

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**



**CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS
PANAJACHEL, SAN FRANCISCO Y SANTIAGO ATITLÁN DEL
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.**

IRMA RAQUEL GONZÁLEZ TURCIOS

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

**CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS
PANAJACHEL, SAN FRANCISCO Y SANTIAGO ATITLÁN DEL
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

IRMA RAQUEL GONZÁLEZ TURCIOS

En el acto de investidura como

**INGENIERA AGRÓNOMA
EN
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR EN FUNCIONES

M.A. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	Br. Carmen Aracely García Pirique
VOCAL V	P. Agr. Mynor Fernando Almengor Orenos
SECRETARIO	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

Guatemala, febrero de 2022

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación: **CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS PANAJACHEL, SAN FRANCISCO Y SANTIAGO ATITLÁN DEL DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

Esperando llenar los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Irma', enclosed within a large, loopy oval stroke.

IRMA RAQUEL GONZÁLEZ TURCIOS

ACTO QUE DEDICO

A

A DIOS

Por guiar siempre mis pasos, brindarme paciencia, perseverancia y consuelo.

A MIS PADRES Y HERMANA

Irma Turcios, Héctor González y Diana Evangelina; quienes han estado presentes en todo mi proceso académico, brindándome su apoyo y cariño incondicional.

Gracias por estar en mi vida, por su esfuerzo, su ejemplo y sabios consejos.

A MI FAMILIA

Mis abuelas y abuelos, tías, tíos y primos que siempre estuvieron apoyándome y brindándome su cariño y buenos deseos.

A todos ellos, gracias.

Quienes siempre han estado presentes:

Carmen Azzari y Paola Estrada.

A MIS AMIGOS

A quienes conocí desde el primer día de clases y siguen en mi vida:

Abigail García, Gabriela García Pacheco

Stephanie González y Gabriela López Arana.

Y a quienes conocí en el transcurso de mi vida académica.

A todos ellos, quienes han sido como una familia, muchas gracias; por su apoyo, entusiasmo, sinceridad y cariño.

AGRADECIMIENTOS

A

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
Y
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por abrirme sus puertas y ser parte de mi formación académica.

MIS ASESORES

Ing. Agr. Ernesto Yac Juárez, por su apoyo, orientación y sugerencias en los momentos más oportunos.

Dr. Marvin Salguero, por sus enseñanzas a lo largo de la carrera y acompañamiento para el adecuado desarrollo de mi investigación.

**EPSUM
LICDA. JENIFER PINZÓN**

Por darme la oportunidad y brindarme el apoyo, acompañamiento y asesoramiento en todo el proceso de EPS.

**AUTORIDAD PARA EL MANEJO
SUSTENTABLE DE LA CUENCA DEL
LAGO DE ATITLÁN Y SU ENTORNO
-AMSCLAE-**

Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado.

**Y
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN
Y CALIDAD AMBIENTAL -DICA-**

Fátima Reyes, Flor Barreno, Domingo Ujpán, Natanael Xamines y Rodrigo Morales, por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, aportarme nuevos conocimientos y orientarme en la realización de mi investigación. Además de su cariño y apoyo constante.

**MUNICIPALIDAD DE PANAJACHEL
MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO
ATITLÁN**

Por brindarme el acompañamiento y apoyo necesario para llevar a cabo mi investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Marco conceptual	3
2.1.1. Cuenca hidrográfica.....	3
2.1.2. La cuenca como sistema	3
2.1.3. Microcuenca	3
2.1.4. Gestión integrada del recurso hídrico (GIRH)	4
2.1.5. Seguridad hídrica.....	5
2.1.6. Fuente de abastecimiento hídrico	5
2.1.7. Oferta hídrica	6
2.1.8. Demanda hídrica.....	7
2.1.9. Dotación hídrica	7
2.1.10. Agua potable	8
2.1.11. Ordenamiento territorial	8
2.1.12. Muestreo estadístico.....	9
2.1.13. Sectores socioeconómicos	15
2.1.14. Consumo hídrico por sectores socioeconómicos	16
2.1.15. Medición de caudales.....	17
2.1.16. Requerimiento hídrico en el sector agrícola.....	19
2.1.17. Método de riego	21
2.1.18. Lámina bruta	22
2.1.19. Caudal.....	23
2.2. Marco referencial.....	23
2.2.1. Ubicación de las microcuencas	23
2.2.2. Vías de acceso.....	26
2.2.3. Población total.....	26

	PÁGINA
2.2.4. Clima	26
2.2.5. Uso de la tierra	27
2.2.6. Abastecimiento de agua	29
3. OBJETIVOS	30
3.1. Objetivo general	30
3.2. Objetivos específicos	30
4. METODOLOGÍA.....	31
4.1. Caracterización del uso del agua por sectores socioeconómicos	31
4.1.1. Fuentes de abastecimiento hídrico	31
4.1.2. Solicitud de información	31
4.1.3. Encuestas a la población.....	31
4.2. Estimación del volumen de agua utilizado por los sectores socioeconómicos....	32
4.2.1. Marco de muestreo	32
4.2.2. Muestreo estadístico para población finita.....	32
4.2.3. Muestreo estadístico estratificado proporcional.....	32
4.2.4. Mesa de diálogo con las municipalidades de Panajachel y Santiago Atitlán	33
4.2.5. Encuestas sobre abastecimiento hídrico de los sectores socioeconómicos.....	33
4.3. Demanda hídrica de los sectores socioeconómicos	33
4.3.1. Revisiones fundamentales	33
4.3.2. Modelos matemáticos	34
4.3.3. Comparación entre volumen hídrico disponible y demanda hídrica de los sectores socioeconómicos	40
4.4. Estrategias para la optimización del uso del agua y la búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico	40
4.4.1. Revisiones bibliográficas	40
4.4.2. Encuestas.....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.1. Caracterización del uso del agua por sectores socioeconómicos	41
5.1.1. Identificación de sectores socioeconómicos.....	41

PÁGINA

5.1.2. Sectores socioeconómicos con mayor demanda de agua	43
5.1.3. Fuentes de abastecimiento hídrico	46
5.1.4. Tipo de abastecimiento hídrico por sectores socioeconómicos	47
5.1.5. Aforo de fuentes de distribución hídrica	51
5.2. Volumen de agua utilizada por sectores socioeconómicos	54
5.2.1. Demanda de agua en el sector de viviendas	55
5.2.2. Demanda de agua en el sector hotelero	56
5.2.3. Demanda de agua en el sector de restaurantes	57
5.2.4. Demanda de agua en sector agrícola	58
5.3. Comparación entre volumen hídrico disponible y demanda hídrica de los sectores socioeconómicos	59
5.4. Calidad del agua en las microcuencas Panajachel – San Francisco y Santiago Atitlán	60
5.4.1. Transparencia del agua	61
5.4.2. Potencial de hidrógeno (pH)	61
5.4.3. Total de sólidos disueltos (TDS)	61
5.4.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	62
5.5. Estrategias para la optimización del uso del agua y la búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico	63
5.5.1. Desarrollo tecnológico.....	64
5.5.2. Gestión ambiental y responsabilidad social	64
6. CONCLUSIONES	70
7. RECOMENDACIONES	71
8. BIBLIOGRAFÍA	73
9. ANEXOS	81

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Nivel de error y confianza	12
Cuadro 2. Centros poblados microcuenca Panajachel-San Francisco	24
Cuadro 3. Centros poblados microcuenca Santiago Atitlán	24
Cuadro 4. Eficiencia de los métodos de riego	38
Cuadro 5. Aforo en sistema de distribución de agua en la microcuenca Panajachel – San Francisco	51
Cuadro 6. Sistema de distribución de agua en la microcuenca Santiago Atitlán	52
Cuadro 7. Disponibilidad de agua en las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán	53
Cuadro 8. Volumen de agua utilizada por sectores socioeconómicos.....	54
Cuadro 9. Demanda hídrica de los cultivos en las microcuencas Panajachel-San Francisco y Santiago Atitlán	58
Cuadro 10. Resumen volumen hídrico necesario para cada sector socioeconómico	59
Cuadro 11A. Porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año	81
Cuadro 12A. Boleta de información general dirigida a sectores socioeconómicos.....	83
Cuadro 13A. Boleta de información general dirigida al sector agrícola	84
Cuadro 14A. Boleta de información general para aforo de fuentes hídricas.	85
Cuadro 15A. Requisitos para el nivel de servicio de agua potable.....	86
Cuadro 16A. Demanda hídrica para el cultivo de cebolla	87
Cuadro 17A. Demanda hídrica para el cultivo de frijol.....	88
Cuadro 18A. Demanda hídrica para el cultivo de maíz.	89
Cuadro 19A. Demanda hídrica para el cultivo de café.....	90
Cuadro 20A. Demanda hídrica para el cultivo de maíz.	91
Cuadro 21A. Demanda hídrica para el cultivo de café.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Panajachel - San Francisco de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá	25
Figura 2. Mapa de ubicación de la microcuenca Santiago Atitlán de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá	25
Figura 3. Mapa de uso de la tierra de la microcuenca Panajachel - San Francisco de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá	28
Figura 4. Mapa de uso de la tierra de la microcuenca Santiago Atitlán de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá	28
Figura 5. Sectores socioeconómicos de la microcuenca Panajachel - San Francisco	41
Figura 6. Sectores socioeconómicos de la microcuenca Santiago Atitlán	42
Figura 7. Sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica en la microcuenca Panajachel - San Francisco	43
Figura 8. Sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica en la microcuenca Santiago Atitlán.....	44
Figura 9. Principales cultivos agrícolas en la microcuenca Panajachel - San Francisco	45
Figura 10. Principales cultivos agrícolas en la microcuenca Santiago Atitlán	45
Figura 11. Abastecimiento hídrico en el sector viviendas.	47
Figura 12. Abastecimiento hídrico del sector restaurantes.	48
Figura 13. Abastecimiento hídrico del sector hotelero	49
Figura 14. Abastecimiento hídrico del sector agrícola	50
Figura 15. Conocimiento sobre sistemas de captación de agua.....	68
Figura 16. Necesidad de implementar un sistema de captación de agua	68
Figura 17. Disposición en la instalación de un sistema de captación de agua.....	69
Figura 18A. Fuentes de captación hídrica de las microcuencas Panajachel y San Francisco	82
Figura 19A. Coeficientes del cultivo.....	93
Figura 20A. Coeficiente general del cultivo.....	94
Figura 21A. Encuesta sobre optimización del recurso hídrico	95

CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE LAS MICROCUENCAS PANAJACHEL,
SAN FRANCISCO Y SANTIAGO ATITLÁN DEL DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ,
GUATEMALA, C.A.

CHARACTERIZATION OF WATER USE ON MICRO-BASINS AT PANAJACHEL, SAN
FRANCISCO AND SANTIAGO ATITLÁN ON SOLOLÁ DEPARTMENT, GUATEMALA,
C.A.

RESUMEN

El aumento de la población y la inadecuada gestión, aunado al incremento de las actividades socioeconómicas y productivas, ejerce una fuerte presión sobre los recursos naturales, especialmente sobre el recurso hídrico, este es el caso de las microcuencas Panajachel y San Francisco, cuya área de cobertura es de 10.15 km² con una población de 15,077 habitantes; y microcuenca Santiago Atitlán con un área de 7.83 km² y una población de 27,184 habitantes, ubicadas dentro de la cuenca del Lago Atitlán del departamento de Sololá.

