacionado a la satisfacción de necesidades vitales como la digestión, el procesamiento de nutrientes, la regulación de la temperatura corporal o la eliminación de residuos (McJunkin, 1988) y llevar a cabo actividades diarias de la vida cotidiana como la preparación de alimentos, la higiene corporal y el aseo del hogar (McJunkin, 1988; ONU-Agua, 2021).

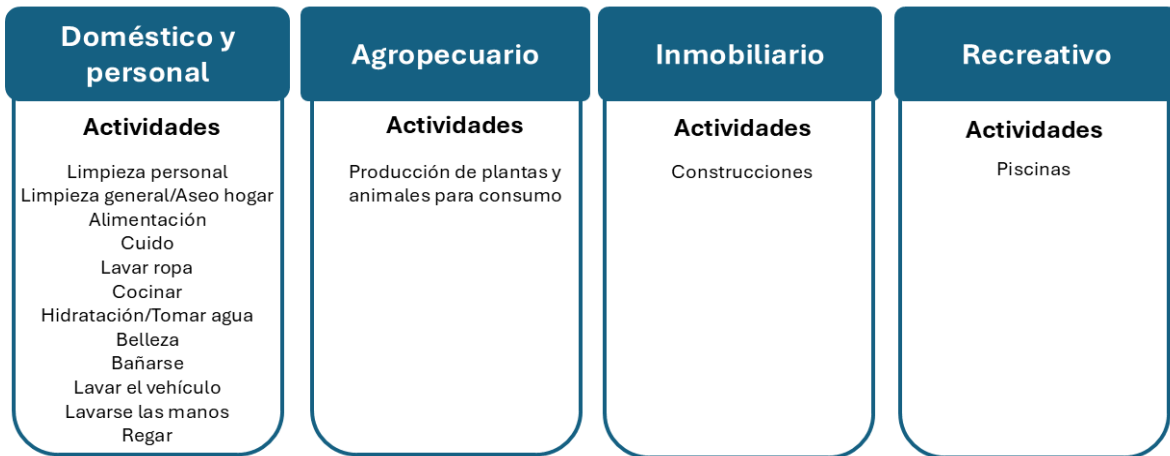
5.9.3.2. Usos del agua

Con base en las actividades mencionadas por los participantes del taller sobre el consumo de agua, se identifica que en las comunidades del área de estudio el agua es aprovechada por las personas para 4 usos: 1) doméstico y personal, 2) agropecuario, 3) inmobiliario y 4) recreativo (Figura 9).

En el uso doméstico y personal los participantes mencionan actividades relacionadas con la limpieza del hogar y la higiene personal. Algunos ejemplos son: la alimentación, el cuidado, hidratarse o tomar agua, cocinar, el lavado de ropa y bañarse. Dentro de los usos agropecuario, inmobiliario y

recreativo, los participantes mencionan la producción de plantas y animales para consumo, el levantamiento de construcciones y el llenado de piscinas, respectivamente.

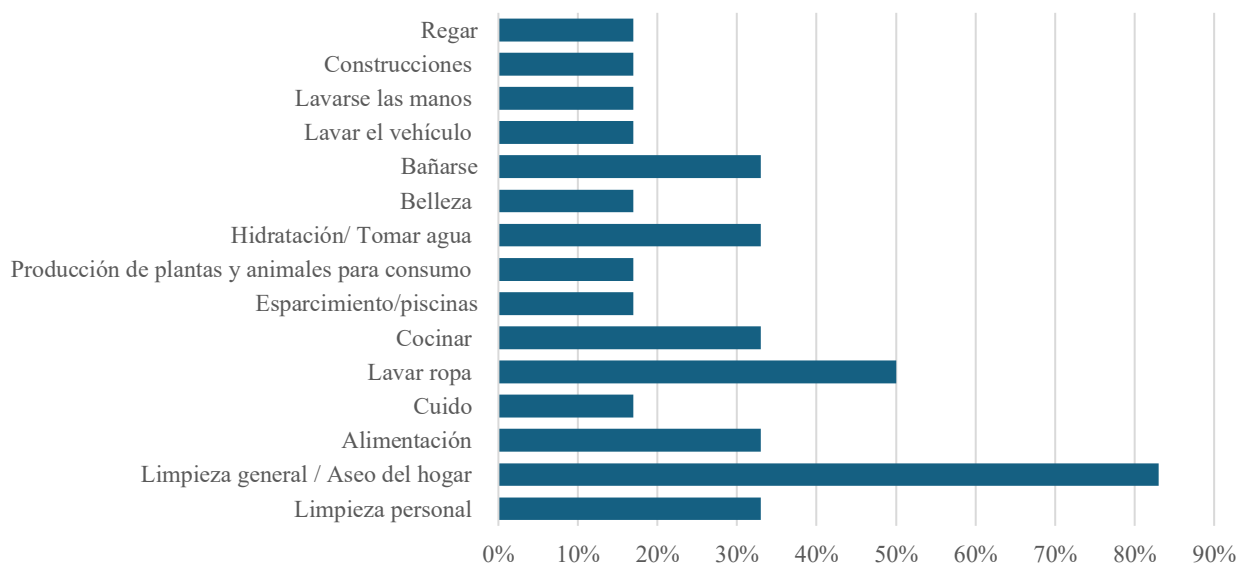
Figura 9: Usos del agua según las actividades mencionadas por los participantes del taller



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

Entre los participantes, las actividades que se mencionan con mayor frecuencia se relacionan a un uso doméstico y personal del agua, las cuales son la limpieza y el aseo del hogar, mencionada por un 83% de los participantes, y el lavado de ropa, mencionada por un 50% (Gráfico 13).

Gráfico 13: Porcentaje de participantes que menciona cada actividad

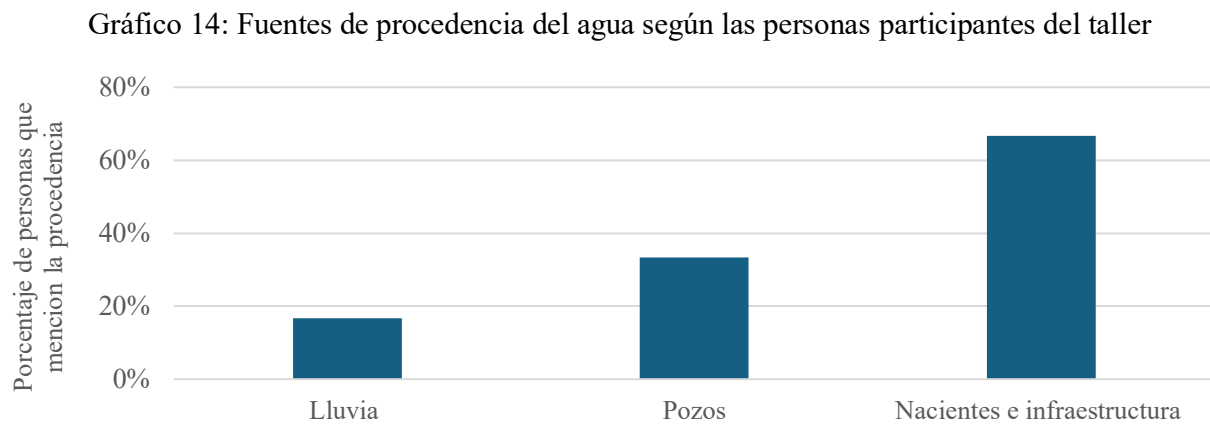


Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

Desde el punto de vista del consumo, la totalidad de las actividades mencionadas por los participantes se relacionan a un uso consuntivo del agua. Este tipo de consumo corresponde a un aprovechamiento del recurso para el cual el agua es extraída y transportada desde un cuerpo de agua de origen hasta la actividad que la necesita. Una vez utilizada, el agua no regresa al cuerpo de agua originario (SEMARNAT, 2006), lo que indica que, en el contexto de las comunidades, las personas utilizan el agua en actividades para las cuales es necesario contar con una adecuada disponibilidad y manejo del recurso hídrico con tal de poder satisfacer la demanda hídrica procurando la conservación del cuerpo de agua que se utiliza como fuente de extracción del recurso.

5.9.3.3. Procedencia del agua

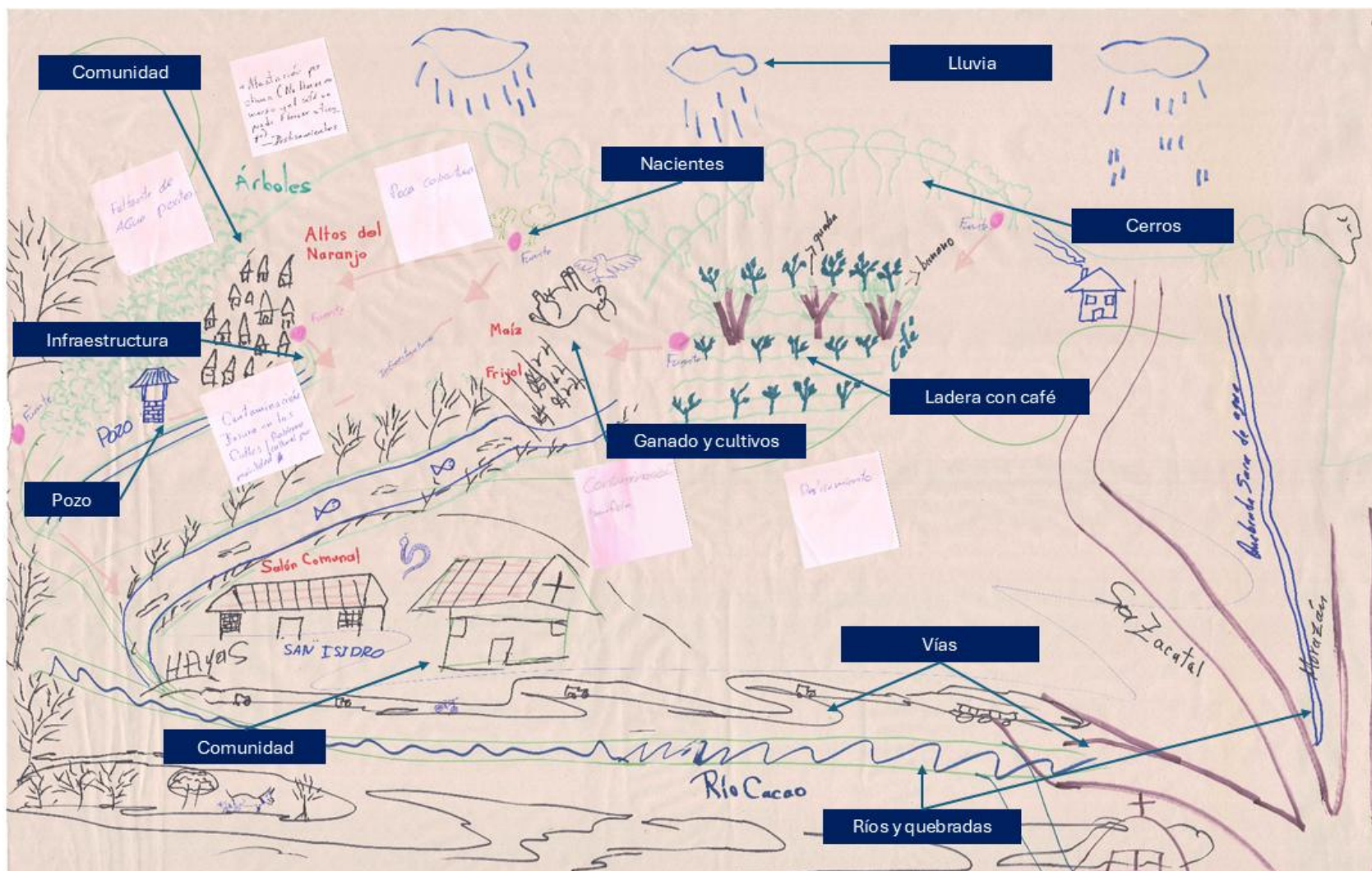
Las personas participantes del taller mencionan que las comunidades se abastecen de tres fuentes de procedencia del agua: 1) nacientes e infraestructura, 2) pozos y 3) lluvia. Un 67% de los participantes mencionan las nacientes y la infraestructura de los acueductos como fuente de procedencia del agua en las comunidades. Un 33% de los participantes menciona como fuente de procedencia los pozos y un 17% indica que el agua proviene de la lluvia (Gráfico 14).



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

De acuerdo con las personas que mencionan como fuente de procedencia las nacientes e infraestructura, la mayor parte de la población de las comunidades se abastece de nacientes y el servicio de distribución que realizan las ASADAS a través de la infraestructura del acueducto. En el mapa parlante realizado durante la actividad, los participantes comparten que las captaciones se encuentran en las partes altas de las comunidades, varias de ellas en medio de cafetales y sitios de cultivo, desde allí, mediante el sistema de tuberías y tanques de almacenamiento del acueducto se distribuye el agua a las comunidades tanto en la parte alta como en la parte baja de las cuencas (Figura 10).

Figura 10: Mapa parlante elaborado por las personas participantes del taller para las actividades 3 y 4



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025, según adaptación metodológica de Geilfus (2002) y FAO (2025).

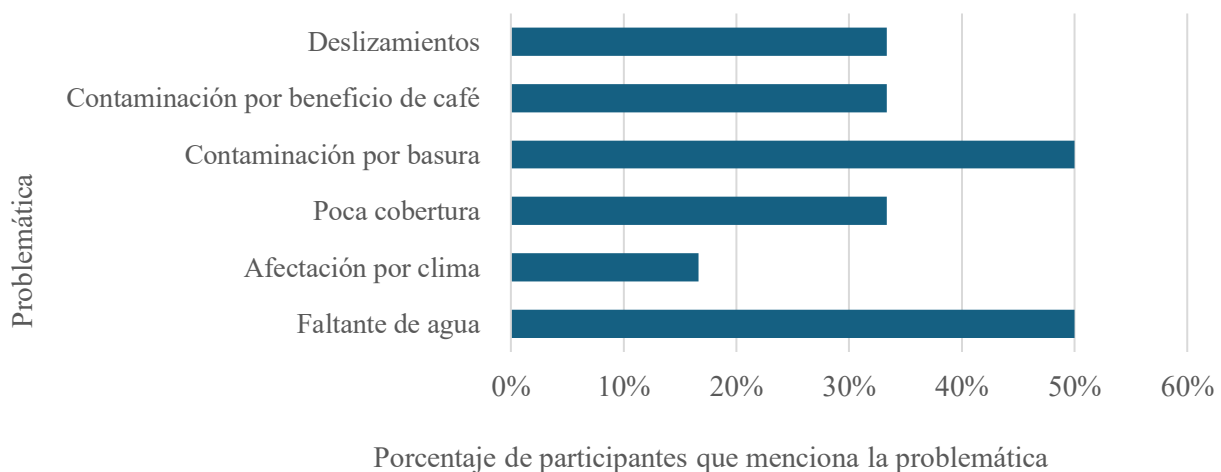
En el caso de los pozos, los participantes que los mencionan como fuente de procedencia indican que en los acueductos se recurre al agua de pozos durante la época seca, cuando las nacientes disminuyen su caudal, o en horarios de mayor consumo de agua. Asimismo, en las comunidades hay personas que no pertenecen al acueducto y se abastecen de agua proveniente de fuentes propias, tanto nacientes como pozos, por lo que son fuente de abastecimiento para este sector de la población. Por su parte, los participantes que mencionan la lluvia como fuente de procedencia la mencionan como tal debido a que permite que haya agua en las nacientes.