El objetivo principal de la investigación consistió en caracterizar el uso del agua de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán a través del reconocimiento de los sectores socioeconómicos presentes en las áreas de estudio, la estimación del volumen del agua utilizado por estos sectores y la comparación entre el volumen de agua producido en las microcuencas y la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos.

A partir de ello se obtuvo, por medio de encuestas, los principales sectores socioeconómicos, los cuales fueron: sector hotelero, sector de restaurantes, consumo humano y agricultura; en este último, predominando los cultivos de maíz, café, cebolla y hortalizas.

En cuanto al abastecimiento hídrico de los principales sectores socioeconómicos, se determinó que este era a través del servicio municipal, el cual es proporcionado por las fuentes hídricas superficiales y subterráneas que se encuentran presentes en las microcuencas.

Por otra parte, se tuvo el aforo de las fuentes de distribución hídrica, en el caso de las microcuencas Panajachel y San Francisco se encuentran a cargo de la Municipalidad de Panajachel y la microcuenca Santiago Atitlán está bajo la supervisión de la Municipalidad de Santiago Atitlán. El objetivo consistió en contabilizar la cantidad de agua que es captada de las fuentes de abastecimiento hídrico de las microcuencas.

En las microcuencas Panajachel y San Francisco, la red hídrica proporciona una cantidad de 2,409,696 l/d, las fuentes subterráneas producen 4,905,360 l/d, generando un volumen hídrico total de 7,315,056 l/d. La microcuenca Santiago Atitlán, genera un volumen total de agua de 6,560,640 l/d.

En relación a la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos, se obtuvo que el sector de hoteles, sector de restaurantes y consumo humano en la microcuenca Panajachel y San Francisco es de 4,954,461.56 l/d y en la microcuenca Santiago Atitlán es de 3,979,752 l/d. En esta estimación se exceptuó el cálculo para el sector agrícola, ya que no existe ninguna concesión municipal para cubrir la demanda hídrica de este sector.

De esta manera se concluye que las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán logran cubrir las demandas hídricas de los sectores de hoteles, restaurantes y viviendas; no así del sector agrícola. Sin embargo, aunque existe un alto volumen de agua producido por la red hídrica, los usuarios manifestaron escasez de agua, lo cual puede ser producto de una mala gestión y administración del recurso hídrico en las microcuencas.

Por lo anterior se recomienda propiciar espacios de diálogo entre comunitarios y autoridades municipales para la identificación de problemáticas y limitantes referentes al recurso hídrico, de manera que se puedan coordinar esfuerzos para la buena gobernanza del agua; así como generar acciones que estén enfocadas a la adopción de medidas sobre adaptación basada en los ecosistemas que impacten de manera positiva a la seguridad hídrica de las comunidades.

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es indispensable para el mantenimiento de la vida humana, animal y vegetal, por lo que son diversos los usos que se le da al mismo, dependiendo del orden de importancia y el nivel de prioridades de aprovechamiento. (Casado Aguilar, 1969)

La demanda hídrica, basada en el estudio de cuentas ambientales del IARNA y Banco de Guatemala indica que la utilización anual de agua en 2010 representó el 22 % de la oferta hídrica disponible anualmente para Guatemala. (Global Water Partnership, Suecia (GWP), 2015) De los 20,373.80 millones de m³, el 37.50 % fueron empleados para la industria y agroindustria, las actividades agropecuarias y silviculturales usaron el 31.90 % y el consumo doméstico usó el 2.30 %. (Global Water Partnership, Suecia (GWP), 2015)

Si bien existe disponibilidad de agua, la falta de catastro de usuarios hace difícil estimar el volumen de agua que es abastecido y su consecuente demanda. Tal es el caso del altiplano guatemalteco cuya zona es una de las que mayor demanda de agua tiene, sin embargo, estos valores no han sido definidos, sólo existen estimaciones generales. (Global Water Partnership, Suecia (GWP), 2015)

Ubicado en el altiplano guatemalteco en el departamento de Sololá se encuentran las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán. Estas áreas se encuentran catalogadas con priorización alta para la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno -AMSCLAE- basándose en los criterios de crecimiento poblacional, vulnerabilidad a erosión y la ausencia de un sistema de tratamiento y saneamiento del agua.

Basado en el criterio de crecimiento poblacional, el territorio cubierto por las microcuencas Panajachel y San Francisco tiene una población total de: 15,159 habitantes; la microcuenca Santiago Atitlán: 25,758 habitantes. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística –INE- para el año 2018 ambas microcuencas presentaban una elevada densidad poblacional: 1,493 habitantes/km² (Panajachel –San Francisco) y 3,290 habitantes/km² (Santiago Atitlán), superando así el promedio nacional de Guatemala de 159 habitantes/km² para el año 2019. (Datos Macro, Guatemala, 2020)

A partir de este crecimiento poblacional, las actividades socioeconómicas se han diversificado y con ello la demanda del recurso hídrico. Los sectores que mayor predominancia tienen frente a la utilización del recurso hídrico son: sector hotelero, sector de restaurantes, sector agrícola y sector viviendas.

De esta manera es fácil vislumbrar la fuerte presión que existe sobre el recurso hídrico, por lo que se vuelve importante caracterizar el uso del agua en las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán; de acuerdo a las actividades socioeconómicas de la población, lo cual permita determinar el volumen de agua de las fuentes de abastecimiento hídrico y la demanda hídrica que cubre las necesidades de la población.

A partir de lo anterior, se espera que los datos generados pueden servir como un elemento importante para: visualizar los hábitos de consumo de la población, proponer líneas de investigaciones sobre oferta y demanda hídrica de cada sector presente en las microcuencas.

Finalmente, proponer líneas de intervención para la protección y conservación del recurso hídrico por parte de instituciones como: Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno –AMSCLAE-, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN-, Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia –SEGEPLAN-, Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-, Instituto Nacional de Bosques –INAB-, municipalidades y población en general, siendo esta última la principal beneficiada, dado que el ideal es ver satisfecha la demanda hídrica de la población, a través de la oferta hídrica que proporcionan las fuentes de abastecimiento; sin olvidar el manejo sustentable que se le debe brindar a cada uno de los recursos naturales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Cuenca hidrográfica

Territorio donde se mueven las aguas lluvias hacia un río que desemboca en el mar. Esta se compone de subcuencas, refiriéndose al área de escorrentía de los ríos secundarios, y estos se dividen en microcuenca, refiriéndose a las áreas más elevadas donde se encuentran los nacimientos de agua, ríos menores y quebradas. (Global Water Partnership, Honduras, 2013)

Para CATIE, 1985 la cuenca hidrográfica se concibe como un sistema natural dinámico compuesto de elemento; biológicos, físicos y antrópicos que reaccionan dialécticamente entre sí, creando por lo tanto un conjunto único e inseparable en permanente cambio.

2.1.2. La cuenca como sistema

La cuenca la conforman componentes biofísicos (agua, suelo) biológicos (flora, fauna) y antropocéntricos (socioeconómicos, culturales, institucionales), que están todos interrelacionados y en equilibrio entre sí, de tal manera que al afectarse uno de ellos se produce un desbalance que pone en peligro todo el sistema. (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica (CATIE), 1985)

2.1.3. Microcuenca

La microcuenca es el territorio ideal para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) efectiva, debido a que generalmente forman parte de los términos municipales y es donde los aspectos técnicos, de necesidades sociales y de gestión gubernamental, se juntan en función de intereses comunes. (Ramakrishna, 1997)

Para (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, Guatemala (AMSCLAE), 2018) de acuerdo a la Guía para la Elaboración de planes de manejo de microcuencas (FAO, MARN, UICN, CIPREDA) Guatemala, 2009; una microcuenca se define como el territorio que drena sus aguas hacia un curso principal de una subcuenca; también es el territorio delimitado por partes altas (parte aguas) cuyas aguas superficiales drenan a través de un mismo curso, con una superficie menor de 5,000 ha (50 km²) y una población, integrada actualmente o que se proyecta en un futuro, de no más de 20 comunidades.

2.1.4. Gestión integrada del recurso hídrico (GIRH)

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico es un concepto que ha surgido como respuesta a la crisis del agua, generada por la presión del crecimiento población y la contaminación. (Zamudio Rodríguez, 2012)

Para Water Governance Facility (2010) es un proceso que promueve el desarrollo coordinado y la gestión del agua, la tierra y los recursos relacionados, en disposición para maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa y sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales.

En cambio, Dourojeanni y Jouravlev (2001) describen la gestión integrada del recurso hídrico en cuatro sentidos: integración de los componentes del agua o fases del ciclo hidrológico; la integración de la gestión del agua, de la tierra, y de otros recursos naturales y ecosistemas; la integración de los intereses de los diversos usos y usuarios del agua con el objetivo de reducir los conflictos entre los que compiten por este recurso escaso, en cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia; y la integración de la gestión del agua en el desarrollo económico, social y ambiental. Asimismo, la integración de estos elementos es complejo, pues involucra múltiples variables, actores sociales e institucionales, sectores productivos, entre otros.

2.1.5. Seguridad hídrica

La seguridad hídrica es definida por Grey y Sadoff (2007) como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua.

Otra definición de seguridad hídrica indica que ésta es la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio-económico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con el agua, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, USA (PNUD), 2017)

La Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídrico –ENGIRH- en Guatemala propone un conjunto de medidas básicas para orientar, ordenar y hacer eficaces las acciones y recursos de las instituciones del estado y de la sociedad; se focaliza en los aspectos necesarios que aseguren la participación oportuna del agua en el desarrollo económico y social del país, conforme medidas concretas, verificables y graduales, aplicadas dentro de un marco que favorezca la armonía social y la sustentabilidad ambiental. (SEGEPLAN)

En Guatemala, el aprovechamiento del agua se da de forma sectorial y así se regula y promueve; cuando el aprovechamiento sectorial comparte una misma fuente o impacta otras aguas, entra a competir por el recurso, afectando la calidad y comportamiento de las fuentes de agua, lo cual produce externalidad no siempre deseadas. (SEGEPLAN)

2.1.6. Fuente de abastecimiento hídrico

Las fuentes de abastecimiento hídrico son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales. (Torres Lozada, 2009)

A. Agua superficial

Al caer, parte de la lluvia fluye superficialmente por canales naturales de drenaje. Esta agua de escorrentía eventualmente llega a ríos, lagos y océanos. Sin embargo, la mayor parte de ésta precipitación se infiltra en el suelo y pasa a ser parte del agua subterránea. Antes de su evaporación, el agua puede ser represada sobre la superficie de la tierra para su uso posterior. (International Center for Aquaculture, 2012)

B. Agua subterránea

Una parte del agua de lluvia se infiltra en el suelo donde las raíces de las plantas la absorben. El agua que se infiltra a través de las capas más profundas del suelo y que no es accesible a las raíces de plantas se conoce como agua subterránea. Los embalses y los estanques al captar la lluvia, aumentan la cantidad de agua subterránea. El agua subterránea puede estar dispersada entre las partículas del suelo sin poderse aprovechar. La cantidad y velocidad de infiltración depende del tipo de suelo y de su contenido de humedad. (International Center for Aquaculture, 2012)

La capa superior de saturación se conoce como manto freático. Los pozos deben excavar hasta esta capa para poder extraer el agua del acuífero. (International Center for Aquaculture, 2012)

2.1.7. Oferta hídrica

La oferta hídrica de una cuenca corresponde al volumen de agua disponible para satisfacer la demanda de las actividades sociales y económicas de una población. La cuantificación de la escorrentía superficial, en el balance hídrico, corresponde a la oferta hídrica superficial. (Corporación Autónoma Regional de Quindío -CRQ-, 2016)

2.1.8. Demanda hídrica

La demanda de recurso hídrico hace referencia al consumo de líquido que la población tiene. El consumo del líquido está determinado por distintos factores, como el clima, la hidrología, la clasificación del usuario, las costumbres locales, la actividad económica, entre otras. (Rodríguez Ruiz, 2001)

El consumo se clasifica según el tipo de usuario: doméstico, comercial, industrial o de servicios públicos. El tipo doméstico se divide en popular, medio y residencial dependiendo del nivel económico del usuario. El industrial se divide en turístico e industrial, cuando las demandas parciales sean significativas con respecto a la total. (Rodríguez Ruiz, 2001)

2.1.9. Dotación hídrica

La dotación hídrica es la cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas. Se expresa en l/habitante-d. Esta dotación es una consecuencia del estudio de las necesidades de agua de una población, quien la demanda para los usos siguientes: para saciar la sed, para lavar ropa, para aseo personal, cocina, riego, uso industrial y comercial y para uso público. (Rodríguez Ruiz, 2001)

A. Consumo per cápita

El indicador de consumo de agua per cápita es la relación que existe entre el total de agua potable facturada, que es consumida por la población. Determina los niveles de suficiencia o deficiencia del agua potable, tomando como referencia valores nacionales o internacionales ya establecidos. (Sistema de Información Ambiental Regional -SIAR-, s.f.)