De lo anterior, se identifica que entre los participantes del taller el recurso hídrico captado o extraído del suelo es la principal fuente de abastecimiento en las comunidades. Esto significa que es necesario fomentar estrategias de protección y conservación del recurso, mediante ordenamiento territorial, manejo forestal y manejo de suelos, para preservar la calidad y cantidad de agua que se extrae del subsuelo de las cuencas (MINAET, 2009), ya que las comunidades dependen de este recurso para abastecerse.

5.9.3.4. Problemáticas del agua

Los participantes mencionan un total de 6 problemáticas relacionadas al agua en las comunidades del área de estudio. Estas problemáticas son deslizamientos, contaminación por beneficio de café, contaminación por basura en calles y quebradas, poca cobertura (bosque), afectación climática sobre el cultivo del café y faltante de agua (Gráfico 15).

Gráfico 15: Porcentaje de participantes que menciona cada problemática asociada al agua en las comunidades



Fuente: Taller con las comunidades de Morazán, Zacatal, San Isidro y Altos de Naranjo de Atenas, 14 de junio de 2025.

Respecto a los deslizamientos, 33% de los participantes indica que en el área de estudio han ocurrido deslizamientos pequeños, los cuales, en algunos casos, han afectado la infraestructura del acueducto y la distribución de agua en las comunidades (Gráfico 15 y Figura 10).

En relación con la contaminación por beneficio de café, un 33% de los participantes menciona que, en la comunidad de San Isidro, el beneficio de café es una fuente de contaminación para el agua por los desechos que genera la actividad cafetalera (Gráfico 15 y Figura 10).

Además de este tipo de contaminación, el 50% de las personas indica que existe una problemática cultural sobre la contaminación por basura en calles. Para este 50% de participantes personas nicaragüenses, las cuales se movilizan para laborar en las comunidades, no realizan un adecuado manejo de la basura, la cual se acumula en las calles y posteriormente en las quebradas (Gráfico 15 y Figura 10).

El 33% de los participantes que menciona como problemática relacionada al agua la “poca cobertura” indica que varias de las nacientes utilizadas para abastecer a las comunidades no cuentan con cobertura (bosque) a sus alrededores que proteja el agua, algunas nacientes incluso son captadas en terrenos destinados a la agricultura, especialmente cafetales, lo que consideran puede afectar la calidad y cantidad de agua captada en dichos sitios. Ante esta situación ASADAS, en coordinación con otras organizaciones, han aunado esfuerzos por fomentar prácticas de reforestación en sitios de captación de nacientes (Gráfico 15 y Figura 10).

El 17% de los participantes que menciona la afectación por clima indica considerar, en los últimos 10 años, un faltante de lluvia en el mes de marzo que ha afectado la floración del café y el cual ha significado pérdidas en producción.

En último caso, el 50% de los participantes que menciona un faltante de agua considera la existencia de un faltante de agua en el sector de Pocitos, ubicado al norte de Altos de Naranjo y en la parte alta de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. Este faltante ocasiona racionamientos en el servicio de abastecimiento brindado por la ASADA de los Altos de Naranjo (Gráfico 15 y Figura 10).

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La disponibilidad hídrica anual en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentra en la categoría de moderada. Esto quiere decir que, aunque la oferta hídrica natural de las subcuencas supera la demanda hídrica natural, la oferta hídrica ya es insuficiente para satisfacer la demanda de humedad que exige el sistema hídrico natural de las subcuencas al año.

El cambio en el uso del suelo y el crecimiento en la demanda hídrica poblacional de las comunidades puede generar que la disponibilidad hídrica sea baja en el futuro por lo que es necesario que se implementen medidas de ordenamiento territorial para la regulación del cambio en el uso del suelo y la planificación en el aprovechamiento del recurso hídrico, a fin de que el uso del agua pueda ser acorde con el estado de la disponibilidad hídrica de las subcuencas. Ante esta situación es necesario que en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas el aprovechamiento del recurso hídrico pueda ser fortalecido en dos líneas de trabajo: 1) la protección y la regulación del cambio de uso del suelo en áreas de importancia para el aprovechamiento del recurso hídrico y 2) el manejo y la planificación del consumo de agua que se realiza en las comunidades.

6.1. Protección y regulación del cambio de uso del suelo en áreas de importancia para el aprovechamiento del recurso hídrico

Las áreas que presentan las mejores condiciones de disponibilidad hídrica anual dentro de las subcuencas son las áreas cubiertas por bosque. En estas áreas, el déficit hídrico es bajo comparado con los valores del déficit hídrico que presentan las áreas cubiertas por pasto, café y cítricos, y la razón de consumo de la oferta hídrica es menor, lo que permite a los suelos disponer de una mayor cantidad de agua aprovechable como recurso, especialmente durante la época lluviosa, cuando las precipitaciones favorecen que los suelos alcancen el valor de la lámina de agua disponible (LAD).

Porcentualmente, menos de una cuarta parte del área de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentran cubiertas por bosque. En las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas las áreas cubiertas por bosque comprenden el 21% del territorio de las subcuencas, mientras que en la subcuenca de la quebrada Morazán el porcentaje de cobertura de las áreas de bosque corresponde al 24% (Tabla 7). Este comportamiento se debe al predominio en extensión que tienen las áreas cubiertas por café y pasto, las cuales corresponden a las áreas con las razones de consumo de la oferta hídrica más altas y donde los suelos disponen de la menor cantidad de agua aprovechable como

recurso al año. Debido a ello, es necesario que se fomente una regulación en el cambio de uso del suelo a favor de la protección del recurso hídrico con el objetivo de evitar la transformación del bosque en otros usos, como el uso urbano o el pasto, ya que la expansión de la superficie urbanizada disminuye la posibilidad de infiltración del agua en el suelo, lo que afecta la oferta de agua aprovechable (Briones, 2006; Sibaja, 2013), y las áreas de pastos presentan condiciones deficitarias de humedad que generan una baja producción hídrica.

Un aspecto por destacar es que dentro de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, las áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica coinciden en ser bosques riparios distribuidos a lo largo de quebradas y arroyos por lo que, además de ser las áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica, son espacios de importancia para la preservación de la calidad del recurso hídrico, ya que mitigan la contaminación por sustancias utilizadas en la agricultura, capturan nutrientes y sedimentos generados en terrenos ubicados aguas arriba y disminuyen la erosión a la orilla de los cauces (Stutter, Chardon y Kronvang, 2012).

La Ley Forestal N°7575 establece en el artículo 33, la protección de las riberas de ríos en una franja, medida de forma horizontal, de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana. Si el terreno es quebrado, tanto en la zona rural como en la zona urbana la franja de protección comprende 50 metros medida horizontalmente del cauce. Esto implica que, desde el OT y la gestión ambiental, tanto la Municipalidad de Atenas como las instituciones encargadas de velar por el resguardo de las áreas de protección deben aplicar las restricciones establecidas en la Ley Forestal N°7575 con el fin de proteger las áreas de bosque en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas y evitar la reducción de estas áreas para las cuales se presentan las mejores condiciones de disponibilidad hídrica.

Mencionado lo anterior, la protección y el resguardo de las áreas de bosque ripario debe acompañarse de un fortalecimiento en las estrategias de sensibilización ambiental en el manejo de residuos, tanto sólidos como vertidos. La contaminación del agua en las quebradas es una problemática que se experimenta en las comunidades debido a la deposición de basura en carreteras y a la actividad cafetalera, según lo perciben los participantes del taller realizado el 14 junio de 2025 con las comunidades. Al considerar que en las subcuencas de las quebradas Güitite y Las Hayas se registran concesiones que utilizan el agua superficial de las quebradas, resulta necesario que se pueda elaborar o reforzar un Plan para el Manejo de Residuos Sólidos y Vertidos en las subcuencas con el fin de evitar la contaminación del agua superficial aprovechada.

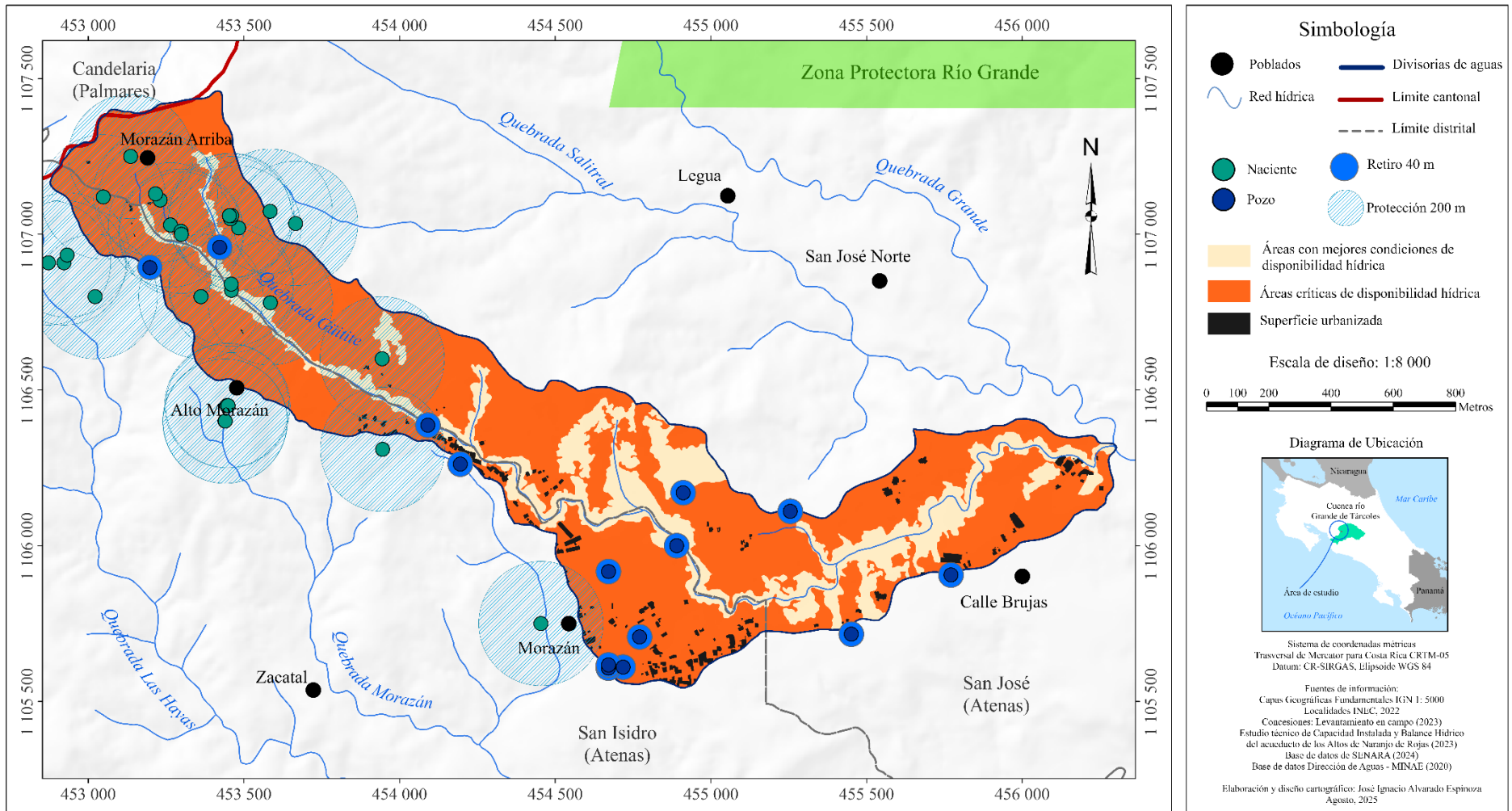
Además de la protección y el resguardo que se debe implementar en las áreas cubiertas por bosque, es necesario que las ASADAS, concesionarios y comunidades puedan continuar con los esfuerzos que realizan por resguardar la cobertura natural del área de protección de las nacientes y respetar el retiro operacional de los pozos con el objetivo de disminuir el riesgo de contaminación del recurso hídrico que actualmente se capta/extrae de estas fuentes de aprovechamiento.

Ante una moderada disponibilidad hídrica es indispensable que las áreas que circundan los sitios de captación/extracción cuenten con el grado de regulación establecido en la legislación ambiental nacional por cuanto se prevenga el desarrollo de prácticas contaminantes derivadas de la agricultura y la ganadería que puedan poner en riesgo la cantidad de agua disponible. Esta consideración se realiza al tomar en cuenta que, nacientes que se utilizan para brindar servicios de abastecimiento en las subcuencas de estudio, se encuentran captadas en terrenos agrícolas y pecuarios, en los cuales se presenta un menor grado de resguardo de la calidad del recurso hídrico disponible que en terrenos cubiertos por bosque (Anexo 26).

En el marco legislativo, la Ley de Aguas N°276 establece que para las nacientes utilizadas para consumo humano se debe tener un área de protección de 200 metros de radio, con el fin de evitar o mitigar impactos sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico captado. Dentro de esta área de protección se debe tener un uso conforme a la capacidad de uso del suelo, mantener la cobertura forestal existente, restringir el uso de contaminantes químicos, implementar buenas prácticas agrícolas y realizar un adecuado manejo de los suelos. En el caso de los pozos, se debe procurar un radio de 40 m desde el alumbramiento del pozo en el que se restringe el desarrollo de actividades urbanas con el fin de brindar seguridad al recurso hídrico en las áreas aledañas al sitio de extracción, por ejemplo, ante la cercanía de tanques sépticos.

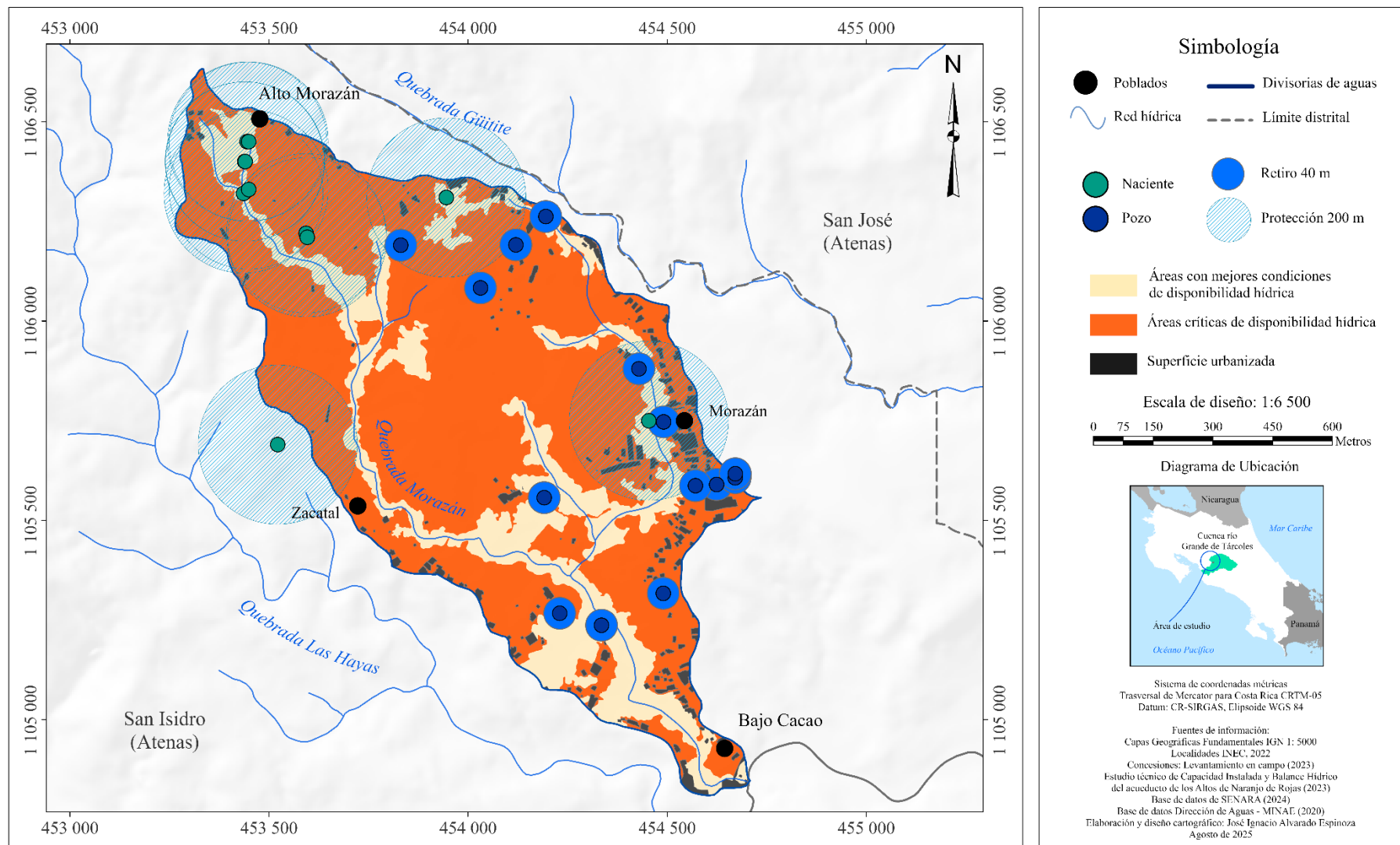
Desde el punto de vista del OT, se debe procurar con especial atención la protección de la cobertura forestal y el manejo de tierras agrícolas y ganaderas en la parte alta de las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán y la parte media y alta de la subcuenca de la quebrada Las Hayas, ya que son las áreas donde se concentra la mayor cantidad de nacientes aprovechadas para abastecer de agua a las comunidades (Mapas 27, 28 y 29), las cuales figuran para las comunidades como una fuente de procedencia del agua de importancia para el abastecimiento local.

Mapa 27: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Güitite



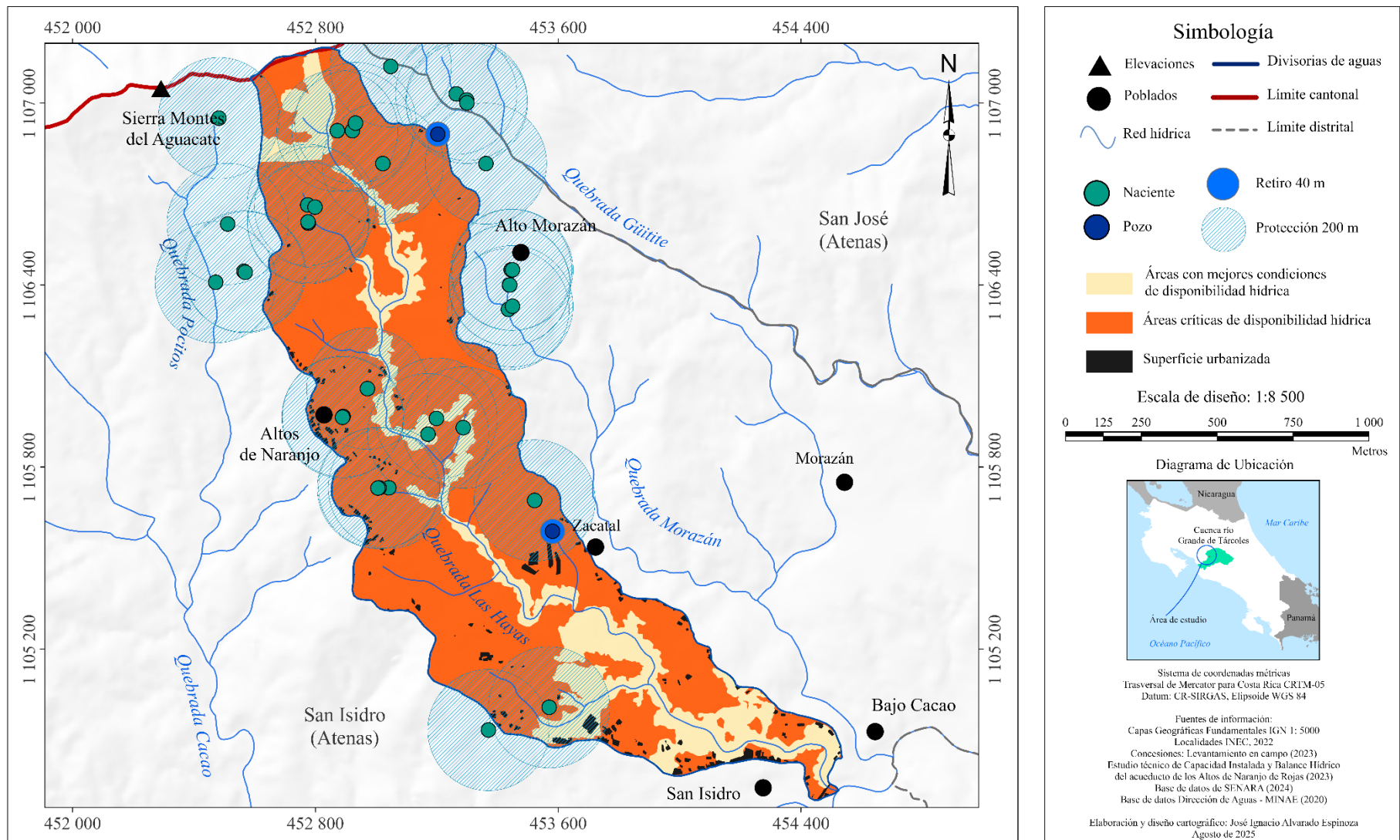
Fuente: elaboración propia.

Mapa 28: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Morazán



Fuente: elaboración propia.

Mapa 29: Áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica y áreas críticas en la subcuenca de la quebrada Las Hayas



Fuente: Elaboración propia.

De las 45 nacientes administradas bajo concesión para el abastecimiento público en las subcuencas, 45 se ubican en la parte alta de las subcuencas, incluyendo la parte media de la subcuenca de la quebrada Las Hayas. Si se considera además las nacientes que, aprovechadas fuera de las subcuencas, presentan su radio de protección en el territorio de las subcuencas, se identifica que 25 nacientes tienen su radio de protección en la parte alta de la subcuenca de la quebrada Güitite, 10 tienen su radio de protección en la subcuenca de la quebrada Morazán y 35 nacientes tienen su radio de protección entre la parte media y alta de la subcuenca de la quebrada Las Hayas.

Con base en lo mencionado anteriormente, resulta conveniente que se pueda incentivar un modelo de conservación del recurso hídrico en la parte alta de las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, así como la parte media y alta de la subcuenca de la quebrada Las Hayas, con el fin de preservar la calidad del recurso hídrico que es aprovechado en estas áreas. La implementación de este modelo cobra aún más relevancia si se considera que en la parte alta de las subcuencas se encuentran las áreas con mayor ganancia hídrica anual, las cuales se producen únicamente durante la época lluviosa, por lo que son áreas de importancia para la percolación de la humedad hacia las capas profundas del suelo.

Ejemplos de prácticas por considerar dentro de un modelo de conservación para el recurso hídrico en la parte alta de las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán y la parte media y alta de la subcuenca de la quebrada Las Hayas son el manejo y el uso apropiado de la tierra a nivel de finca (diálogo con propietarios de tierras para el manejo del suelo), la implementación de prácticas agroforestales y silvopastoriles, el uso racional de agroquímicos y plaguicidas o la implementación de prácticas forestales para la estabilización de terrenos y mejora de la infiltración (Faustino y Jiménez, 2000).

6.2. Manejo y planificación del consumo de agua en las comunidades

Dado que la disponibilidad del recurso hídrico en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas es moderada es imprescindible que el aprovechamiento del recurso hídrico que se realiza actualmente pueda adecuarse a las realidades del sistema hídrico de las subcuencas mediante el manejo y la planificación del consumo de agua en las comunidades.

Las áreas con mayor grado de criticidad en la disponibilidad hídrica son áreas agrícolas y pecuarias que se distribuyen cerca de áreas urbanas, por lo que es necesario que las comunidades realicen un consumo sostenible del agua en estas áreas con el objetivo de evitar que el estado de la disponibilidad del recurso hídrico pueda pasar a la categoría de baja disponibilidad hídrica en el futuro (Mapas 27, 28 y 29). En las áreas críticas la oferta de agua aprovechable es menor que la presentada en áreas de bosque, ya que los suelos almacenan una menor cantidad de agua disponible al año. A esto se le suma ser áreas con los mayores déficits de humedad durante la época seca, donde tanto la oferta como la demanda hídrica son menores comparadas con las áreas cubiertas por bosque, producto de la relación agua-suelo-planta que las caracteriza.

Un primer aspecto por implementar con las poblaciones de las subcuencas es la sensibilización en la cultura del agua. De acuerdo con Benarroch et al., (2021), la cultura del agua es el conjunto de costumbres, actitudes y valores, tanto individuales como colectivos, que adoptan las personas respecto al uso del agua. Frente a una disponibilidad hídrica limitante en el ejercicio del aprovechamiento del recurso, la sensibilización social puede acompañarse de procesos de comunicación e información sobre la importancia del ahorro del agua, el uso de tecnologías eficientes en los sistemas de riego y captación, la mejora en la infraestructura de abastecimiento y la implementación de proyectos de gamificación para la educación en el cambio de hábitos de uso (Robles y Maldonado, 2018).

El sector noroeste de Atenas, donde se localizan las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, se concibe como un área con “mucho agua” (Solano, comunicación personal, 2025). Esta percepción puede deberse a la cantidad de nacientes que aflora y se concentra en el área, como se evidencia en el mapa de García (2020), y es una idea que contrasta con el estado de la disponibilidad hídrica que presentan las subcuencas donde el recurso ya experimenta presiones para satisfacer la demanda hídrica, como lo son los racionamientos. Pensar en una abundancia del recurso hídrico puede generar en las personas hábitos relacionados al desperdicio del recurso hídrico (Rodríguez et al., 2002), lo que puede limitar el acceso al recurso y llevar al agotamiento de las fuentes de abastecimiento.

Dada la importancia que tiene el agua como “vida” y que personas de las subcuencas la requieren utilizar para la higiene corporal, el aseo doméstico, la recreación y el desarrollo agropecuario e inmobiliario, es necesario que se pueda reforzar la sensibilización en materia de educación ambiental sobre los recursos hídricos a través de la cual se reconozca que en las subcuencas la disponibilidad del recurso hídrico no es suficiente para satisfacer un alto consumo de agua y que el aprovechamiento debe realizarse mediante un uso y manejo sostenible del agua. Dos ejemplos de actividades relacionadas a

la sensibilización en materia de educación ambiental que se pueden implementar en las subcuencas son la identificación de tecnologías de bajo consumo de agua (ej. lavadoras, inodoros, duchas) junto con la población de las subcuencas (Herrera, 2011) y la implementación de actividades participativas aplicadas a la socio-hidrología (ej. monitoreos participativos del agua, mapeo colaborativo de servicios ecosistémicos, mapeo de valores sociales relacionados al agua) con el fin de generar una incidencia social para la mejora de la relación entre las comunidades, el agua y su aprovechamiento.

Mencionado lo anterior, un segundo aspecto por considerar en el uso del recurso hídrico es el manejo y la planificación del recurso hídrico a nivel de acueductos. Según los estudios de Rojas (2023) y Cortés (2023), tanto el acueducto de Morazán como el acueducto de los Altos de Naranjo tienen la capacidad de brindar nuevos servicios de abastecimiento a pesar de las limitaciones que experimenta, a nivel de subsistemas, el acueducto de los Altos de Naranjo y las limitaciones que podría enfrentar, a nivel de subsistemas también, el acueducto de Morazán.

Al considerar que la disponibilidad del recurso hídrico en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas está siendo una limitante en la cantidad de agua aprovechable y que en las comunidades se presentan problemáticas en torno al racionamiento de agua, deslizamientos y poca área de bosque en el área de protección de las nacientes, es indispensable que las ASADAS puedan contar con un con un Plan de Seguridad del Agua o alguna estrategia de planificación basada en la gestión del riesgo en acueductos para que puedan continuar brindando el servicio de abastecimiento público de agua y procurar la seguridad hídrica de la población abastecida.

Este tipo de planificación se basa en la implementación de metodologías que pretenden garantizar integralmente la seguridad del sistema de abastecimiento de agua a través de una evaluación de amenazas y gestión de riesgos que abarque todas las etapas del servicio de abastecimiento en la comunidad, desde la protección de las fuentes de captación hasta la percepción social que tienen las personas consumidoras del agua (Bartram et al., 2009).

Asimismo, es necesario que, entre las ASADAS, la Municipalidad de Atenas, las ADI's, organizaciones comunales y entidades públicas y privadas relacionadas al territorio de las subcuencas, se implemente una estrategia de planificación, como un Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas, para que el desarrollo productivo procure el manejo adecuado del recurso hídrico. Algunos aspectos que, resultado de esta investigación, se podrían considerar en un marco de planificación para las subcuencas son:

El sistema hídrico natural de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas presenta una moderada disponibilidad del recurso hídrico para la cual no es recomendable tener un alto crecimiento en la demanda hídrica poblacional ni la transformación del bosque en otros usos del suelo.

El territorio de las subcuencas se caracteriza por poseer un relieve con predominio de pendientes superiores al 30% donde menos del 25% de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas es cobertura forestal y la densidad de cantidad de cauces de orden 1 es de 57,24, 66,70 y 79,74 cauces por km², respectivamente, lo que podría favorecer en el futuro la ocurrencia de deslizamientos provocados por fuertes escurrimientos que afecten la infraestructura de los acueductos y el servicio de abastecimiento. Dicha situación podría mejorar con la implementación de mecanismos para la estabilización del terreno como la reforestación de laderas, acequias de laderas, acequias de infiltración o canales de desviación (Faustino y Jiménez, 2000), valorados de acuerdo con las realidades del sitio de implementación.