2.1.10. Agua potable

El agua potable es el agua de superficie tratada y no tratada pero sin contaminación que proviene de manantiales naturales, pozos y otras fuentes. (Rodríguez Ruiz, 2001)

El desarrollo de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua. Los primeros asentamientos humano de importancia se ubicaron donde el agua estaba disponible. De esta manera tuvieron fácil acceso a ella para usos agrícolas, urbanos y pre-industriales. El agua potable es aquella apta para consumo humano y que cumple con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la norma. (Rodríguez Ruiz, 2001)

2.1.11. Ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial es básicamente los resultados de acciones humanas con el propósito de adaptar o adecuar el territorio, buscando con ello la resolución de sus múltiples necesidades. (Navarrete López, 2015) El ordenamiento complementa la planificación socioeconómica, introduciéndole la dimensión territorial y ambiental. (Navarrete López, 2015)

Es el conjunto de acciones transversales del Estado que tienen como cometido implementar una ocupación ordenada y un uso sostenible del territorio. Estas acciones regulan y promueven la localización de la población, el desarrollo de todas las actividades económicas y sociales dentro del territorio, de forma que se logre un desarrollo sostenible que prevea las potencialidades y limitaciones existentes por los criterios ambientales, económicos, socioculturales, institucionales y geopolíticos. El principal desafío que tiene el ordenamiento territorial es mantener y mejorar la calidad de vida de la población, fomentar la integración social en el territorio y procurar el buen uso y aprovechamiento de los recursos naturales y culturales. (Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial, Uruguay (MVOT), 2020)

A. Catastro

El catastro es un registro administrativo que funciona como un inventario de inmuebles tanto rústicos como urbanos y de características especiales. En este registro se reflejan datos

relativos a los inmuebles, entre los cuales están: localización, referencial catastral, superficie, uso y destino, valor catastral, titular del inmueble, clase de aprovechamiento, calidad de la construcción. (aelca España, 2019)

Asimismo (Kaufmann, 2002) en su versión tradicional, define el catastro como un inventario público de datos, metódicamente recopilados, relativos a las propiedades de un país o de un distrito, basado en la medición de sus contornos.

B. Inmuebles

El término inmueble se utiliza para definir todos los bienes que se encuentran unidos de manera inseparable a un suelo. Los bienes que son considerados como inmuebles se denominan habitualmente bienes raíz o fincas. Éstas pueden ser parcelas -construidas o no-, naves, casas o locales. Los inmuebles tienen además una serie de características comunes a todos ellos. (Economía Simple, 2018)

2.1.12. Muestreo estadístico

A. Población

Conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes, observables en un lugar y en un momento determinado. Entre las características esenciales al seleccionar la población se tienen:

- Homogeneidad: que todos los miembros de la población tengan las mismas características, según las variables que se vayan a considerar en el estudio.
- Tiempo: hace referencia al periodo de tiempo donde se ubicaría la población de interés.
- Espacio: hace referencia al lugar donde se ubica la población de interés.
- Cantidad: Hace referencia al tamaño de la población. Este factor es importante porque determina o afecta al tamaño de la muestra que se vaya a seleccionar. (Pita Fernández, 1997)

B. Población estadística finita

Es aquella en la que el número de valores que la comprenden tiene un fin. (López, 2020)
En este tipo de poblaciones se conoce su tamaño y existe un marco muestral donde se pueden hallar las unidades de análisis. (D'Ángelo, 2014)

C. Población estadística infinita

Se trata de aquella población que no tiene un fin. (López, 2020) En esta, no se conoce el tamaño y no se tiene la posibilidad de contar o construir un marco muestral. (D'Ángelo, 2014)

D. Marco muestral

Listado en el que encontramos las unidades elementales que componen la población. (D'Ángelo, 2014) Es una lista de los elementos que forman el universo que está por estudiarse, los cuales se conocen como unidades muestrales. Cada uno de estos elementos comparte características que los permite identificarse. (QuestionPro, 2020)

E. Muestra

Es un subconjunto fielmente representativo de la población. Existen diferentes tipos de muestreo. El tipo de muestreo que se seleccione dependerá de la calidad y de la representatividad que se quiera dentro del estudio de la población.

- Muestreo aleatorio: cuando se selecciona al azar y cada miembro tiene igual oportunidad de ser incluido.
- Muestreo estratificado: la población se subdivide en estratos o subgrupos según las variables o características que se pretendan investigar.
- Muestreo sistemático: cuando se establece un patrón o criterio al seleccionar la muestra. (Pita Fernández, 1997)

Para determinar la muestra poblacional de una población finita se utiliza la fórmula siguiente :

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Ecuación 1 Muestra poblacional para poblaciones finitas.

Donde,

N = Tamaño total de la población.

n = Tamaño de la muestra.

Z = Nivel de Confianza.

e = Error de estimación máximo aceptado.

p = Probabilidad de a favor.

q = Probabilidad en contra.

Tanto el nivel de confianza como el porcentaje de error aceptable se encuentran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Nivel de error y confianza.

Nivel precisión de error P q-	% Error ()	Nivel de confianza (Z)	Valores de confianza tabla Z (S)
0.01	1%	99%	2.58
0.02	2%	98%	2.38
0.025	2.5%	97.5%	2.24
0.03	3%	97%	2.17
0.035	3.5%	96.5%	2.19
0.04	4%	96%	2.12
0.05	5%	95%	1.96
0.06	6%	94%	1.89
0.07	7%	93%	1.955
0.08	8%	92%	1.76
0.09	9%	91%	1.7
0.1	10%	90%	1.645

Fuente: Tintaya, 2015.

F. Muestreo estratificado óptimo

Esta técnica, perteneciente a la familia de muestreos probabilísticos, antes de iniciar el proceso de muestreo divide toda la población objeto de estudio en diferentes subpoblaciones o estratos disjuntos, de manera que un individuo sólo puede pertenecer a un estrato. Una vez definidos los estratos, la muestra se crea seleccionando por separado individuos de cada estrato, empleando una técnica de muestreo cualquiera. (Netquest, 2015)

Los estratos suelen crearse a partir de grupos homogéneos de individuos, que a su vez son heterogéneos entre diferentes grupos. (Netquest, 2015) En este caso, el tamaño de los estratos en la muestra no guarda proporcionalidad con la población. Por el contrario, se trata de optimizar el tamaño muestral de cada estrato con el fin de reducir el margen de error global, teniendo en cuenta no solo el tamaño de cada estrato en la población sino su desviación estándar. (Netquest, 2015)

Esta optimización lo que hace, básicamente, es dedicar más unidades de muestra de las que corresponderían en un muestreo proporcional a aquellos estratos que tienen más variabilidad y que por lo tanto son más difíciles de estimar. (Netquest, 2015)

Para determinar la muestra poblacional en el muestreo estratificado óptimo se utiliza la siguiente fórmula:

$$n_1 = n * \frac{N_i * \delta_j}{\sum_i = 1 N_i * \delta_j}$$

Ecuación 2 Muestreo estratificado óptimo.

Donde,

n = Tamaño total de la población.

n_i = Tamaño de la muestra.

δ_j = Desviación estándar.

G. Muestreo estratificado proporcional

Esta técnica consiste en definir el tamaño de la muestra de cada estrato de manera proporcional al tamaño de la población del estrato, si se compara con la población total. (Explorable, 2009)

Roldán (2019) coincide al definir que cuando se utiliza el muestreo estratificado proporcional, cada estrato tiene en la muestra el mismo peso que se observa en la población.

De esta manera, para determinar la muestra poblacional en el muestreo aleatorio estratificado se utiliza la siguiente fórmula:

$$n_1 = n * \frac{N_i}{N}$$

Ecuación 3 Muestreo estratificado proporcional.

Donde,

n = Número de elementos de la muestra.

N_i = Número de elementos del estrato.

N = Número de elementos de la población.

H. Muestreo aleatorio estratificado

En el muestreo aleatorio todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Los individuos que formarán parte de la muestra se elegirán al azar mediante números aleatorios. Existen varios métodos para obtener números aleatorios, los más frecuentes son la utilización de tablas de números aleatorios o generarlos por ordenador. (Casal, 2003)

Es el método conceptualmente más simple. Consiste en extraer todos los individuos al azar de una lista (marco de la encuesta). En la práctica, a menos que se trate de poblaciones pequeñas o de estructura muy simple, es difícil de llevar a cabo de forma eficaz. (Casal, 2003)

Para determinar la muestra poblacional en el muestreo aleatorio estratificado se utiliza la siguiente fórmula:

$$n_1 = \frac{N}{ni}$$

Ecuación 4 Muestreo aleatorio estratificado.

Donde,

N = Tamaño de la muestra.

ni = Número de estratos.

2.1.13. Sectores socioeconómicos

Es una medida total que combina la parte económica y sociológica de la preparación laboral de una persona y de la posición económica y social individual o familiar en relación a otras personas. (Vera-Romero, 2013)

A. Sector social

En la esfera del derecho financiero, la economía, la contabilidad y otros similares. Conjunto de organizaciones que no dependen del sector público y que son ajenas al sector privado ejidatarios, comunidades agrícolas, pequeños propietarios, asociaciones de artesanos, cooperativas, empresas sindicales, sindicatos, partidos políticos, etc. (Herrero Mendoza, 2017)

B. Sector agrario

El sector agrario se ha caracterizado tradicionalmente por la generación de importantes efectos dinamizadores y de arrastre sobre el resto de sectores económicos, y como elemento vertebrador del territorio, dada su contribución al mantenimiento y desarrollo del medio rural, así como a la conservación del medio ambiente y de los espacios naturales.