La mayor parte del área de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentra en las categorías de moderada media y moderada baja disponibilidad hídrica por lo que es conveniente trabajar en coordinación con la Municipalidad de Atenas, las ADI's, Coopetenas R.L. e instituciones relacionadas con la preservación del recurso hídrico a fin de promover buenas prácticas ambientales y agrícolas en terrenos cubiertos por pasto, café y cítricos a fin preservar la calidad del agua que se extrae de las subcuencas mediante el manejo de suelos y prácticas sostenibles.

Dentro de un Plan de Manejo de Cuencas se diagnostican las condiciones socioeconómicas y naturales de las subcuencas, se promueve un desarrollo adecuado según la vocación de las cuencas, se definen acciones de intervención para mejorar las condiciones críticas y se integran los distintos sectores institucionales y comunales que aprovechan los recursos naturales (World Vision, 2004). Especialmente, el trabajo desde la articulación e integración interinstitucional es un aspecto necesario de fortalecer en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas, ya que prácticas de sostenibilidad y manejo ambiental que actualmente ya se implementan (reforestación, limpieza de quebradas, trabajos comunales, educación ambiental, certificaciones ambientales) pueden verse integradas dentro de una estrategia de articulación mayor que impulse su desarrollo y marco de implementación en beneficio de las comunidades y los recursos naturales de las subcuencas.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

En la presente investigación se determina que la disponibilidad hídrica anual de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se encuentra en la categoría de moderada lo que quiere decir que la cantidad de agua que es aprovechable en las subcuencas es insuficiente para satisfacer la demanda hídrica natural. A raíz de esta situación, el aprovechamiento del recurso hídrico que se realiza en las subcuencas debe procurar un ordenamiento territorial de la demanda hídrica y fortalecer medidas para un adecuado manejo y planificación del consumo de agua.

Como características generales de las subcuencas, se establece que en las tres subcuencas existen dos zonas climáticas con marcadas diferencias de humedad. La Zona Climática I presenta una menor precipitación media anual que la Zona Climática II. Mientras que en la Zona Climática I el clima se cataloga como húmedo por presentar índices hídricos (Im) entre el 30% y el 85%, la Zona Climática II se cataloga como un clima muy húmedo, ya que presenta índices hídricos (Im) entre el 85% y el 135%. Este comportamiento define diferencias en el régimen hídrico, por cuanto la áreas ubicadas en la Zona Climática II experimentan una mayor ganancia hídrica durante los meses de la época lluviosa que las áreas ubicadas en la Zona Climática I.

Además de lo anterior, se identifican dos unidades geomorfológicas en las subcuencas de las quebradas Güitite Morazán y Las Hayas. Ambas unidades geomorfológicas presentan valores parecidos en el porcentaje de agua disponible en el suelo, siendo ligeramente mayor en la unidad geomorfológica volcánica (11,8 %) que en la unidad geomorfológica sedimentaria (10,9%), lo que indica que la cantidad de agua disponible para la vegetación es similar en ambas unidades geomorfológicas.

En relación con el déficit hídrico anual, se determina que las áreas cubiertas por pastos presentan los mayores valores del déficit hídrico anual, siendo superiores a los 500 mm al año. Contrariamente, las áreas cubiertas por bosques corresponden a las áreas con menor déficit hídrico anual, el cual es inferior a los 400 mm al año. Esto se debe a que, en las áreas cubiertas por pasto, durante los meses de época seca, la diferencia entre la cantidad de agua precipitada respecto a la cantidad de agua evapotranspirada es alta y los suelos almacenan muy poca humedad que puede ser cedida a la vegetación, siendo así que en marzo y abril los suelos ya no almacenan más humedad. Esto

produce un período de marchitamiento de la vegetación más crítico que en las áreas cubiertas por bosque.

Respecto a la ganancia hídrica anual, las mayores ganancias se presentan en áreas cubiertas por pasto, café y cítricos de la Zona Climática II. Comparadas con las áreas cubiertas por bosque de la Zona Climática II, las áreas cubiertas por pasto, café y cítricos experimentan mayores ganancias hídricas debido a que la profundidad de las raíces es menor y los requerimientos de humedad para el desarrollo de la vegetación es menor que la de los bosques. Por tal motivo, son áreas de importancia para la percolación del agua hacia las capas profundas del suelo.

El hecho de que en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas se presente una moderada disponibilidad hídrica se debe a las condiciones naturales del sistema hídrico de las subcuencas. La relación hidrológica que existe entre el régimen climático de la subcuencas, el agua disponible en el suelo para la vegetación y la distribución espacial de los usos del suelo coinciden con que la oferta de agua aprovechable como recurso al año no es abundante por lo que, tanto comunidades como instituciones relacionadas al sector hídrico, deben implementar medidas para que el uso del agua se realice de forma responsable y el territorio de las subcuencas no experimente un acelerado crecimiento de la demanda hídrica poblacional.

Las áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica anual corresponden a áreas cubiertas por bosque distribuidas a lo largo de quebradas y arroyos. En estas áreas la cantidad de agua aprovechable como recurso es moderada alta, por lo que es necesario que para estas áreas exista una adecuada regulación en el cambio de uso del suelo mediante la protección de la cobertura forestal según la Ley Forestal N°7575, la cuál debe ser acompañada de una adecuada gestión del manejo de residuos sólidos y líquidos a fin de preservar la calidad del recurso hídrico aprovechado.

Ante la presión que se experimenta sobre el recurso hídrico se debe fortalecer la protección y el resguardo las áreas de protección de nacientes y retiro de pozos que se presentan en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas. Estas áreas se encuentran normadas legalmente para prevenir que el agua aprovechada pueda ser contaminada. Para los terrenos que circundan nacientes que son captadas en terrenos agrícolas resulta fundamental realizar buenas prácticas agrícolas, mantener la cobertura boscosa existente y realizar un adecuado manejo de suelos.

La mayoría del área de las subcuencas presenta condiciones críticas de disponibilidad hídrica debido a la extensión en superficie que tienen terrenos cubiertos por pasto, café y críticos. Estas áreas críticas se distribuyen cerca de áreas urbanas por lo que el manejo y la planificación hídrica es fundamental para asegurar que el aprovechamiento del recurso hídrico sea adecuado a las realidades naturales del sistema hídrico de las subcuencas. Asimismo, es necesario que a nivel poblacional y comunitario se puedan desarrollar estrategias para promover una adecuada cultura del agua, consciente del uso responsable del recurso hídrico y la importancia del manejo sostenible del agua.

En este marco de cambio, la planificación a nivel de acueductos es esencial para que las comunidades beneficiadas del servicio que brindan las ASADAS ostenten una seguridad hídrica. Las ASADAS deben de velar por una adecuada planificación de los servicios que brindan los acueductos ya que la cantidad de agua producida en las cuencas no podrá soportar un acelerado crecimiento en el consumo poblacional.

La Municipalidad de Atenas debe promover un ordenamiento de los usos del suelo y las actividades productivas a fin de proteger el estado de los recursos hídricos que son aprovechados en las subcuencas. Este aspecto, abre una oportunidad para que, en coordinación con otras instituciones públicas y privadas, así como organizaciones comunales, puedan implementar estrategias de gestión y manejo ambiental en conjunto incentiven una adecuada planificación sobre el desarrollo socioeconómico en el territorio de las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas.

7.2. Recomendaciones

Regular el cambio de uso del suelo en áreas de bosque para asegurar la protección de estas áreas, según la Ley Forestal N°7575, dada la importancia que tienen los bosques como áreas con mejores condiciones de disponibilidad hídrica en las subcuencas. Asimismo, implementar un Plan para el Manejo de Residuos Sólidos y Líquidos en estas áreas con el fin de evitar la degradación del recurso hídrico superficial que es aprovechado.

Respetar el área de protección y retiro de las fuentes de captación/extracción del recurso hídrico conforme lo establece la Ley de Aguas N°276. Para ello, se deben promover estrategias de reforestación, manejo de suelos y limitación de actividades urbanas, agrícolas y ganaderas a fin de

evitar el riesgo por contaminación del recurso hídrico que es aprovechado en terrenos que circundan nacientes y pozos.

Incentivar un modelo de conservación del recurso hídrico en la parte alta de las subcuencas de las quebradas Güitite y Morazán, así como la parte alta y media de la subcuenca de la quebrada Las Hayas por la importancia que tienen estas partes de las subcuencas para la captación de nacientes y la generación de ganancias hídricas que permiten la percolación hacia las capas profundas del suelo.

Realizar actividades de sensibilización con las comunidades enfocadas en el fortalecimiento de una cultura hídrica de aprovechamiento acorde con el sistema hídrico de las subcuencas. Este trabajo debe realizarse mediante un acompañamiento a las comunidades desde el cual se comente la situación hídrica de las subcuencas y se involucre a las personas como parte de la solución.

Las ASADAS de Morazán y Altos de Naranjo se les recomienda implementar una estrategia de gestión del riesgo en acueductos, como los Planes de Seguridad del Agua, con el fin de realizar un adecuado manejo y planificación del servicio que brindan.

Elaborar un Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas para las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas que permita integrar el estado de la disponibilidad hídrica con el desarrollo socioeconómico de las comunidades de Morazán, Zacatal, Altos de Naranjo y San Isidro del cantón de Atenas.

8. REFERENCIAS

- Aguilar Valverde, M.J. (2016). Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, Costa Rica. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Aguirre Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5 (1), p.10-19.
- Andrade Pérez, A y Navarrete Le Blas, F. (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Aparicio, F. (1996). Fundamentos de hidrología de superficie. Editorial Limusa.
- Arauz Beita, I.I. (1993). Análisis de factores hídricos de la subcuenca del río Sarai. *Revista Geográfica de América Central*, n°.27, p. 11-31.
- Avendaño Leadem, D.F, Cedeño Montoya, B.C y Arroyo Zeledón, M.S. (julio-diciembre, 2020). Integrando el concepto de servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial. *Revista Geográfica de América Central*. 65 (2), p. 63-90.
- AyA. (2016). Política Nacional para el Subsector de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030/ Comisión Interinstitucional. San José: AyA.
- AyA. (2023). Informe de Evaluación de Entes Operadores II Semestre de 2023. SG-GSD-2023-0284. Dirección Evaluación y Mejoramiento de la Gestión.
- Barquero, A.I. (junio, 2009). Demanda creciente de agua y limitación de las fuentes accesibles. *Ambientico*, 189, p. 8-11.
- Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. y Stevens, M. (2009). Manual para el desarrollo de Planes de Seguridad del Agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Organización Mundial de la Salud.
- Benarroch Benarroch, A., Castro Velásquez, F.E., Clavijo Cuervo. V.J. y Ramírez Segado, A. (2021). La cultura del agua en los libros de texto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19 (1).

- Bergoeing, J.P., Malavassi, E. (1982a). Mapa Geomorfológico del Valle Central 1:50 000. Hojas Naranjo y Río Grande. Instituto Geográfico Nacional.
- Bergoeing, J.P. y Malavassi, E. (1982b). Geomorfología del Valle Central de Costa Rica: explicación de la carta geomorfológica 1:50 000. Departamento de Geografía, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Instituto Geográfico Nacional.
- Birkel, C. (2007). Introducción a la Hidrología. En Bergoeing, J.P y Brenes, L.G. (Eds), *Práctica de la Geografía – Volumen 1*. Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Briones, K. (2006). Riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas en un sector del acuífero Barva. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Calderón, G., Zulaica, M.L., Massone, H.E. & Torre, J.D. (2020). Vinculación entre el Ordenamiento Territorial y la gestión del agua en Argentina y en la provincia de Buenos Aires. Análisis de aspectos normativos institucionales (2003-2019). *Revista de Geografía Norte Grande*, n° 77, p. 173-190.
- Calvo Brenes, G. (2018). Índices e indicadores sobre la calidad del agua. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Camino, M.A., Bó, M.J., Cionchi, J.L., Del Río, J.L., López de Armentia, A y De Marco. S.G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*. 27 (1).
<https://revistas.uns.edu.ar/rug/article/view/4096>
- Carter, J.G. (2007). Spatial planning, water and the Water Framework Directive: insights from theory and practice. *The Geographical Journal*, 173 (4), p. 330-342.
- Cervantes, C. A y Mojica, F. (2003). Manual de laboratorio de edafología. EUNA.
- Chavarría Vidal, A. (2017). Fundamentos Teóricos de Relación Suelo – Agua – Planta. Programa de Conversión de Deuda de Honduras Frente a España.
- Chow, V.T., Maidment, A.R y Mays, L.W. (2000). Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw Hill.
- Cirelli Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11 (3), p. 147–170.
- Cortés, Ramírez, M. (2023). Estudio Técnico Integral del Acueducto de Morazán. ICO – 9523. Hidrotécnica de la Península. S.A.

- Cruz Romero, B; Rivera García, J.E y Sánchez Casanova, D. (enero-marzo, 2023). Rendimiento hídrico en cuencas del occidente de México y su función como proveedoras de agua. *Ambientico*, n° 285, p. 49-54.
- Dourojeanni, A.C. (2010). Protocolos, lineamientos, definiciones aplicables a la gestión integrada de recursos hídricos por cuenca hidrográfica.
https://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/informacion/protocolos_cuencas.pdf
- Dunne, T. & Leopold, L. (1978). *Water in environmental planning*. W.H. Freeman.
- Escobedo Portillo, A., Moreno Parra, R.A. y Mancera Valencia, F.J. (2024). El uso de dibujos y nubes de palabras para explorar representaciones sociales en la educación superior. *Revista de Investigación educativa de la Rediech*. 15 e2120, p. 1-27.
- Espinoza Cisneros, E. y Blanco Ramírez, S. (2019). Metodologías participativas aplicadas a la socio-hidrología y su potencial para la incidencia social: algunas reflexiones. *Reflexiones Revista de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Costa Rica*, 99 (2), p. 1-32.
- Esquivel, C. (2004). Un Plan para recuperar los ríos y acuíferos del Valle Central. *Revista Geográfica de América Central* N° 40, p. 125-131.
- FAO. (2025). *Guía Mapas Parlantes*. Caja de Herramientas.
<https://cajaherramientasgenero.fao.org.co/mod/hvp/view.php?id=306>
- Faustino, J. y Jiménez, F. (2000). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1
- Fetter, C.W. (2001). *Applied Hidrogeoly*. 3 ed. Macmillan College Publishing Company.
- Foster, S., D'Elia, M., Hirata, R., Gomes, D y París, M. (2003). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Banco Mundial.
- García López, M.X. (2020). *Mapa de nacientes del cantón de Atenas*. Escala 1: 20 000. Catastro y Topografía Municipalidad de Atenas.
- Gaspari F.L., Rodríguez Vagaría, A.M., Senisterra, G.E., Denegri, G., Delgado, M.I. y Besteiro, S. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista Electrónica del Comité de Medio Ambiente*. 4, p. 143-158.