Asimismo, el sector agrario y el mundo rural, en sentido amplio, constituyen verdaderas señas de identidad indelebles de la realidad económica, social y cultural de las personas, donde la mitad de su superficie se destina a actividades agrícolas o ganaderas. (Educación Financiera, España (Edufiagro), 2013)

C. Sector hotelero y de restaurantes

El sector económico de hoteles y restaurantes está compuesto por dos subsectores:

- Restaurantes, bares y cantinas: este subsector incluye la venta de comidas y bebidas preparadas para consumo inmediata en establecimiento como restaurantes, cafés, merenderos y puestos de refrigerio. Se incluyen los servicios de restaurante a domicilio, la preparación de comida preparada para empresas y particulares. (Carrizo Rovegño, 2009)
- Hoteles; campamentos, hospedajes temporales: este subsector incluye hospedaje temporal y de lugares y servicios para acampar, tanto al público en general como a afiliados a determinada organización, así como los servicios de restaurante que se prestan en combinación con los de hospedaje. (Carrizo Rovegño, 2009)

2.1.14. Consumo hídrico por sectores socioeconómicos

La demanda de agua según el diccionario hidrológico de la UNESCO, hace referencia a “las cantidades de agua previstas para su distribución a los usuarios en períodos de tiempo determinados para usos específicos y a un precio dado”. A su vez se refiere a la cantidad real de agua que es utilizada en los procesos de producción económica, de servicios y en el comercio específicamente, así como en el consumo humano como satisfactor de las necesidades fundamentales de la población en un periodo de tiempo determinado. (Sistema de Información del Recurso Hídrico, Colombia (SIRH), 2014)

A. Consumo doméstico

El consumo doméstico varía según los hábitos higiénicos de la población, nivel de vida, grado de desarrollo, abundancia y calidad de agua disponible, condiciones climáticas, usos

y costumbres, entre otros. (Rodríguez Ruiz, 2001) Cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo.

B. Consumo público

Este consumo se refiere al de los edificios e instalaciones públicas tales como: escuelas, mercados, hospitales, rastros, cuarteles, riego de calles, prados, jardines, servicio contra incendios, lavado de redes de alcantarillado. El consumo público normalmente es excesivo debido a descuidos, pues el desperdicio en tales usos públicos se debe a daños en tuberías, llaves o accesorios cuya reparación inconscientemente se retarda. (Rodríguez Ruiz, 2001)

2.1.15. Medición de caudales

La medición de caudales permite conocer los datos de caudales y volúmenes en forma oportuna y veraz. La información hidrométrica también permite lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo integral del agua. (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

El uso de una información hidrométrica ordenada permite:

- Dotar de información para los pronósticos de la disponibilidad de agua, esta información es importante para elaborar el balance hídrico y planificar la distribución del agua de riego.
- Monitorear la ejecución de la distribución del agua.
- La información hidrométrica también permite determinar la eficiencia en el sistema de riego y de apoyo para la solución de conflictos. (ICC, 2017)

A. Método volumétrico

Es utilizado para corrientes pequeñas como nacimiento de agua o riachuelos, siendo el método más exacto a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. (ICC, 2017)

Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable, cuyo valor sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito, así se obtiene:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Ecuación 5 Estimación de caudal.

Donde:

Q= es el caudal expresado en m³/s.

V= volumen.

T= tiempo.

Por lo tanto, este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener una idea rápida del caudal aportado por determinado riachuelo. (ICC, 2017)

2.1.16. Requerimiento hídrico en el sector agrícola

A. Temperatura

Es una magnitud que está relacionada directamente con la energía interna de un sistema, definida por la ley cero de la termodinámica, la cual establece que cuando dos cuerpos están en equilibrio térmico con un tercero, estos están a su vez en equilibrio térmico entre sí. Las escalas son una forma de medir la temperatura cuantitativamente, estas son: Celsius, Fahrenheit, Kelvin. Para esto se utiliza comúnmente instrumentos como termómetros de mercurio y alcohol, termómetro bimetalico y termocuplas. (Fajardo Gómez, Fernández Ortiz, Giraldo Rojas, & Pulgarín Uribe, 2018)

B. Insolación solar

La cantidad máxima de insolación solar sobre una superficie a un ángulo de inclinación particular, puede calcularse en función de la latitud y de los días del año. La insolación diaria es numéricamente igual a la cantidad de horas de sol en un día. El número de horas que el sol brilla cada día es el número de horas entre el amanecer y la puesta del sol. Cuando se promedia en el año, el sol brilla un promedio de 12 h/d en todo el mundo. En las latitudes del norte, la intensidad media es más baja que en las latitudes del sur. (Honsberg, s.f)

C. Evapotranspiración (ETP)

La evapotranspiración es la combinación de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Thornthwaite denomina evapotranspiración potencial a la evapotranspiración que se produce si la humedad del suelo y la cobertura vegetal se encuentran en condiciones óptimas o ideales. (Condori Apaza, 2013)

La determinación de la evapotranspiración es un parámetro difícil de medir en campo, por lo que resulta necesario deducir, en primero lugar, el valor de la evapotranspiración mediante fórmulas empíricas. (Condori Apaza, 2013)

D. Ciclo fenológico del cultivo

Una etapa fenológica está delimitada por dos fases sucesivas. Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado elemento, de manera que las oscilaciones en los valores de este fenómeno meteorológico se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante dos o tres semanas. (InfoAgro, 2017)

E. Coeficiente del cultivo (Kc)

El Kc permite calcular el consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_o) a través de: **ET_c = K_c * ET_o**

El objetivo del uso del Kc es la determinación de la ET_c en particular, basados en la información meteorológica medida a nivel local, es decir, en el área cercana y representativa de la zona del cultivo. La ET_c obtenida representa el límite máximo de ET del cultivo cuando no existen obstáculos al crecimiento de este, debido a limitaciones de agua. (Comisión Nacional de Riego, 2006)

El Kc representa el efecto combinado de cuatro características principales:

- **Altura del cultivo:** esta tiene relación con la interacción que se produce entre el cultivo y el viento, así como la dificultad en el paso del agua desde las plantas hacia la atmósfera. (Comisión Nacional de Riego, 2006)
- **Albedo o reflectancia del cultivo:** es la fracción de la radiación solar que es reflejada por el cultivo, la cual a su vez es la principal fuente de energía para el proceso de evapotranspiración. El valor del albedo está fuertemente asociado a la porción de suelo que es cubierto por la vegetación. (Comisión Nacional de Riego, 2006)
- **Resistencia del cultivo:** se refiere a la resistencia del cultivo a la transferencia del agua y está relacionada con el área foliar, la cual a su vez es la cantidad de hojas por superficie del cultivo. (Comisión Nacional de Riego, 2006)

- Evaporación del cultivo: es la evaporación que se produce desde el suelo, también está afectado por la cobertura vegetal. (Comisión Nacional de Riego, 2006)

F. Evapotranspiración máxima o del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ET_o por K_c el cual es un coeficiente que expresa la diferencia entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la superficie del pasto de referencia.

El agua que se encuentra disponible en el suelo se agota por el consumo de las plantas (transpiración), por la evaporación superficial y por el drenaje. (Centro Nacional de Investigación de la Caña deAzúcar, Colombia (Cenicaña), 2015)

La suma de la transpiración y evaporación se conoce como evapotranspiración (ET_c). Esta varía en función del clima, las características del cultivo, las prácticas de manejo y el medio de desarrollo, por lo tanto el conocimiento preciso de la ET_c es una herramienta fundamental que contribuye con una adecuada gestión de los recursos hídricos y con el mejoramiento de la productividad de los cultivos. (Centro Nacional de Investigación de la Caña deAzúcar, Colombia (Cenicaña), 2015)

2.1.17. Método de riego

A. Sistema de riego por superficie

El riego por superficie es un sistema de riego donde el agua fluye por gravedad, utilizándose la superficie del suelo agrícola como parte del sistema de distribución del agua. El caudal disminuye a medida que el agua avanza por la parcela regada, debido a su infiltración en el suelo. (Méndez Vásquez, 2012)

El riego por superficie es un método particularmente recomendable en terrenos llanos o con pendientes muy suaves en las que no sea preciso realizar una explanación del suelo, que es costosa y puede afectar negativamente al suelo. Es el método de riego menos costoso en instalación y mantenimiento, y una vez que el agua llega a la parcela no existe coste en la aplicación del agua. Es con diferencia el sistema de riego que utiliza el agua de forma

menos eficiente, aun cuando se realiza un adecuado diseño y manejo de los riegos. (Faci González, 1994)

B. Sistema de riego por aspersión

La mayor ventaja de este tipo de riego es el ahorro de agua. Recoge el agua de un pozo, río o embalse y lo expulsa en forma de lluvia localizada. Se recomienda utilizarlo en terrenos con colinas ya que ofrece en estas circunstancias cobertura total y distribuye el agua de forma muy suave. Su aplicación es uniforme e independiente de las características hidrofísicas del suelo. (Agroformación, 2019)

C. Sistema de riego por micro aspersión

La micro aspersión se recomienda para el riego de hortalizas. Sigue el mismo método que el sistema de aspersión, solo que la distancia que recorre el agua desde que sale del emisor es menor. Es decir, va más directa a la plantación. Se suele utilizar en invernaderos y viveros. Se considera un método de riego ecológico ya que se ahorra bastante agua. (Agroformación, 2019)

D. Método de riego por goteo

El agua llega directa al objetivo. De esta forma, se impide que se infiltre o evapore. (Agroformación, 2019)

2.1.18. Lámina bruta

La lámina bruta de riego (L_b), indica la humedad necesaria para restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un período de tiempo. (Chow, s.f.)

2.1.19. Caudal

Caudal es el volumen de agua que pasa por una tubería o sale de un emisor en un tiempo determinado.

Cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica. (Fibras y Normas de Colombia, 2019)

2.2. Marco referencial

2.2.1. Ubicación de las microcuencas

La microcuenca Panajachel - San Francisco pertenece a la subcuenca del Río San Francisco. La microcuenca Panajachel tiene un área de 4.40 km² y el 91 % de su extensión pertenece al municipio de Panajachel, el 6 % al municipio de Sololá. Por su parte, la microcuenca San Francisco tiene un área de 5.75 km² y el 33 % de su extensión pertenece al municipio de Panajachel, 25 % al municipio de Concepción, el 24 % al municipio de Sololá y el 17 % al municipio de San Andrés Semetabaj (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, Guatemala (AMSCLAE), 2018).

La ubicación de las microcuencas Panajachel y San Francisco se observa en la figura 1, mientras los poblados que conforman a estas microcuencas se aprecian en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Centros poblados microcuenca Panajachel-San Francisco.

Municipio	Centro poblado
Panajachel	Panajachel
	Aldea Patanatic
	Caserío Jucanyá
	Fincas: La Vega, Santa Socorro, San Felipe, Natividad, Santa Victoria.
San Andrés Semetabaj	Aldea Xecotoj
	Finca Tzarayá

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2020).

La microcuenca Santiago Atitlán pertenece a la subcuenca Vertiente del Lago, tiene un área de 7.83 km² y es una vertiente que drena directamente sobre el Lago Atitlán. (AMSCLAE, 2018) Esta microcuenca se encuentra localizada en el municipio de Santiago Atitlán. Su ubicación se aprecia en la figura 2 y los poblados que conforman la microcuenca se aprecian en el cuadro 3.

Cuadro 3. Centros poblados microcuenca Santiago Atitlán.