- Geilfus, F. (2002). 80 herramientas para el desarrollo participativo. Diagnóstico, Planificación, Monitoreo y Evaluación. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA.
- Global Water Partnership. (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Estocolmo: GWP.
- Global Water Partnership. (2013). Guía para la aplicación de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) a nivel municipal. Tegucigalpa: GWP.
- Global Water Partnership. (2011). Balance Hídrico Superficial. Lima: GWP.
- Gómez Reyes, E. (septiembre – diciembre, 2013). Valoración de las componentes del balance hídrico usando información estadística y geográfica: la cuenca del Valle de México. Realidad, Datos y Espacio: Revista Internacional de Estadística y Geografía, 4 (3), p. 4-27.
- Gudiño, M.E y Cuello Rüttler, L.B. (2017). Derecho al agua: Aportes del Ordenamiento Territorial a la gestión y planificación de los recursos hídricos. En, Pinto, M., Estrella, J y Gennari, A.J. (eds). Agua y Sociedad. Editorial Lajouane.
- Guzmán Arias, I. (enero-marzo, 2008). Recursos hídricos en América Latina: planificación...es la estrategia. Tecnología en marcha, 21 (1), p. 161-173.
- Haesbaert, R. (janeiro-junho, 2006). Ordenamento Territorial. Boletín Goiano de Geografia. 26 (1). p. 117-124.
- Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación 6 ed. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Hernández Sampieri, R; Zapata Salazar, N.E. y Mendoza y Torres, C. P. (2013). Metodología de la Investigación para Bachillerato. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Hernando Echeverría, L y Orozco, Montoya, R. (2015). Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez. Región Central de Costa Rica. Observatorio Medioambiental, vol 18, p. 165-181.
- Hernando Echeverría, L. (1988). Balance Hídrico en la Cuenca del río Poás. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Hernando Echeverría, L., Patterson Casanova, O., Ruiz Hernández, A., Ramos Jiménez, R y Garro Piedra, L. (2003). Proyecto: Manejo y Ordenamiento Territorial de Cuencas de Costa Rica. El caso de la microcuenca del río Poás. Universidad Nacional [Documento inédito].

- Hernando Echeverría, L., Ruiz Hernández, A y Solís Zamora, K. (2012). Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Segundo, Región Central Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, n°48, p.117-132.
- Hernando, L. (1993). Recarga de aguas subterráneas en la cuenca del río Poás. *Revista Geográfica de América Central*, n°27, 137-151.
- Hernando, L. (2017). Proyecto Balance Hídrico de la Región Central de Costa Rica, el caso de la microcuenca del río Pará. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica.
- Hernando, L., Ruiz, A., Achío, H., Rodríguez, P., Barrantes, N y Masís, K. (2007). Balance Hídrico de la Región Central de Costa Rica. El caso de la microcuenca del río Ciruelas. Universidad Nacional, Costa Rica [Documento inédito].
- Herrera Cervantes, G. (2011). Propuesta para el uso eficiente del agua potable en el Distrito Oriental del Cantón Central de la Provincia de Cartago. [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
- Herrera, W. (1985). *Clima de Costa Rica*. EUNED.
- IDEAM. (2004). Metodología para el cálculo del índice de Escasez de Agua Superficial. Lima: INEI.
- IMN. (2021). Proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica. Escenarios RCP -2,6 y RCP -8,5. Ministerio de Ambiente y Energía. Dirección de Geología y Minas.
- IMN. (2021). Proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica. Escenarios RCP -2,6 y RCP -8,5. Ministerio de Ambiente y Energía. Dirección de Geología y Minas.
- INTA. (2016). Suelos de Costa Rica. Orden Ultisol. Boletín Técnico 1. Departamento de Transferencia e Información Tecnológica – INTA.
- INVU. (2018). Manual de Planes Reguladores como Instrumento de Ordenamiento Territorial. San José: INVU.
- Jiménez Otárola, F y Benegas Negri, L. (enero-junio, 2019). Experiencias y contribuciones del CATIE al manejo y gestión de cuencas hidrográficas en América tropical. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53 (1), p. 153-170.
- Keller, E.A. & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscapes*. 2nd edition. Prentice Hill.

- López Báez, Walter. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramientas para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 23 (2), p. 39-45.
- López Guzmán, L. (1968). Primer centenario de la Fundación del cantón de Atenas. Estudio monográfico. Librería, Imprenta y Litografía Talleres Tipográficos Antonio Lehmann.
- Lozano Parra, J. (2018). Recursos hídricos. Disponibilidad, variabilidad y gestión. *Revista Geográfica Norte Grande*. N° 71, p. 5-8.
- Lux Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas. <https://core.ac.uk/download/pdf/35294551.pdf>
- Madriz, H. (2022). Comunicación personal, 19 de octubre de 2022.
- MAG. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Manso, P., Stolz, W y Fallas, J.C. (2005). El régimen de la precipitación en Costa Rica. *Ambientico*. N°144, p. 7-8.
- Martínez Serrano, A. (2017). Zonificación Geoecológica, un criterio para la interpretación y el análisis espacial del paisaje urbano de la ciudad de Morelia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n°73, p. 343-367.
- Mata, R., Rosales A., y Sandoval, D. (2016). Mapa de órdenes de suelos de Costa Rica a escala 1: 200 000. Actualización de 2016 basa en Vázquez, 1989. Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica.
- McJunkin, F.E. (1988). *Agua y Salud Humana*. Editorial LIMUSA.
- MINAE, SEPLASA, DCC, IMN, MIDEPLAN y CNE. (2018). Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica 2018-2030. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/01/Politica-Nacional-de-Adaptacion-al-Cambio-Climatico-Costa-Rica-2018-2030.pdf>
- MINAET, Dirección de Agua, SENARA y AyA. (2013). “Agenda del Agua” Costa Rica: 2013 - 2030. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/documento_de_posicionamiento_agenda_del_agua_nov_20121.pdf

- MINAET. (2009). Política Hídrica Nacional. MINAET.
<https://da.go.cr/wpcontent/uploads/2018/05/Política-Hídrica-Nacional.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2012). Política Nacional de Ordenamiento Territorial 2012-2040.
https://www.mivah.go.cr/Documentos/transparencia/Informes_Gestion/Inf_Ges_Min_Irene_Campos/PNOT_2012-10-22_Aprobada.pdf
- Monge Cordero, M.M. (2020). Estudio Hidrogeológico para la subcuenca del río Grande, Valle Central Occidental, Costa Rica. Dirección de Investigación y Gestión Hídrica del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA).
- ONU - Agua. (2021). Resumen actualizado de 2021 sobre los progresos en el ODS 6: agua y saneamiento para todos. Organización de las Naciones Unidas.
- Ordóñez Gálvez, J.J. (2011). Balance Hídrico Superficial. Cartilla Técnica. Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Sociedad Geográfica de Lima y GWP. Foro Peruano para el Agua.
- Paniagua Alfaro, H y Rodríguez Alfaro, N. (2019). Guía de Gestión de Riesgos para ASADAS (GIRA). Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Costa Rica.
- Pike, R.J. y Wilson, S.E. (1971). Elevation-Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphic Area-Altitude Analysis. Geological Society of America Bulletin, vol 82, p. 1079-1084.
- Piñeyro, N. (2006). Agua y semiótica. Polis Revista Latinoamericana. 14, p. 1-25.
- PNUD, IMN y MINAET. (2011). Estudio de las Cuencas Hidrográficas de Costa Rica. Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico. MINAET-IMN.
- Pochat, V. (2008). Principios de GIRH. Bases para el desarrollo de planes nacionales. Global Water Partnership.
- Programa Estado de la Nación (2022). Capítulo: Armonía con la naturaleza. En, Estado de la Nación 2022. CONARE – PEN.
- Programa Estado de la Nación. (2002). Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Octavo informe 2001. PEN.
- Programa Estado de la Nación. (2024). Capítulo: Armonía con la naturaleza. En, Estado de la Nación 2024. CONARE – PEN.

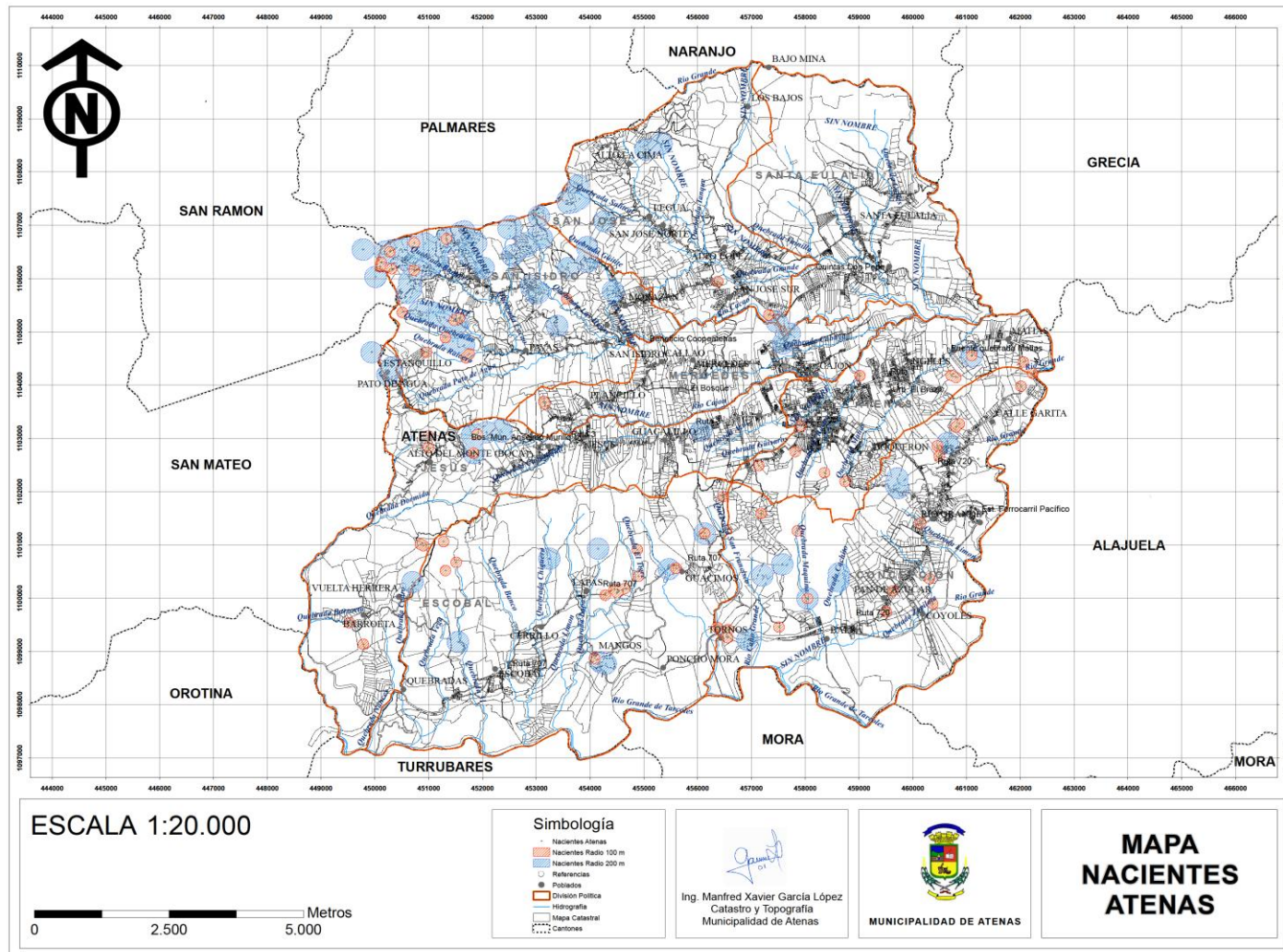
- Proyecto Humedales. (2016). Canon de Aprovechamiento de Agua: 10 años invirtiendo en el recurso hídrico. SINAC - PNUD.
- Quesada Román, A. y Barrantes Castillo, G. (diciembre, 2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía*, 94, p. 1-12.
- Racca, J.M.G. (2007). Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias a partir de modelos digitales de terreno. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 77 (1-2), p.31-38.
- Reyes Soto, I.M. (julio-diciembre, 2020). Nube de palabras. *Eutopía*. 12 (33), p. 55-56.
- Robles, I.M. & Maldonado, L.F. (2018). The culture of watercare and consumption habits in Querétaro. *CONIIN: XIV Congreso Internacional de Ingeniería*.
- Rodríguez Cerda, O., Melo Carrasco, M., Sánchez Bárcenas, A. García Mendoza, K. y Lázaro Martínez, D. (2002). El agua: representaciones y creencias del ahorro y el dispendio. *Polis*, 1, p. 29-44.
- Rojas Herrera, J.G. (2023). Informe Técnico para el Análisis de Capacidad Instalada y Balance Hídrico de la ASADA de los Altos de Naranjo San Isidro de Atenas Alajuela. Constructora HRH.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.
- Sánchez Molina, V. (2003). Gestión ambiental participativa de microcuencas. EUNA.
- Sánchez San Román, F.J. (2017). Hidrología superficial y subterránea. Publicación Independiente.
- Santos, M. (2000). La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción. Barcelona: Editorial Ariel Geografía.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de SEMARNAT. (2006). El medio ambiente en México 2005: Resumen. SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Ciudad de México: Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable.
- Senciales González, J.M. (1998). El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico. *Norba: Revista de Geografía*, 10, p. 155-184.

- Sibaja Cascante, M. (2013). El crecimiento urbano y la producción hídrica en la cuenca del río Porrosatí, provincia de Heredia, Costa Rica. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica].
- Solano Mata, F. (2008). Una contribución desde la Geografía afín al estudio de cuencas hidrográficas tropicales. En Bergoing, J.P. y Brenes, L.G. (Eds), *Práctica de la Geografía – Volumen 2*. Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Solano Quintero, J y Villalobos Flores, R. (2001). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfico Climático de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 8 (1), p. 26-39.
- Solano, G. (2025). Comunicación personal, 14 de junio de 2025.
- Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of erosional topography. *Bolletín of the Geological Society of America*. vol 63, p, 1117-1142.
- Strahler, A.N. y Strahler, A.H. (2000). *Geografía Física*. 3era reimpresión. Editorial Omega.
- Stutter, M.I., Chardon, W.J & Kronvang, B. (2012). Riparian Buffer Strips as a Multifunctional Management Tool in Agricultural Landscapes: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 41, p. 297-303.
- Thorntwaite, C.W y Mather, J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in climatology*, 10 (3). New Jersey: Drexel Institute of Technology.
- Un Water. (2019). Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. Un Water.
- Vahrson, W. y Romero, M. (1984). Determinación de curvas de retención, densidad, aparente, porosidad, distribución aproximada de los poros y agua disponible. *Avances en Geografía*. N°9, 125-136.
- Valverde, R. (2016). *La problemática del agua en Costa Rica*. Editorial UCR.
- Vargas Castilleja, R; Rolón Aguilar, J; Treviño Trujillo, J y Ruiz del Ángel, E. (2017). Capítulo 4: Disponibilidad del Recurso Hídrico Superficial. En Arcos, G; González, G y Martínez, E. (eds). *El Recurso Hídrico en Tamaulipas: La Cuenca del Río Guayalejo Tamesí*. Editorial Palibrio.

- Vargas Sanabria, A. (2001). El Manejo Histórico de los recursos hídricos en Costa Rica con énfasis en el período indígena y en los siglos XVI, XVII, XVIII, y XIX. Anuario de Estudios Centroamericanos, Universidad de Costa Rica. 27 (1), p. 59-81.
- Villareal, E y Wilson, B. (2022). El agua como derecho humano: reconocimientos y disputas en Costa Rica. CONARE – PEN.
- Villón Béjar, M. (2022). Hidrología 2 ed. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Ward, A.D., Trimble, S.W., Burckhard, S.R y Lyon, J.G. (2016). Environmental Hydrology. 3 ed. CRC Press.
- Wiering, M. & Immik, I. (2006). When water management meets spatial planning: a policy-arrangements perspective. Environment and Planning: Government and Policy. Volumen 24, p. 423-438.
- Workneh, H.T., Chen, X., Ma, Y., Bayable, E. & Dash, A. (2024). Comparison of IDW, Kriging and orographic based linear interpolations of rainfall in six rainfall regimes of Ethiopia. Journal of Hydrology. Regional Studies. n° 52, p. 1 – 17.

9. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de nacientes del cantón de Atenas



Fuente: García (2020).

Anexo 2: Resultados de las muestras del primer perfil del suelo para la obtención de la Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Muestra	Perfil	Peso cilindro (g)	Peso saturado (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Olla de la muestra (ba)	CC %	PMP %
P1h13	1	91,57	256,03	232,93	197,89	15	-	38,42
P1h14	1	91,80	251,9	235,12	196,02	0,33	43,44	-
P1h15	1	89,26	256,94	235,77	194,71	0,33	45,62	-
P1h21	1	91,61	258,51	234,74	210,63	15	-	26,47
P1h22	1	88,32	244,86	227,41	193,74	0,33	37,41	-
P1h23	1	90,10	243,56	210,40	189,26	15	-	23,16
P1h24	1	99,01	260,49	241,84	203,09	0,33	43,06	-
P1h25	1	91,57	255,38	229,60	206,25	15	-	25,63
P1h31	1	92,74	253,45	234,63	201,21	0,33	37,13	-
P1h32	1	92,24	252,63	222,23	198,67	15	-	25,83
P1h33	1	90,87	263,14	245,62	209,24	0,33	40,42	-
P1h34	1	96,52	256,87	221,83	200,44	15	-	23,45

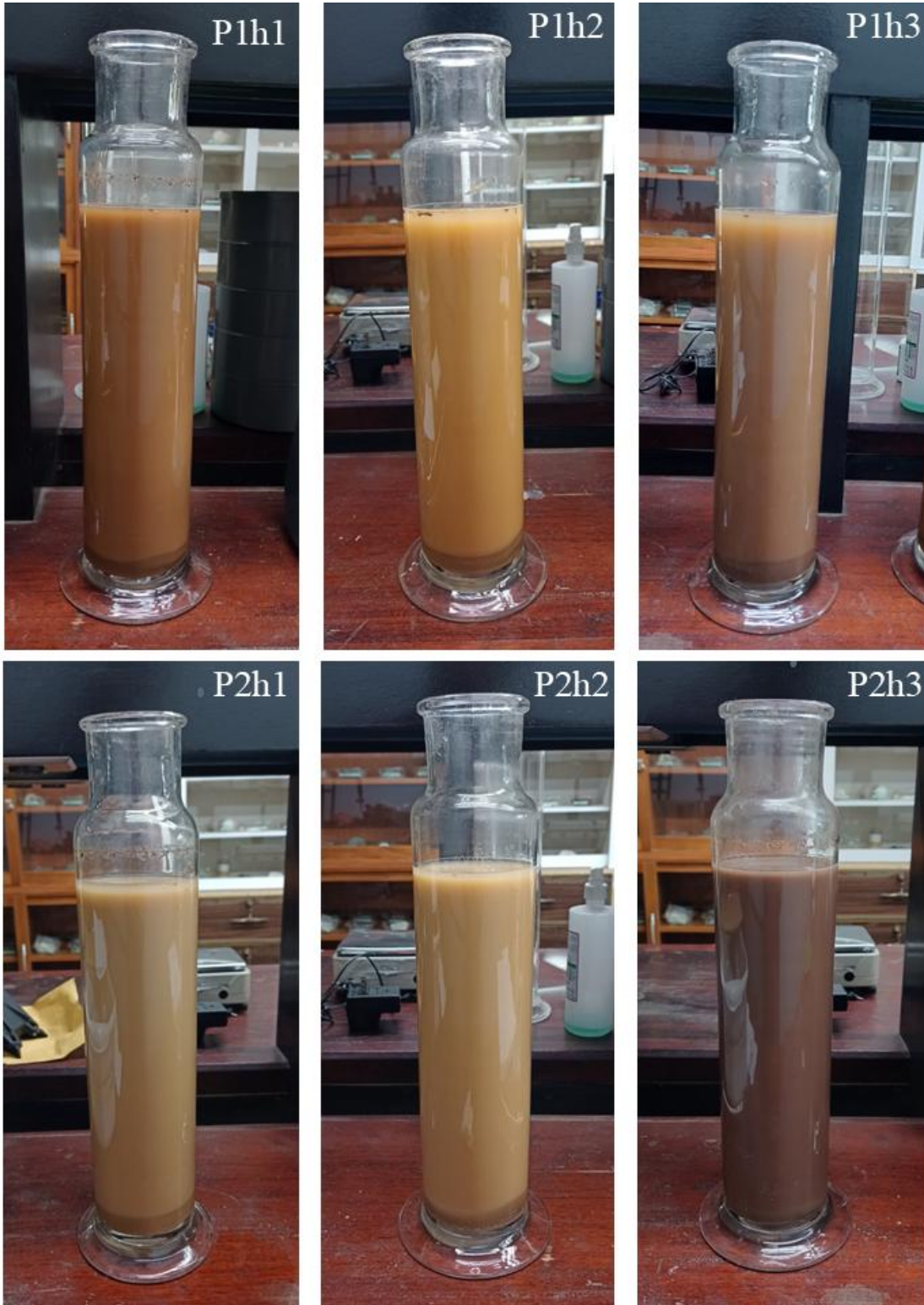
Fuente: elaboración propia.

Anexo 3: Resultados de las muestras del segundo perfil del suelo para la obtención de la Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Muestra	Perfil	Peso cilindro (g)	Peso saturado (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Olla de la muestra (ba)	CC%	PMP%
P2H12	2	87,23	235,23	202,16	181,4	15	-	22,72
P2H13	2	91,38	258,86	235,85	200,85	0,33	38,89	-
P2H15	2	92,14	250,13	216,81	194,59	15	-	24,35
P2H17	2	89,51	239,01	214,61	185,86	0,33	31,94	-
P2H18	2	91,53	243,79	215,79	188,55	0,33	30,27	-
P2H19	2	91,37	246,71	213,91	193,77	15	-	22,07
P2H21	2	89,92	243,98	225,88	194,58	0,33	34,78	-
P2H22	2	91,04	250,59	224,26	198,92	15	-	27,79
P2H23	2	91,14	270,26	254,54	220,34	0,33	38,00	-
P2H24	2	91,09	264,31	241,31	213,37	15	-	30,69
P2H31	2	99,46	259,48	219,20	193,32	15	-	28,33
P2H33	2	88,24	234,52	196,68	174,64	15	-	24,09
P2H34	2	92,63	251,97	230,07	190,13	0,33	44,38	-
P2H35	2	89,60	256,93	233,07	198,76	0,33	38,12	-

Fuente: elaboración propia.

Anexo 4: Muestra de suelo en cilindros de Bouyoucos



Fuente: Alvarado, J.I. Fotografías tomadas el 05 y 09 de junio de 2025.

Anexo 5: Lista de personas que asistieron a la reunión del 22 de marzo de 2025

	Nombre	Representación	Ocupación
1	Roberth Naranjo Rodríguez	Presidente ADI Altos de San Isidro de Atenas	Comerciante
2	Belisario Campos Mena	Fiscal ASADA Altos de Naranjo de Atenas	Productor de café
3	Seila Campos Mena	Vocal ASADA Altos de Naranjo y miembro de CAANSIA, Atenas	Ama de casa
4	Geiner Solano Vargas	Vocal ADI San Isidro de Atenas	Notificador municipal, Departamento de Cobros, Municipalidad de Atenas y criador de ganado
5	Álvaro Hidalgo Ramírez	Tesorero ADI Altos de San Isidro de Atenas	Pensionado y administrador de librería
6	Andrés Chaves Ramírez	Presidente ASADA Altos de Naranjo de Atenas	Docente universitario y productor de café

Anexo 6: Participantes de la reunión del día 22 de marzo de 2025



Fuente: Hernando Echeverría, L. Fotografía tomada el 22 de marzo de 2025.

Anexo 7: Lista de personas que participaron en el taller del 14 de junio de 2025

	Nombre	Representación	Ocupación
1	Luis Fernando Chaves Sancho	Contador ASADA Altos de Naranjo de Atenas	Contaduría
2	Virgita Rodríguez Vargas	Tesorera ASADA Altos de Naranjo de Atenas	Turismo Rural
3	Bertha Alicia Gómez Ochoa	Tesorera ADI San Isidro de Atenas	Servicio al cliente
4	Geiner Solano Vargas	Vocal ADI San Isidro de Atenas	Notificador municipal, Departamento de Cobros, Municipalidad de Atenas y criador de ganado
5	Álvaro Hidalgo Ramírez	Tesorero ADI Altos de San Isidro de Atenas	Pensionado y administrador de librería
6	Andrés Chaves Ramírez	Presidente ASADA Altos de Naranjo de Atenas	Docente universitario y productor de café

Anexo 8: Balance hídrico 1

Unidad geomorfológica:	Sedimentaria	Profundidad de las raíces:	200 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	10,9 %
Uso del suelo:	Bosque	LAD:	218,9 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite	Subcuenca Q. Morazán	Subcuenca Q. Las Hayas
	0,215 km ²	0,182 km ²	0,129 km ²

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	78,71	45,11	23,16	17,62	218,90	218,90	218,90	218,90	218,90	218,90	218,90	138,69	1835,59
ΔHSD	-59,99	-33,60	-21,95	-5,54	201,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-80,21	402,57
ETA	67,81	44,82	40,07	100,05	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	102,61	1259,59
D	61,59	85,86	121,13	53,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,73	339,48
G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	189,62	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1168,59

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 9: Balance hídrico 2

Unidad geomorfológica: Sedimentaria	Profundidad de las raíces: 15 cm
Zona climática: I	Agua disponible: 10,9 %
Uso del suelo: Pasto	LAD: 16,4 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,371 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,201 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,091 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	0,00	0,00	0,00	0,00	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	0,04	114,84
ΔHSD	-0,04	0,00	0,00	0,00	16,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-16,36	32,80
ETA	7,87	11,22	18,12	94,51	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	38,77	1074,70
D	121,54	119,46	143,08	58,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	81,57	524,36
G	0,00	0,00	0,00	0,00	181,61	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1353,48

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 10: Balance hídrico 3

Unidad geomorfológica:	Sedimentaria	Profundidad de las raíces:	40 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	10,9 %
Uso del suelo:	Café	LAD:	43,8 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,141 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,029 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,034 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	0,26	0,02	0,00	0,00	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	43,80	4,48	311,36
ΔHSD	-4,21	-0,25	-0,02	0,00	43,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-39,32	87,60
ETA	12,04	11,47	18,14	94,51	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	61,73	1102,10
D	117,37	119,22	143,06	58,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,61	496,96
G	0,00	0,00	0,00	0,00	154,22	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1326,08

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 11: Balance hídrico 4

Unidad geomorfológica:	Sedimentaria	Profundidad de las raíces:	100 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	10,9 %
Uso del suelo:	Cítricos	LAD:	109,5 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,070 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,060 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,011 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	14,17	4,66	1,23	0,71	109,50	109,50	109,50	109,50	109,50	109,50	109,50	43,98	831,24
ΔHSD	-29,81	-9,51	-3,43	-0,52	108,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-65,52	217,58
ETA	37,63	20,73	21,55	95,02	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	87,93	1167,09
D	91,77	109,95	139,65	58,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,41	431,97
G	0,00	0,00	0,00	0,00	89,23	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1261,09

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 12: Balance hídrico 5

Unidad geomorfológica: Volcánica	Profundidad de las raíces: 200 cm
Zona climática: I	Agua disponible: 11,8 %
Uso del suelo: Bosque	LAD: 236,0 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,096 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,081 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,122 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	91,38	54,53	29,38	22,80	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	154,56	2004,65
ΔHSD	-63,17	-36,85	-25,15	-6,58	213,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-81,44	426,41
ETA	71,00	48,08	43,27	101,09	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	103,85	1271,51
D	58,41	82,61	117,93	52,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,49	327,56
G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	177,70	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1156,67

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 13: Balance hídrico 6

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	15 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	11,80 %
Uso del suelo:	Pasto	LAD:	17,7 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,060 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,072 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,141 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	0,00	0,00	0,00	0,00	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	0,06	123,96
ΔHSD	0,06	0,00	0,00	0,00	17,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-17,64	35,40
ETA	7,89	11,22	18,12	94,51	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	40,04	1076,00
D	121,52	119,46	143,08	58,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,30	523,06
G	0,00	0,00	0,00	0,00	180,31	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1352,18

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 14: Balance hídrico 7

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	40 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	11,80 %
Uso del suelo:	Café	LAD:	47,2 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,126 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,207 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,376 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	0,41	0,03	0,00	0,00	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	5,69	336,53
ΔHSD	5,28	-0,38	-0,03	0,00	47,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-41,51	94,40
ETA	13,10	11,60	18,15	94,51	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	63,92	1105,50
D	116,31	119,08	143,05	58,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,42	493,56
G	0,00	0,00	0,00	0,00	150,82	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1322,68

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 15: Balance hídrico 8

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	100 cm
Zona climática:	I	Agua disponible:	11,8 %
Uso del suelo:	Cítricos	LAD:	118,0 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,004 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,115 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,037 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	7,83	11,22	18,12	94,51	341,48	314,90	257,42	324,70	412,21	448,18	175,21	22,41	2428,18
ETP	129,41	130,69	161,20	153,21	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	120,34	1599,06
P - ETP	-121,58	-119,46	-143,08	-58,70	198,01	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	-97,94	829,12
PPA	-219,52	-338,98	-482,06	-540,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-97,94	
HSD	17,69	6,30	1,83	1,10	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	50,61	903,53
ΔHSD	-32,92	-11,39	-4,47	-0,73	116,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-67,39	233,80
ETA	40,74	22,61	22,59	95,23	143,46	122,01	119,34	143,51	136,69	126,63	112,57	89,80	1175,20
D	88,66	108,07	138,61	57,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,54	423,86
G	0,00	0,00	0,00	0,00	81,12	192,89	138,08	181,19	275,52	321,54	62,64	0,00	1252,98