Municipio	Centro poblado
Santiago Atitlán	Santiago Atitlán
	Cantón Panaj
	Cantón Xechivoy
	Cantón Panul

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística, 2020).



Fuente: elaboración propia, 2020.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Panajachel - San Francisco de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá.

Figura 2. Mapa de ubicación de la microcuenca Santiago Atitlán de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá.

2.2.2. Vías de acceso

Para ingresar a la microcuenca Panajachel - San Francisco se puede ingresar por el municipio de Sololá (kilómetro 138) por medio de carretera asfaltada transitable CA-1. (Palma Sanabria, 2008) Se debe pasar por la cabecera municipal de Sololá y se baja rumbo a Panajachel. Se puede tomar la carretera CA-2, ruta que va hacia el Pacífico, se llega a Patulul se busca la aldea Las Trampas y se conduce hacia Godínez para llegar a la microcuenca San Francisco y posteriormente a la microcuenca Panajachel, pasando por San Andrés Semetabaj. Otra vía de acceso es cruzando en Patzún, llegando nuevamente a Godínez. Esta ruta es poco transitada por tener demasiadas curvas en su recorrido. (Reyes Noriega, 2008)

Para la microcuenca Santiago Atitlán se debe acceder por occidente, en la carretera CA-1. Una ruta alterna es la CA-2 por Santa Lucía Cotzumalguapa, pasando por Cocales y Patulul y llegando a San Lucas Tolimán para ingresar a Santiago Atitlán. (Tay Vasquez, 2008)

2.2.3. Población total

La población presente dentro de las microcuencas Panajachel - San Francisco asciende a 15,077 habitantes y en la microcuenca Santiago Atitlán es de 27,187 habitantes, según datos del Censo de Crecimiento Poblacional del año 2018 del Instituto Nacional de Estadística –INE.-.

2.2.4. Clima

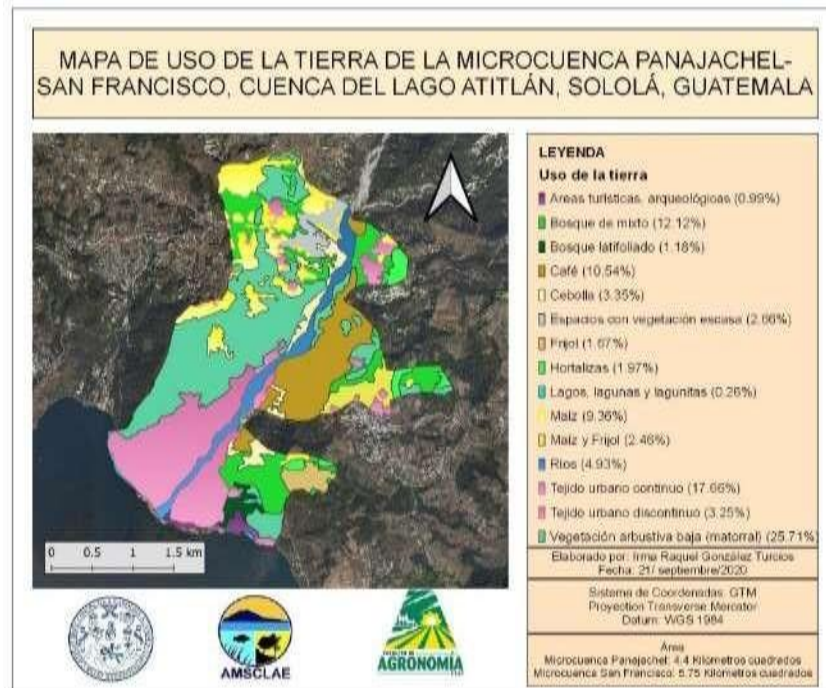
En la microcuenca Panajachel - San Francisco la época lluviosa presenta en los meses de mayo a noviembre, con precipitación promedio anual de 1,490 mm. Esta precipitación es catalogada como abundante por la presencia de vegetación y la influencia que tiene el Lago Atitlán, el cual también aporta humedad o lluvia por convección. En la microcuenca Santiago Atitlán el promedio anual de precipitación es de 1,974 mm, marcándose los meses lluviosos de mayo a noviembre.

La temperatura promedio en la microcuenca Panajachel - San Francisco es de 14.80 °C, en la microcuenca Santiago la temperatura promedio es de 18.69 °C. Además, en el 100 % del territorio de la microcuenca Panajachel - San Francisco se presenta un clima Húmedo-Templado (BB'2) de acuerdo a Thornthwaite, mientras que en la microcuenca Santiago sólo cubre el 25.23 %; el 18.21 % es considerado clima húmedo-semifrío (BB'3) y el restante 56.56 % es clima semiseco-templado (CB'2).

2.2.5. Uso de la tierra

Tal como se puede observar en la figura 3, en el área que abarcan los ríos Panajachel y San Francisco, el mayor uso de la tierra que se presenta es vegetación arbustiva baja con 261 ha. Seguido de bosque mixto con 123 ha y café con 107 ha. También es posible encontrar asociaciones de maíz-frijol, siembras de maíz y frijol por separado, hortalizas, bosque latifoliado y cebolla, pero en menor proporción.

Por otra parte, como se observa en la figura 4, en el área de la microcuenca Santiago Atitlán el cultivo que mayor predominio tiene es el café, el cual ocupa un área de 378 ha. Seguido del bosque latifoliado con 248.90 ha. Es importante resaltar que este último se encuentra en las faldas del volcán de Santiago Atitlán y en la parte baja del volcán y media de la microcuenca se encuentra el cultivo del café, de esta manera, en la parte baja y circundante al Lago Atitlán se encuentran cultivos como maíz, vegetación arbustiva baja y hortalizas.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 3. Mapa de uso de la tierra de la microcuenca Panajachel - San Francisco de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 4. Mapa de uso de la tierra de la microcuenca Santiago Atitlán de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá.

2.2.6. Abastecimiento de agua

La microcuenca Panajachel - San Francisco se ubica al norte de la Cuenca del Lago Atitlán en la subcuenca del río San Francisco. El río de mayor importancia es el río San Francisco o Panajachel, el cual tiene un caudal bajo en la época de verano (diciembre –abril), incrementándose en la época lluviosa (mayo – noviembre), convirtiéndose, a veces, en un peligro latente para la población. También se encuentra un manantial de agua termal (Nacimiento del Estadio); la cascada Tzalá y las cataratas La Esmeralda, La Campana y Santa Victoria que se encuentran en la Finca Santa Victoria.

En la microcuenca Santiago Atitlán, la principal fuente a abastecimiento para la población es el Lago Atitlán. El agua proveniente del Lago Atitlán es considerada entre los pobladores como potable para consumo humano, por lo cual es consumida sin restricción alguna. En esta área es típico el abastecimiento de agua por medio del Lago debido a que el municipio no cuenta con fuentes de abastecimiento hídrico cercanas a los centros poblados y los pocos que existen se encuentran de manera efímera; además, por el tipo de suelo que existe las aguas drenan rápidamente, por lo que carece de mantos acuíferos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Caracterizar el uso del agua de las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán, Cuenca del Lago Atitlán, Sololá.

3.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar el uso del agua, por sectores socioeconómicos, de las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán.
2. Estimar el volumen de agua utilizada por los diferentes sectores socioeconómicos de las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán.
3. Comparar el volumen de agua y la demanda hídrica entre sectores socioeconómicos de las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán.
4. Proponer estrategias para la optimización del uso del agua de las fuentes de abastecimiento hídrico y la búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico en las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán.

4. METODOLOGÍA

4.1. Caracterización del uso del agua por sectores socioeconómicos

La caracterización del uso del agua, de acuerdo a las actividades que realizan los distintos sectores socioeconómicos dentro del área de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán se desarrolló bajo la siguiente metodología:

4.1.1. Fuentes de abastecimiento hídrico

Para la identificación de las fuentes de abastecimiento hídrico de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán se contó con el apoyo de los Inspectores de Salud de las áreas de Panajachel y Santiago Atitlán.

4.1.2. Solicitud de información

Se recolectó información sobre las fuentes de abastecimiento hídrico que se encuentran en las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán, como volumen de agua distribuido a la población y cobertura del servicio. Esta información se solicitó a la Oficina de Acceso a la Información Pública y a la Oficina de Recursos Hídricos de las Municipalidades de Santiago Atitlán y Panajachel.

4.1.3. Encuestas a la población

Con el fin de conocer la percepción de la población, se estableció una muestra de carácter representativo, con un periodo de referencia para el levantamiento de datos a partir del 21 al 23 de diciembre del año 2020; lo que permitió encuestar a la población e identificar las actividades socioeconómica que tienen mayor uso de agua en las microcuencas.

4.2. Estimación del volumen de agua utilizado por los sectores socioeconómicos

4.2.1. Marco de muestreo

Los sectores socioeconómicos de mayor relevancia fueron previamente establecidos a partir de la percepción de la población, respecto a cuál hace mayor uso del agua. Para la identificación de la cantidad de inmuebles se recurrió al Instituto Nacional de Estadística – INE-, así como al Instituto Guatemalteco de Turismo –INGUAT- y a las Municipalidades de Panajachel y Santiago Atitlán.

4.2.2. Muestreo estadístico para población finita

Posteriormente al establecimiento del marco de muestreo, se estableció la muestra con la cual se trabajó en la investigación, para ello se hizo uso de la ecuación 1, para determinar la muestra de una población finita. El nivel de confianza utilizado será del 92 %, con un error máximo aceptado de 8 %, debido a que la ocupación de los territorios es elevada. El periodo de referencia para el levantamiento de datos fue del 22 de febrero al 26 de marzo del año 2021.

4.2.3. Muestreo estadístico estratificado proporcional

Definida la muestra poblacional y reconocidos los sectores socioeconómicos de mayor relevancia en las microcuencas, se realizó un muestreo estratificado proporcional, con el fin de definir el tamaño de la muestra de cada estrato de manera proporcional al tamaño de la población del estrato.

4.2.4. Mesa de diálogo con las municipalidades de Panajachel y Santiago Atitlán

Previo a definir el caudal de agua que usan los sectores socioeconómicos y definir el tipo de abastecimiento hídrico, se sostuvo una mesa de diálogo con la Corporación Municipal de Panajachel y Santiago Atitlán, con el fin de socializar el objetivo de la investigación, al mismo tiempo que se solicitó apoyo y acompañamiento en las labores de campo.

4.2.5. Encuestas sobre abastecimiento hídrico de los sectores socioeconómicos

Definida la población de muestra, y con el apoyo del personal municipal, se realizó una encuesta para cada uno de los establecimientos. Esta encuesta tuvo la finalidad de definir el tipo de abastecimiento, las horas y días en que es proporcionado el servicio.

Asimismo, se realizó el aforo de las fuentes hídricas con el fin de conocer la cantidad de agua que capta el sistema. De igual manera, se conversó con los fontaneros del Departamento de Recursos Hídricos de las municipalidades para conocer los días, horas y características de las fuentes de abastecimiento hídrico.

Finalmente, de acuerdo al volumen que es producido por las fuentes hídricas, se estimó la dotación hídrica de la población que se encuentra en las microcuencas, de manera que se pudiera establecer qué volumen de agua le corresponde a cada habitante por día y por mes.