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 16: Balance hídrico 9

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	200 cm
Zona climática:	II	Agua disponible:	11,8 %
Uso del suelo:	Bosque	LAD:	236,0 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,051 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,029 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,089 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	4,64	7,49	12,40	68,54	349,21	365,83	281,98	364,08	495,99	501,34	207,97	27,94	2687,42
ETP	122,57	123,83	153,07	145,91	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	114,22	1521,62
P - ETP	-117,93	-116,34	-140,67	-77,37	212,40	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	-86,28	1165,80
PPA	-204,21	-320,55	-461,22	-538,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-86,28	
HSD	97,64	59,05	32,15	23,01	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	236,00	162,54	2026,39
ΔHSD	-64,90	-38,58	-26,90	-9,14	212,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-73,46	425,98
ETA	69,54	46,07	39,30	77,68	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	101,40	1196,02
D	53,02	77,75	113,77	68,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,82	325,60
G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	248,75	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	0,00	1491,40

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 17: Balance hídrico 10

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	15 cm
Zona climática:	II	Agua disponible:	11,8 %
Uso del suelo:	Pasto	LAD:	17,7 mm

Área:	Subcuenca Q. Gütite 0,032 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,051 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,168 km ²
-------	---	--	--

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	4,64	7,49	12,40	68,54	349,21	365,83	281,98	364,08	495,99	501,34	207,97	27,94	2687,42
ETP	122,57	123,83	153,07	145,91	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	114,22	1521,62
P - ETP	-117,93	-116,34	-140,67	-77,37	212,40	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	-86,28	1165,80
PPA	-204,21	-320,55	-461,22	-538,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-86,28	
HSD	0,00	0,00	0,00	0,00	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	17,70	0,12	124,02
ΔHSD	-0,12	0,00	0,00	0,00	17,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-17,58	35,40
ETA	4,76	7,49	12,40	68,54	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	45,52	1000,73
D	117,80	116,34	140,67	77,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,70	520,89
G	0,00	0,00	0,00	0,00	194,70	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	0,00	1686,69

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 18: Balance hídrico 11

Unidad geomorfológica:	Volcánica	Profundidad de las raíces:	40 cm
Zona climática:	II	Agua disponible:	11,8 %
Uso del suelo:	Café	LAD:	47,2 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,519 km ²	Subcuenca Q. Morazán 0,130 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,398 km ²
-------	---	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	4,64	7,49	12,40	68,54	349,21	365,83	281,98	364,08	495,99	501,34	207,97	27,94	2687,42
ETP	122,57	123,83	153,07	145,91	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	114,22	1521,62
P - ETP	-117,93	-116,34	-140,67	-77,37	212,40	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	-86,28	1165,80
PPA	-204,21	-320,55	-461,22	-538,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-86,28	
HSD	0,57	0,05	0,00	0,00	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	47,20	7,31	338,34
ΔHSD	-6,74	-0,53	-0,04	0,00	47,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-39,89	94,40
ETA	11,38	8,02	12,44	68,54	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	67,83	1030,23
D	111,18	115,81	140,63	77,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,40	491,39
G	0,00	0,00	0,00	0,00	165,20	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	0,00	1657,19

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 19: Balance hídrico 12

Unidad geomorfológica: Volcánica	Profundidad de las raíces: 100 cm
Zona climática: II	Agua disponible: 11,8 %
Uso del suelo: Cítricos	LAD: 118,0 mm

Área:	Subcuenca Q. Güitite 0,003 km ²	Subcuenca Q. Las Hayas 0,022 km ²
-------	---	---

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
P	4,64	7,49	12,40	68,54	349,21	365,83	281,98	364,08	495,99	501,34	207,97	27,94	2687,42
ETP	122,57	123,83	153,07	145,91	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	114,22	1521,62
P - ETP	-117,93	-116,34	-140,67	-77,37	212,40	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	-86,28	1165,80
PPA	-204,21	-320,55	-461,22	-538,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-86,28	
HSD	20,20	7,39	2,19	1,12	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	118,00	55,97	912,87
ΔHSD	-35,78	-12,81	-5,20	-1,07	116,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-62,03	233,76
ETA	40,42	20,30	17,60	69,61	136,82	116,50	114,07	136,50	130,39	120,68	107,07	89,97	1099,91
D	82,15	103,53	135,48	76,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,25	421,71
G	0,00	0,00	0,00	0,00	95,52	249,34	167,92	227,58	365,60	380,67	100,89	0,00	1587,51

P: Precipitación **ETP:** Evapotranspiración potencial **PPA:** Pérdida potencial acumulada **HSD:** Humedad del suelo disponible
ΔHSD: Cambio de humedad del suelo disponible **ETA:** Evapotranspiración actual **D:** Déficit **G:** Ganancia

Fuente: Elaborado con datos del IMN, 2001 – 2014.

Anexo 20: Distribución porcentual del déficit hídrico en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

Déficit hídrico	Subcuenca quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
0 mm 400 mm	0,36	21	0,29	24	0,34	20
400 mm a 450 mm	0,08	5	0,18	15	0,07	4
450 mm a 500 mm	0,79	46	0,37	30	0,81	49
más de 500 mm	0,46	27	0,32	26	0,4	24
No se considera	0,03	2	0,06	5	0,04	2
Total	1,72	100	1,22	100	1,66	100

Anexo 21: Distribución porcentual de la ganancia hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

Ganancia hídrica	Subcuenca quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
0 mm 1200 mm	0,31	18	0,26	21	0,25	15
1200 mm a 1400 mm	0,77	45	0,69	57	0,69	42
1400 mm a 1600 mm	0,05	3	0,03	2	0,11	7
más de 1600 mm	0,55	32	0,18	15	0,57	34
No se considera	0,04	2	0,06	5	0,04	2
Total	1,72	100	1,22	100	1,66	100

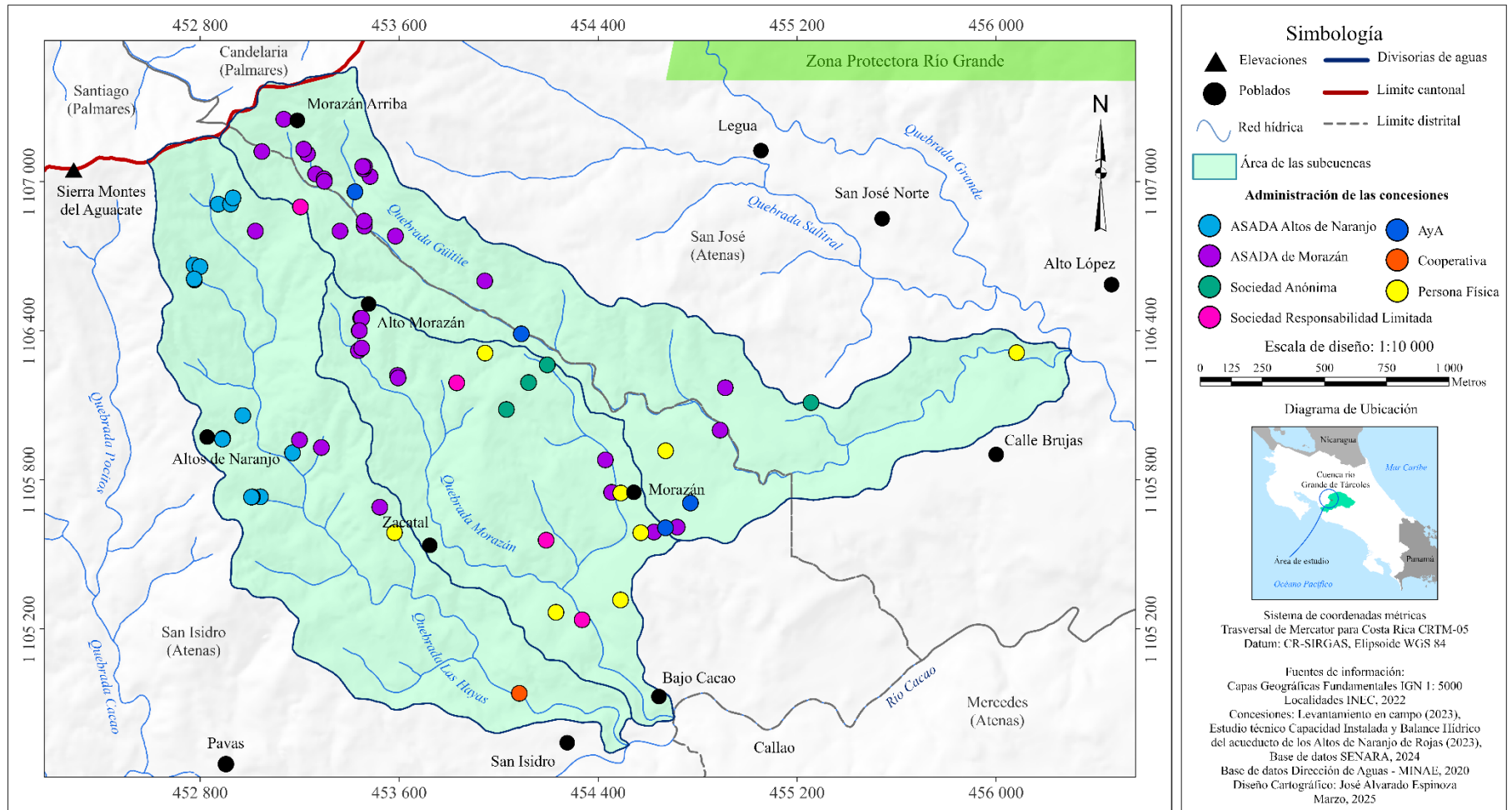
Anexo 22: Distribución porcentual de la oferta hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

Oferta hídrica	Subcuenca quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Baja	1,25	72	0,68	56	1,21	73
Media	0,09	5	0,18	15	0,07	4
Alta	0,36	21	0,29	24	0,34	20
No se considera	0,04	2	0,06	5	0,04	2
Total	1,74	100	1,21	100	1,66	100

Anexo 23: Distribución porcentual de la demanda hídrica en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas

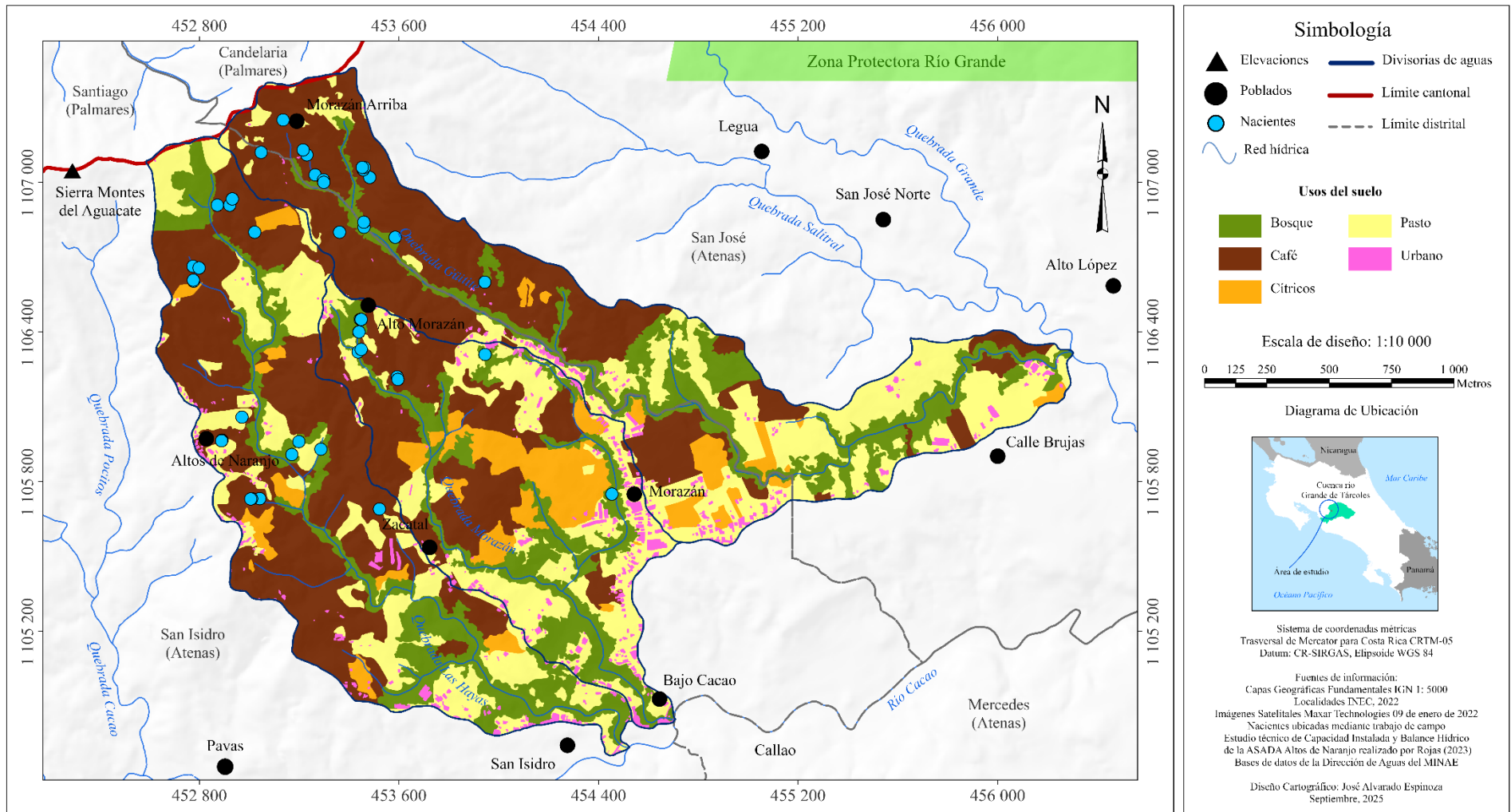
Demanda hídrica	Subcuenca quebrada Güitite		Subcuenca Quebrada Morazán		Subcuenca Quebrada Las Hayas	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Baja	1,25	72	0,68	56	1,21	73
Media	0,09	5	0,18	15	0,07	4
Alta	0,36	21	0,29	24	0,34	20
No se considera	0,04	2	0,06	5	0,04	2
Total	1,74	100	1,21	100	1,66	100

Anexo 25: Distribución espacial de concesionarios de agua superficial y subterránea en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Levantamiento en campo (2023), Rojas (2023), base de datos sobre pozos del SENARA y registro de concesiones otorgadas e inscritas en la Dirección de Aguas del MINAE.