4.3. Demanda hídrica de los sectores socioeconómicos

4.3.1. Revisiones fundamentales

Para estimar la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos de mayor relevancia en las áreas de Panajachel y Santiago Atitlán se realizaron revisiones bibliográficas a partir de investigaciones, tesis y proyectos realizados con anterioridad, con lo que se pudiera definir la cantidad de agua adecuada para cubrir las necesidades de la población.

4.3.2. Modelos matemáticos

En el sector agrícola, para estimar la demanda hídrica de los cultivos de mayor presencia, de acuerdo a la percepción de la población, se realizó mediante fórmulas ya establecidas. La metodología utilizada fue la de Blaney y Criddle, para la cual se necesitan los siguientes datos:

- Temperatura media mensual en centígrados (°C).
- Porcentaje de horas luz/mes.

Estos datos fueron obtenidos a partir de las estaciones climáticas:

- Estación climática Santiago Atitlán, ubicada en el municipio de Santiago Atitlán.
- Estación climática San Andrés Semetabaj, ubicada en la Finca Santa Victoria.
- Estación climática Panajachel, ubicada en el hotel Jardines del Lago.

La fórmula que se utilizará es la siguiente:

$$ET = K * F \quad \text{Ecuación 6 Evapotranspiración.}$$

Donde,

ET: Evapotranspiración total del cultivo (cm).

K: Coeficiente total de ajuste (dependen del cultivo y zona de estudio).

F: suma de los valores de todos los meses del ciclo vegetativo.

$$F = \sum f$$

$$f = \left(\frac{T+17.8}{21.8} \right)^P * \text{Duración en meses del ciclo vegetativo}$$

Ecuación 7 Valores de meses del ciclo vegetativo.

Donde,

T: Temperatura promedio mensual (°C).

P: porcentaje de horas luz/mes.

P: Días considerados en un mes para el ciclo vegetativo/ número total de días que tiene el mes.

El porcentaje de horas luz fue estimado a partir de datos ya preestablecidos. Para ello se utilizaron los datos del cuadro 11A.

Posteriormente se calculó el coeficiente por temperatura, siendo el siguiente:

$$K_t = 0.031144 (T) + 0.2396$$

Ecuación 8 Coeficiente de temperatura.

Donde,

T: Temperatura media mensual en centígrados (°C).

Una vez definido el valor de f y de K_t se procedió a calcular la evapotranspiración de referencia (E_{To}), para lo cual se procederá de la siguiente manera.

$$ET_o = f K_t$$

Ecuación 9 Evapotranspiración de referencia.

El dato de ET_o fue calculado para cada uno de los meses que dura el ciclo vegetativo, posteriormente se calculó una primera aproximación de este dato.

$$ETp': ET_o * K_c = \frac{mm}{día}$$

Ecuación 10 Evapotranspiración potencial del cultivo.

Donde:

ETp' : Evapotranspiración del cultivo (mm/d).

ET_o : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d).

K_c : Coeficiente del cultivo (adimensional).

Finalmente se calculó un coeficiente de ajuste y se determinó el valor final de la evapotranspiración, con las siguientes fórmulas:

$$K' = \frac{ETp'}{\Sigma f}$$

Ecuación 11 Coeficiente de ajuste del cultivo.

Donde,

K: Coeficiente total de ajuste del cultivo.

ETp': Evapotranspiración potencial.

Σf: Sumatoria ciclo vegetativo (meses).

$$ETp = ETp' * \frac{KG}{K'}$$

Ecuación 12 Evapotranspiración potencial del cultivo ajustada.

Donde,

ETP: Evapotranspiración potencial final.

ETp': Evapotranspiración potencial.

KG: Coeficiente global del cultivo.

K': Coeficiente total de ajuste del cultivo.

Posterior a este cálculo se estimó la eficiencia del método de riego que tenía el cultivo y con esto establecido se procedió al cálculo de la lámina bruta:

$$LB: \frac{Et. max}{\% Met. riego} = \frac{mm}{día}$$

Ecuación 13 Lámina bruta.

Siendo:

LB: lámina bruta, expresada en mm/d.

Et. Max: evapotranspiración máxima.

%Método de riego: % de la eficiencia del método de riego. El porcentaje del método de riego se encuentra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Eficiencia de los métodos de riego.

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Superficie	30
Aspersión	75
Micro aspersión	85
Goteo	90

Fuente: Seminis, 2017 y AgroNoticias, 2018.

Y con estos datos se procedió al cálculo del caudal unitario del sistema, con la fórmula que sigue:

$$q_u = \frac{10,000m^2 * LB \left(\frac{m}{día} \right)}{86,400 \frac{s}{día}} * \frac{1,000L}{1m^3} = \frac{l/s}{ha}$$

Ecuación 14 Caudal unitario.

Donde:

q_u: Caudal unitario.

LB: lámina bruta, expresada en mm/d.

Ya establecido el caudal unitario, se hizo el cálculo del caudal ajustado, de manera que se incluya la jornada de riego:

$$q_{aj} = q_u * \frac{24 \text{ horas}}{N} * \frac{7 \text{ días}}{M} \frac{l/s}{ha}$$

Ecuación 15 Caudal ajustado.

Donde:

q_{aj} : Caudal ajustado.

N: Cantidad de horas al día que se tiene riego.

M: Cantidad de días a la semana que se mantiene el riego.

Habiendo calculado el caudal ajustado, se procedió a calcular el caudal total o real, a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{total} = q_{aj} * \text{Área (ha)} = \frac{l/s}{ha}$$

Ecuación 16 Caudal total.

Donde:

Q_{total} : Caudal total.

q_{aj} : Caudal ajustado.

Área: Área expresada en hectáreas.

De esta manera se realizó el cálculo de la demanda hídrica en el sector agrícola. Asimismo, para este fin, se hizo uso de una boleta de información general, para recabar los datos

necesarios para establecer los factores o parámetros antes mencionados, que fueron necesarios para el cálculo de la demanda hídrica del cultivo.

4.3.3. Comparación entre volumen hídrico disponible y demanda hídrica de los sectores socioeconómicos

Una vez estimado el caudal de agua que ingresa a los sistemas de abastecimiento hídrico de las áreas de estudio y estimada la demanda hídrica de los sectores socioeconómicos de mayor interés en los territorios, se ingresaron los datos a una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel®, donde se procesaron e interpretaron los valores de oferta y demanda hídrica de los sectores socioeconómicos. Finalmente se realizó la comparación entre sectores socioeconómicos por áreas de estudio.

4.4. Estrategias para la optimización del uso del agua y la búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico

4.4.1. Revisiones bibliográficas

A través de revisiones bibliográficas se identificaron fuentes alternativas para abastecimiento hídrico en la población, con el fin de tener una gama de opciones que beneficien a la población dentro de las áreas de estudio. Asimismo, se plantearon estrategias de optimización del recurso hídrico de las fuentes que ya existen dentro de las áreas de estudio, con el fin de que la población pueda adaptar nuevos mecanismos o formas de utilizar el recurso hídrico que se acople al medio social y económico en el que se desenvuelven las comunidades.

4.4.2. Encuestas

Las encuestas fueron dirigidas a la población de muestra, previamente establecida. Se les abordó con preguntas directas sobre optimización y su conocimiento de fuentes alternativas de abastecimiento hídrico.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del uso del agua por sectores socioeconómicos

5.1.1. Identificación de sectores socioeconómicos

En el mes de diciembre del año 2020 se realizaron 30 encuestas en la microcuenca Panajachel- San Francisco y 30 encuestas en la microcuenca Santiago Atitlán, orientadas a determinar los sectores socioeconómicos que mayor presencia tienen en las áreas de estudio. Estas encuestas fueron dirigidas a la población en general.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

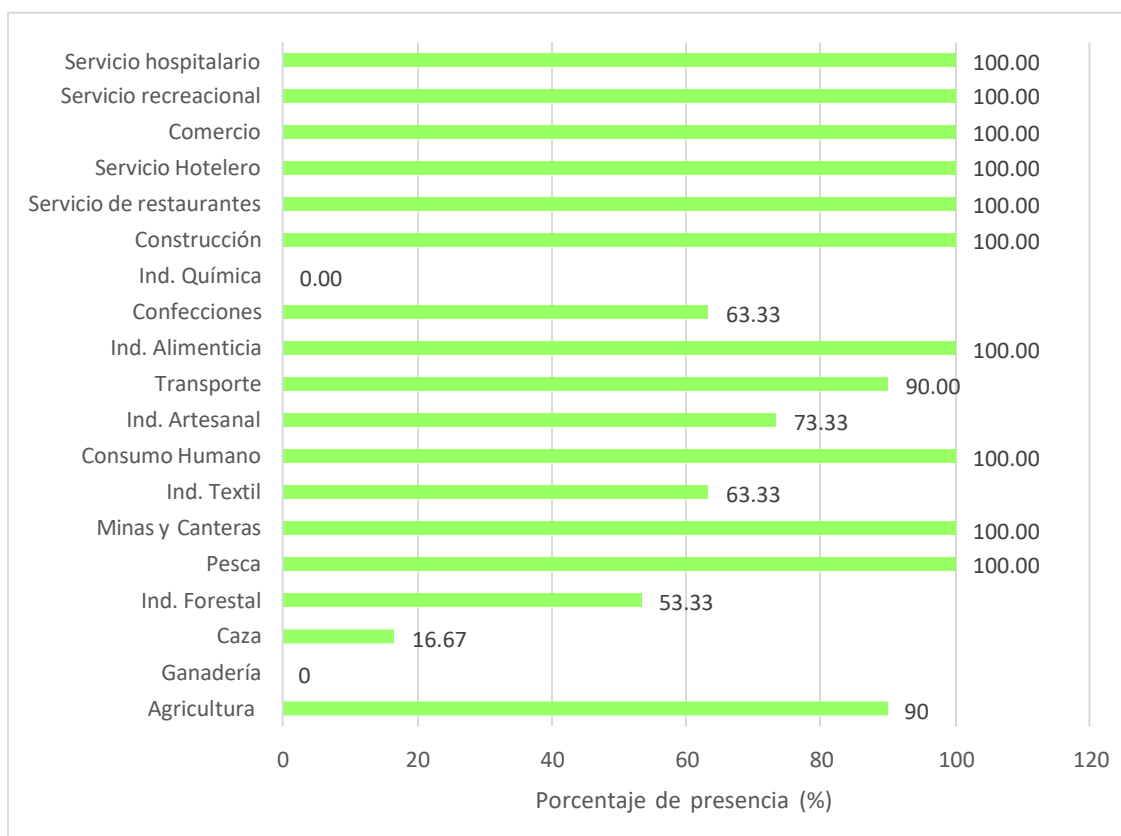


Figura 5. Sectores socioeconómicos de la microcuenca Panajachel - San Francisco.

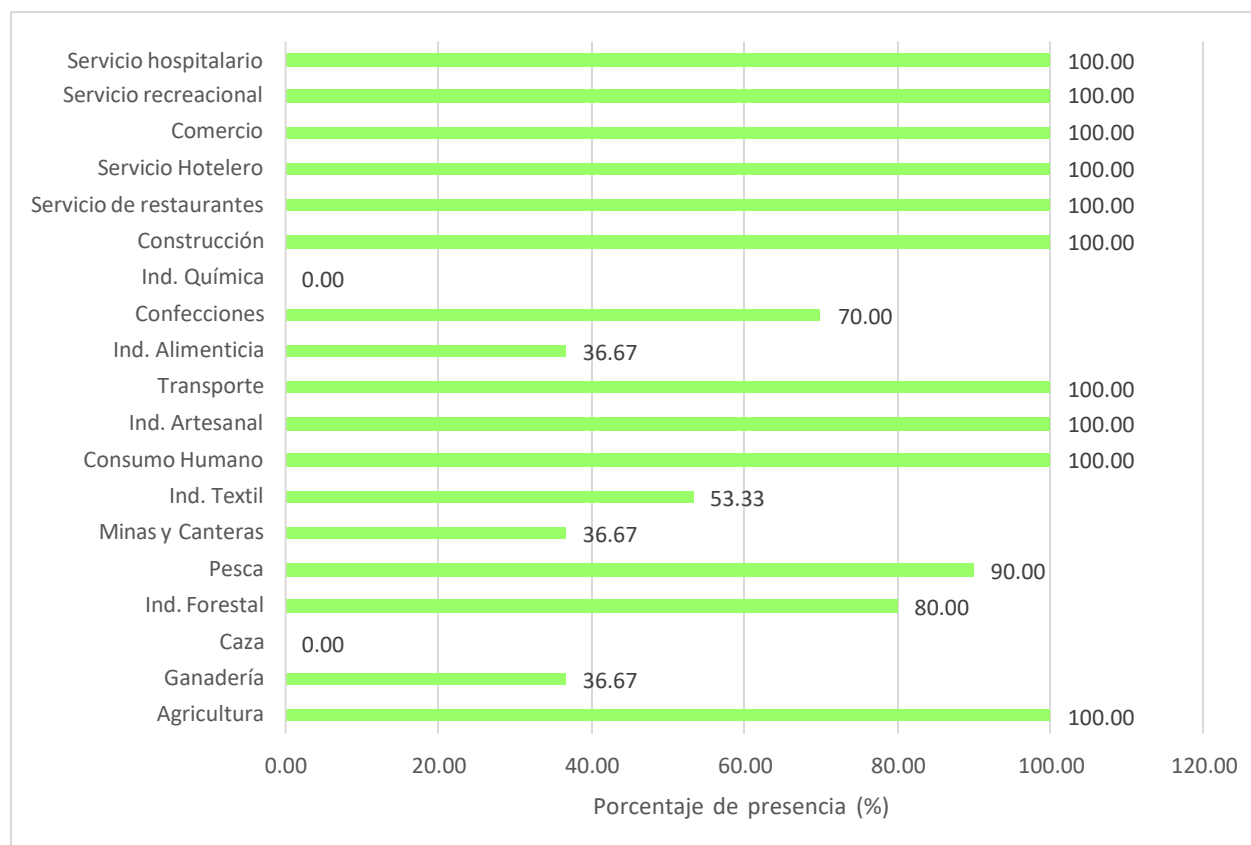


Figura 6. Sectores socioeconómicos de la microcuenca Santiago Atitlán.

Como se puede observar en las figuras 5 y 6, tanto en las microcuencas Panajachel-San Francisco como Santiago Atitlán, se tiene un 100 % de presencia de los siguientes sectores socioeconómicos:

- Servicio hospitalario.
- Servicio recreacional.
- Comercio.
- Servicio hotelero.
- Servicio de restaurantes.
- Construcción.
- Consumo humano.

5.1.2. Sectores socioeconómicos con mayor demanda de agua

En la encuesta realizada también se identificaron los sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica, de acuerdo al criterio de la población.

En el caso del sector agrícola, también se consultó sobre los cultivos que, según la población, tenían mayor presencia en las áreas.

A continuación, se presentan los datos obtenidos.

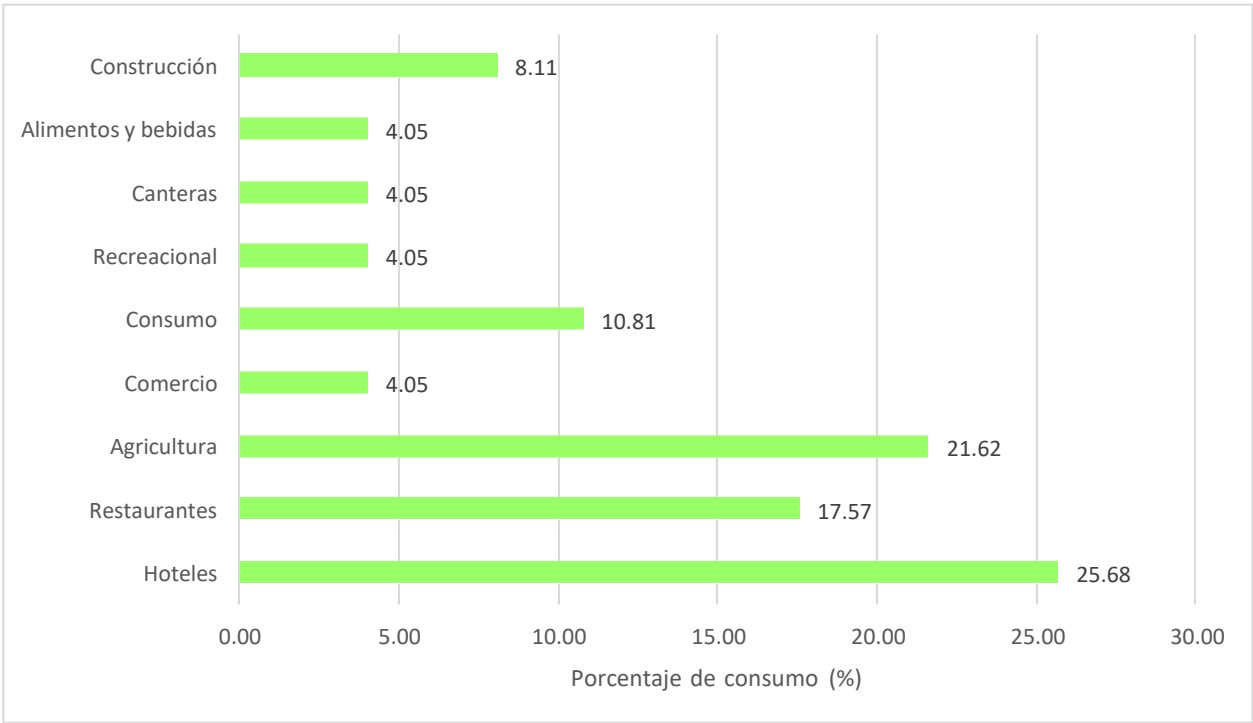


Figura 7. Sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica en la microcuenca Panajachel - San Francisco.

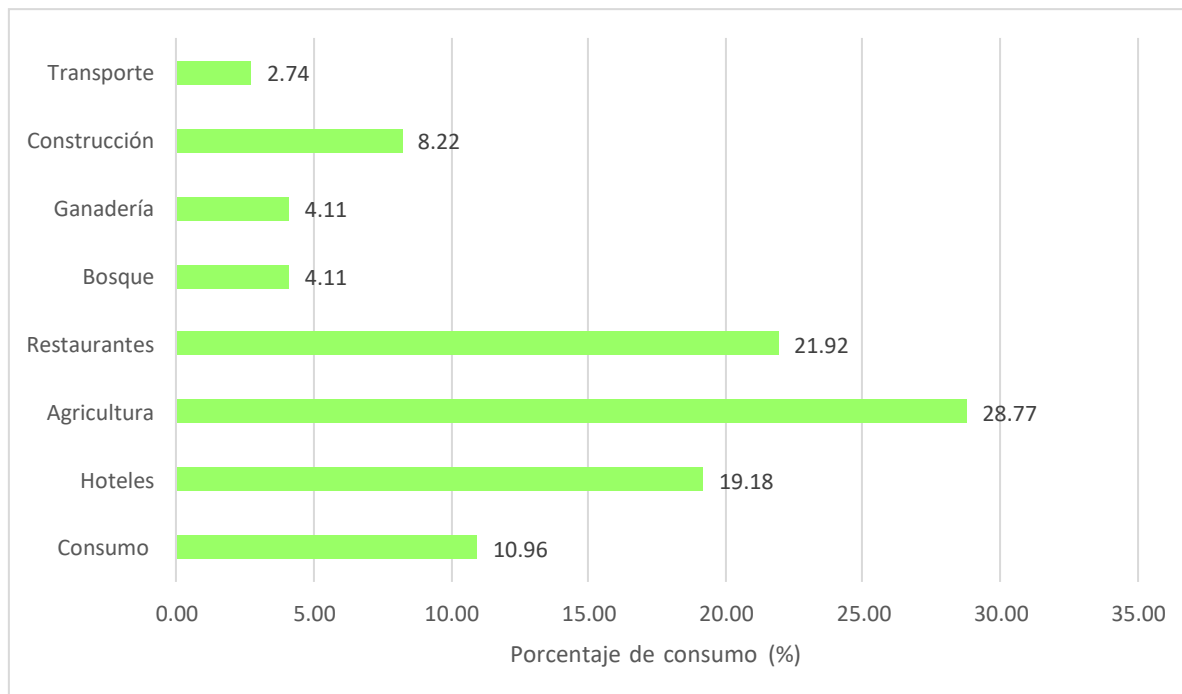


Figura 8. Sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica en la microcuenca Santiago Atitlán.

Como se observa en las figuras 7 y 8, los principales sectores socioeconómicos con mayor demanda hídrica en las microcuencas estudiadas son:

- Sector hotelero.
- Sector de restaurantes.
- Consumo humano.
- Agricultura.

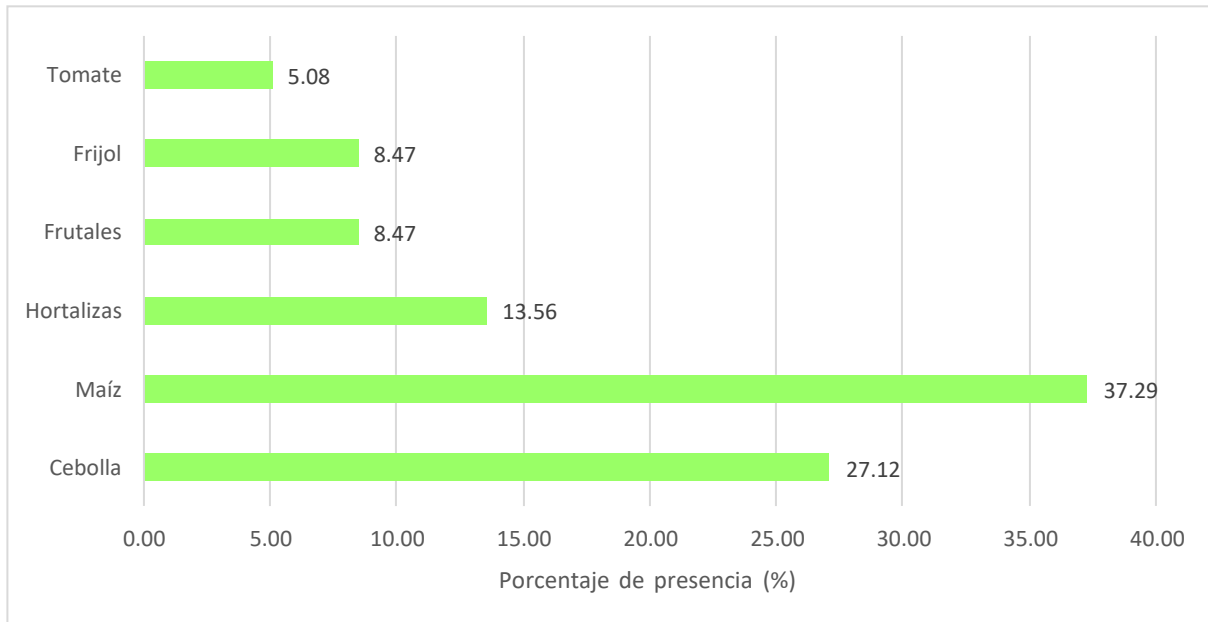


Figura 9. Principales cultivos agrícolas en la microcuenca Panajachel - San Francisco.