Anexo 26: Nacientes y usos del suelo en las subcuencas de las quebradas Güitite, Morazán y Las Hayas



Fuente: Imágenes Satelitales Maxar Technologies, 09 de enero de 2022. Levantamiento en campo (2023), Rojas (2023) y base de datos de la Dirección de Aguas del MINAE

Anexo 27: Datos de precipitación total mensual de la estación 84059: La Luisa, Sarchí

Estación 84059: La Luisa, Sarchí. Instituto Meteorológico Nacional													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	0,0	0,0	0,7	18,5	502,0	344,1	168,8	293,1	430,8	631,6	121,2	77,5	2588,3
2002	4,5	11,0	0,0	0,0	374,7	350,8	366,9	283,1	569,8	411,3	217,2	6,4	2595,7
2003	0,0	15,5	40,3	124,2	451,4	586,1	432,6	386,9	681,4	692,3	423,1	68,0	3901,8
2004	4,5	0,5	0,0	4,1	462,2	248,7	433,5	297,7	555,4	810,0	219,6	7,6	3043,8
2005	15,4	0,0	65,9	33,6	465,7	711,9	386,3	509,9	650,8	932,9	250,7	66,8	4089,9
2006	38,4	25,3	0,0	19,7	375,2	625,9	359,6	435,7	616,9	516,5	383,1	87,5	3483,8
2007	0,0	11,7	1,0	152,3	438,5	472,4	378,9	628,1	826,6	747,9	198,8	11,9	3868,1
2008	0,0	31,0	0,0	65,6	606,8	555,4	369,9	625,6	694,7	706,9	235,3	27,5	3918,7
2009	10,3	0,0	0,0	0,0	461,6	502,4	148,0	454,7	396,0	491,3	331,9	16,6	2812,8
2010	0,0	10,4	50,3	240,7	260,5	679,5	870,3	795,1	866,1	263,9	427,0	15,7	4479,5
2011	2,3	14,4	7,3	44,7	341,9	328,1	415,3	377,2	402,8	762,2	211,2	31,5	2938,9
2012	0,0	0,0	0,0	133,3	463,2	255,1	230,4	553,7	526,1	351,8	100,5	6,5	2620,6
2013	0,0	0,0	0,0	47,9	277,5	386,5	384,3	362,8	611,5	835,1	235,8	0,0	3141,4
2014	0,0	0,0	0,0	100,3	284,2	311,8	82,4	411,4	651,7	414,2	87,3	0,0	2343,3

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Anexo 28: Datos de precipitación total mensual de las estaciones 84021 y 84169, Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, Alajuela

Estaciones 84021 y 84169: Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, Alajuela. Instituto Meteorológico Nacional.													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	11,4	0,0	11,8	20,0	295,3	133,8	138,6	122,8	171,7	293,0	76,3	37,6	1312,3
2002	26,5	2,8	0,0	15,0	195,9	138,9	161,9	126,4	347,7	305,7	153,5	32,2	1506,5
2003	0,0	11,0	41,8	163,0	246,3	369,4	132,0	222,6	354,5	431,8	285,2	70,5	2328,1
2004	5,0	3,5	16,1	19,2	392,4	82,9	146,9	214,6	293,1	256,2	163,1	5,9	1598,9
2005	9,6	6,8	53,2	31,0	213,6	296,7	130,5	195,0	397,1	425,9	129,3	40,0	1928,7
2006	15,3	14,3	4,8	68,8	284,7	211,4	332,8	201,7	286,8	186,4	287,4	77,8	1972,2
2007	0,1	0,1	20,4	35,1	317,0	259,2	135,6	375,1	400,7	484,1	157,1	12,9	2197,4
2008	3,0	30,3	31,8	168,0	445,2	45,8	139,2	465,5	389,8	430,6	156,2	55,2	2360,6
2009	14,1	1,0	3,2	3,0	289,8	239,4	99,8	133,7	129,4	233,7	11,9	6,8	1165,8
2010	24,0	11,4	35,2	122,2	159,6	223,0	276,8	299,4	542,3	227,2	262,2	8,1	2191,4
2011	3,3	20,0	22,8	21,2	101,9	261,8	205,5	200,9	203,0	166,7	150,8	42,6	1400,5
2012	0,0	1,0	4,0	53,4	152,2	138,0	136,4	307,2	263,7	131,7	67,1	11,1	1265,8
2013	0,0	20,7	4,6	107,6	178,7	285,4	80,0	123,8	389,1	411,9	123,2	4,5	1729,5
2014	0,9	0,4	8,5	64,3	199,1	236,2	30,4	168,4	224,1	392,0	112,0	4,0	1440,3

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Anexo 29: Datos de precipitación total mensual de la estación 84010 Alajuela Centro, Alajuela

Estación 84010: Alajuela Centro, Alajuela. Instituto Meteorológico Nacional													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	11,9	0,0	2,1	11,1	239,4	84,7	66,4	124,4	219,0	310,5	58,4	55,9	1183,8
2002	13,4	2,8	1,0	20,0	173,7	103,3	106,0	138,7	256,3	249,0	113,6	22,3	1200,1
2003	0,0	5,6	52,9	157,1	428,1	472,2	227,3	172,2	470,4	373,2	188,0	91,7	2638,7
2004	28,4	3,0	12,5	24,8	346,5	80,7	166,3	172,9	279,4	211,6	131,0	2,8	1459,9
2005	10,7	0,0	54,3	42,4	170,3	223,2	143,7	179,4	429,5	388,8	125,4	37,8	1805,5
2006	25,0	30,9	1,8	75,8	358,2	221,0	358,8	154,1	269,9	243,5	301,1	62,6	2102,7
2007	0,0	0,0	13,4	84,5	372,1	273,5	261,9	374,3	459,3	487,5	167,8	31,8	2526,1
2008	0,0	38,7	12,8	145,4	508,8	429,6	244,6	421,7	428,9	444,5	166,4	39,6	2881,0
2009	17,8	1,3	28,4	7,9	351,9	344,2	116,4	131,7	212,1	322,4	138,8	15,5	1688,4
2010	2,0	6,9	15,2	149,3	198,3	242,6	437,0	366,9	618,3	303,3	309,5	49,6	2698,9
2011	2,1	14,2	3,8	80,6	202,6	299,1	240,4	229,1	324,2	658,3	234,9	49,3	2338,6
2012	0,0	2,8	2,6	147,3	187,0	205,0	68,7	205,7	432,0	266,6	88,1	18,9	1624,7
2013	1,0	6,1	1,1	63,7	168,8	238,1	79,7	209,5	377,4	539,2	144,0	18,8	1847,4
2014	4,1	0,0	5,1	91,3	332,9	267,1	29,2	144,3	539,4	315,7	119,7	11,9	1860,7

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Anexo 30: Datos de precipitación total mensual de la estación 84004 Sabana Larga, Atenas

Estación 84004: Sabana Larga, Atenas. Instituto Meteorológico Nacional													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	3,2	0,0	14,6	24,5	277,8	278,8	267,8	168,0	252,4	447,9	93,1	25,8	1853,9
2002	6,3	1,7	0,0	0,0	294,9	177,2	199,3	279,7	310,2	348,5	116,1	0,0	1733,9
2003	0,0	4,9	72,9	129,7	455,5	528,6	137,3	161,8	470,7	370,0	197,0	48,4	2576,8
2004	9,6	2,4	3,7	125,1	505,9	130,3	214,2	187,7	539,2	322,9	149,7	4,0	2194,7
2005	9,4	0,0	78,8	5,9	349,0	433,1	168,7	316,0	403,8	638,5	166,3	25,0	2594,5
2006	58,2	38,4	5,0	33,2	266,6	248,9	428,1	251,0	368,9	387,3	255,7	77,2	2418,5
2007	0,0	0,0	1,6	117,2	434,2	322,4	213,3	562,9	481,5	766,6	109,0	21,1	3029,8
2008	0,0	77,4	0,0	147,9	627,4	429,8	456,5	626,3	370,4	621,3	125,0	25,9	3507,9
2009	9,6	0,0	19,3	38,0	276,0	300,9	185,2	171,4	294,6	287,3	264,4	3,4	1850,1
2010	7,9	26,3	40,1	298,6	312,1	499,2	591,6	562,9	730,0	419,4	512,3	35,1	4035,5
2011	5,4	6,0	17,7	32,8	120,7	312,6	278,8	349,9	315,2	684,3	120,8	32,0	2276,2
2012	0,0	0,0	0,0	150,8	286,6	221,9	149,3	322,5	419,4	211,9	97,8	3,7	1863,9
2013	0,0	0,0	0,0	96,4	353,1	254,5	198,3	331,2	375,7	349,0	136,3	8,4	2102,9
2014	0,0	0,0	0,0	123,0	220,9	270,4	115,5	254,4	438,9	419,6	109,5	3,7	1956,0

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Los datos resaltados en amarillo fueron completados por el método de la razón

Anexo 31: Datos de precipitación total mensual de la estación 84003 La Argentina, Grecia

Estación 84003: La Argentina, Grecia. Instituto Meteorológico Nacional													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	8,1	0,0	0,0	1,6	176,0	172,9	122,5	127,8	243,0	368,7	59,1	61,4	1341,1
2002	5,1	0,0	0,2	3,8	186,0	161,2	233,1	255,6	285,8	285,8	81,1	4,0	1501,7
2003	0,0	3,1	62,7	155,6	350,8	438,1	151,4	221,9	493,5	393,6	270,0	74,7	2615,4
2004	0,0	0,0	1,4	52,1	365,3	248,5	239,3	206,5	496,8	408,5	162,1	5,5	1820,7
2005	8,1	0,0	68,0	21,5	229,4	269,0	235,0	253,8	342,2	467,0	130,6	36,7	2061,3
2006	27,0	34,8	2,3	24,3	322,9	310,8	292,5	153,2	359,5	348,1	297,0	34,4	2206,8
2007	0,0	0,0	0,0	201,4	382,8	283,9	191,0	542,0	434,4	485,0	161,0	37,6	2719,1
2008	0,0	44,9	2,3	50,6	521,8	347,9	387,9	344,8	435,4	477,7	110,9	20,0	2744,2
2009	2,8	0,5	1,2	8,8	258,6	247,4	115,7	135,7	274,7	261,0	164,3	2,3	1473,0
2010	0,0	3,6	21,8	180,7	183,0	274,6	409,9	409,7	565,5	231,1	429,5	27,9	2737,3
2011	3,4	3,0	11,1	56,4	170,0	345,6	185,3	246,0	373,4	703,6	180,5	20,4	2298,7
2012	0,0	0,0	10,3	107,4	367,2	293,5	85,8	316,9	320,3	282,5	81,8	10,0	1875,7
2013	0,0	0,0	0,0	48,3	259,7	254,4	119,1	431,0	330,8	415,7	171,2	14,1	2044,3
2014	0,0	0,0	0,4	21,7	239,1	236,8	99,9	134,3	451,9	341,4	81,3	9,9	1616,7

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Los datos resaltados en amarillo fueron completados por el método de la razón.

Anexo 32: Datos de precipitación total mensual de la estación 82001 Guadalupe, Esparza

Estación 82001: Guadalupe, Esparza. Instituto Meteorológico Nacional													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	0,0	0,0	9,2	8,8	590,5	391,0	450,9	333,2	456,6	958,4	172,5	55,8	3426,9
2002	0,0	0,0	0,0	37,4	343,6	379,5	642,3	352,2	478,7	526,2	159,8	104,6	3024,3
2003	0,0	0,0	0,0	278,9	621,4	789,4	692,6	370,6	1214,9	818,9	605,4	114,3	5506,4
2004	26,7	0,0	0,0	257,6	648,0	383,7	541,9	574,9	702,6	885,2	261,8	10,0	4292,4
2005	0,0	0,0	200,4	120,3	487,9	538,2	600,1	714,9	1013,2	683,8	113,1	60,6	4532,5
2006	33,4	50,4	15,3	117,0	508,2	387,6	662,0	550,7	625,2	781,2	591,7	142,6	4465,3
2007	0,0	0,0	17,1	134,7	593,2	486,4	705,2	923,9	944,0	980,2	154,3	55,2	4994,2
2008	0,8	60,9	82,4	68,9	789,9	601,3	710,4	862,3	504,2	549,6	254,3	46,5	4531,5
2009	0,0	0,0	1,6	87,4	613,3	481,7	287,8	499,7	542,9	429,4	354,1	15,8	3313,7
2010	19,6	31,4	21,4	480,9	558,0	588,0	809,4	809,4	806,5	478,8	471,5	17,9	5092,8
2011	2,6	3,3	50,1	132,4	363,4	424,6	494,3	588,2	937,5	1072,9	241,4	15,2	4325,9
2012	0,0	0,0	0,0	324,1	635,6	665,2	397,0	873,4	890,5	614,0	94,0	59,0	4552,8
2013	2,8	0,0	38,6	76,7	419,3	638,0	454,6	760,5	419,0	738,0	256,3	32,1	3835,9
2014	0,0	0,0	0,0	125,9	526,7	381,7	125,7	457,8	625,1	600,2	226,9	12,9	3082,9

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Los datos resaltados en amarillo fueron completados por el método de la razón.

Anexo 33: Datos de precipitación total mensual de la estación 80009 Piedades Sur, San Ramón

Estación 80009: Piedades Sur, San Ramón. Instituto Meteorológico Nacional.													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2001	45,1	0,0	12,3	0,0	344,0	359,0	366,0	351,2	391,5	526,0	338,0	93,7	2826,8
2002	0,0	0,0	0,0	0,0	440,8	268,3	355,0	237,0	785,0	688,0	292,3	1,0	3067,4
2003	22,0	0,0	105,0	32,0	530,7	1157,8	444,5	265,4	727,5	954,5	580,3	163,2	4983,0
2004	25,0	40,0	4,1	43,0	917,9	457,1	270,5	349,4	1033,0	748,2	619,2	139,5	4646,9
2005	39,0	12,0	91,0	20,5	629,6	867,1	497,1	457,3	770,4	1754,8	290,0	80,3	5509,1
2006	46,2	87,0	0,0	7,0	368,3	590,0	722,7	313,7	428,3	767,9	413,2	42,3	3786,6
2007	0,0	10,0	0,0	65,0	407,0	585,7	241,0	716,1	699,9	1284,3	291,5	54,0	4354,5
2008	5,0	49,0	55,0	26,0	957,4	723,5	700,5	612,3	551,3	1099,0	352,4	89,0	5220,4
2009	21,1	5,6	30,6	42,5	198,9	392,5	237,3	223,6	236,0	395,2	862,9	0,0	2646,2
2010	38,0	20,0	13,4	240,5	438,1	715,3	666,2	1205,6	921,0	175,4	495,3	14,0	4942,8
2011	10,0	0,0	0,0	42,5	314,1	394,0	379,3	351,5	699,7	907,2	93,5	48,0	3239,8
2012	0,0	0,0	0,0	134,0	304,6	325,0	46,6	416,2	155,6	410,2	65,0	7,0	1864,2
2013	0,0	0,0	5,8	28,0	172,7	269,0	183,0	200,0	678,0	812,9	333,4	11,7	2694,5
2014	0,0	0,0	0,0	7,0	155,7	22,0	140,5	165,0	772,3	964,8	82,0	16,0	2325,3

Fuente: IMN, 2001 – 2014

Los datos resaltados en amarillo fueron completados por el método de la razón.