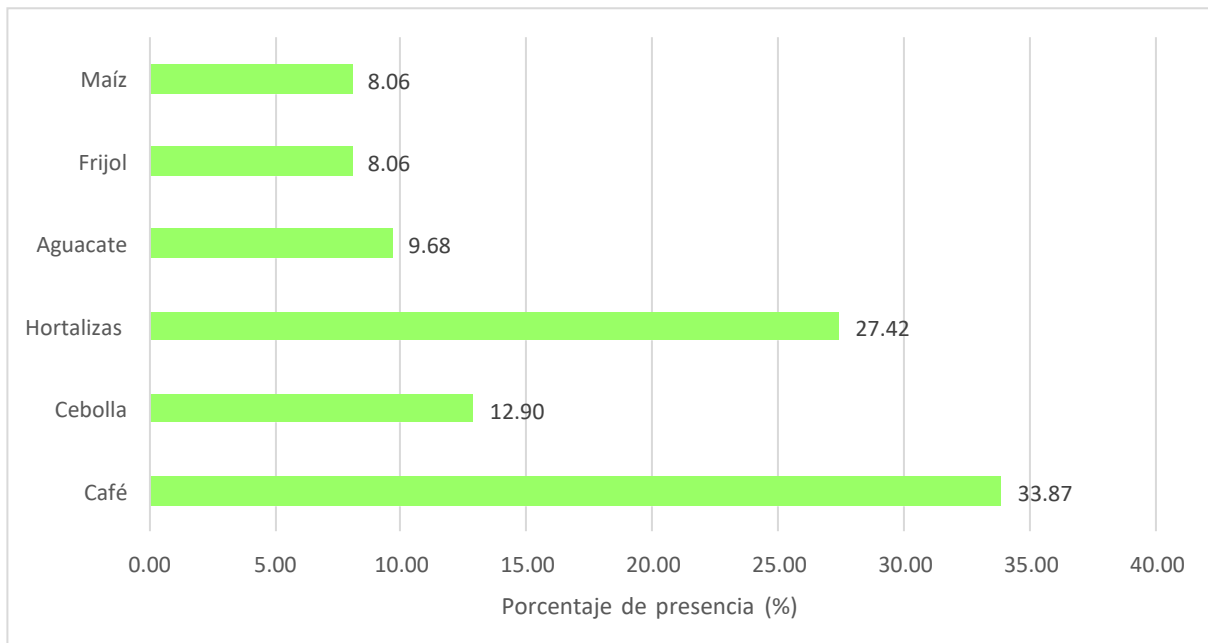


Figura 10. Principales cultivos agrícolas en la microcuenca Santiago Atitlán.

En las figuras 9 y 10 se puede apreciar que los cultivos con mayor presencia en las microcuencas estudiadas son:

- Maíz.
- Hortalizas.
- Cebolla.
- Café.

5.1.3. Fuentes de abastecimiento hídrico

A continuación se presenta el sistema hidrográfico de las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán.

Sistema hidrográfico Microcuenca Panajachel - San Francisco

Ríos

- San Francisco.
- Pamuch 1 y 2.
- Panasajar.
- Panimaché.
- Las quebradas.
- Pazotz.

Cascadas

- Tzalá.
- La Catarata.
- La Esmeralda.
- La Campana.
- Santa Victoria.

Pozos

- Pozo mecánico Ubico.
- Pozo mecánico del Estadio.
- Pozo mecánico Las Delicias.

Sistema hidrográfico Microcuenca Santiago Atitlán

Lago

- Lago Atitlán.

5.1.4. Tipo de abastecimiento hídrico por sectores socioeconómicos

En el mes de marzo del año 2021 se realizaron un total de 240 encuestas, distribuidas entre las microcuencas Panajachel-San Francisco y Santiago Atitlán. Estas encuestas estaban orientadas a determinar el tipo de abastecimiento hídrico que poseen los sectores de: hoteles, restaurantes, viviendas y agricultura.

Entre los tipos de abastecimiento hídrico se encuentra el de carácter municipal. Este tipo de abastecimiento es proporcionado por las fuentes de abastecimiento hídrico vistas anteriormente. En la microcuenca Panajachel- San Francisco, el sistema hidrográfico lo componen los ríos, cascadas y pozos mecánicos, cuya extracción de agua se encuentra regulada por la municipalidad de Panajachel y en la microcuenca Santiago Atitlán el sistema hidrográfico lo compone el Lago Atitlán. La extracción de agua es regulada por la municipalidad de Santiago Atitlán.

A continuación se presentan los datos obtenidos.

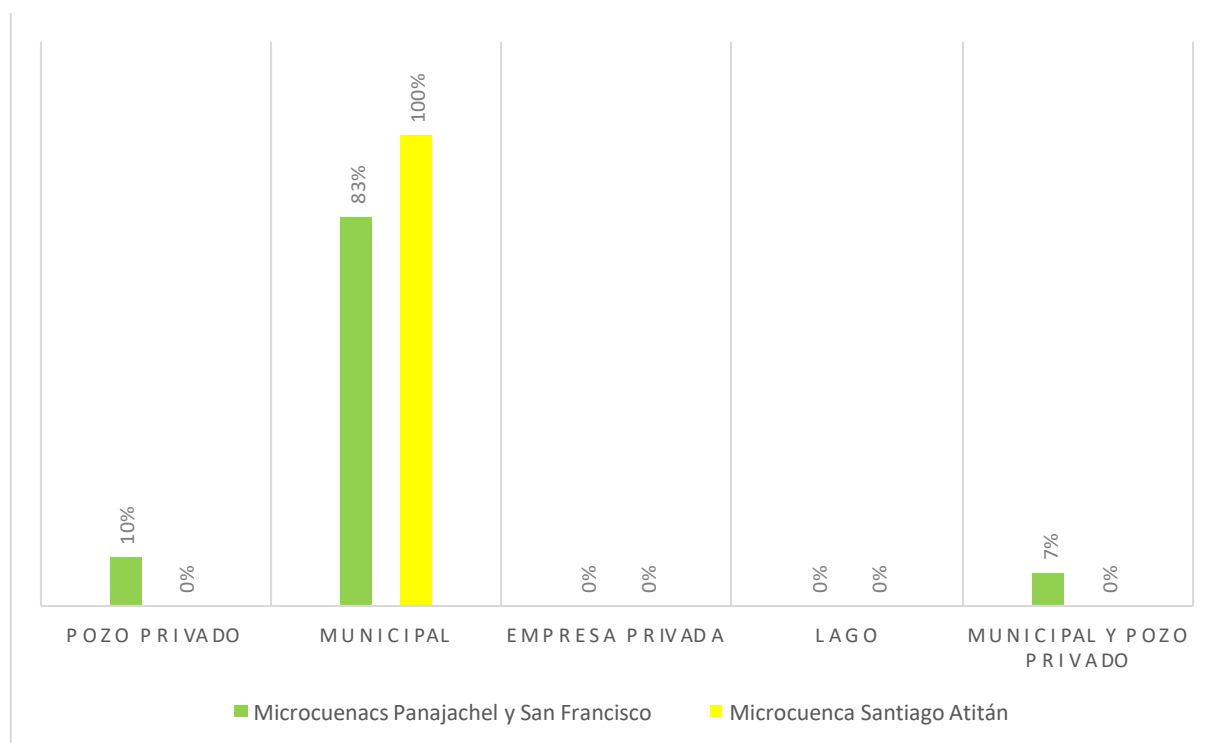


Figura 11. Abastecimiento hídrico en el sector viviendas.

Como se puede observar en la figura 11 la población utiliza el sistema municipal para el abastecimiento hídrico de sus viviendas, sin embargo, en la microcuenca Panajachel-San Francisco, este abastecimiento se complementa a través de la utilización de pozos privados, debido a que el servicio municipal en algunos sectores no es continuo.

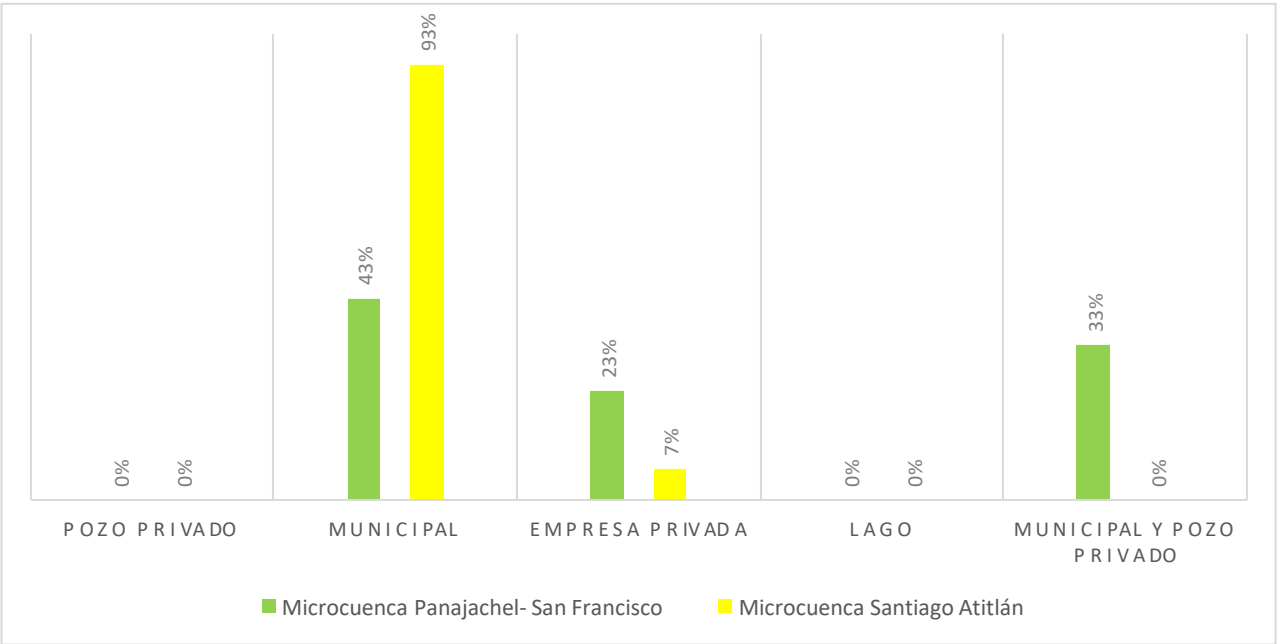


Figura 12. Abastecimiento hídrico del sector restaurantes.

Tanto en la microcuenca Panajachel-San Francisco como Santiago Atitlán, el mayor tipo de abastecimiento hídrico es por medio del sistema municipal, como se observa en la figura 12. En la primera microcuenca mencionada, además se complementa con el servicio ofrecido por empresas y por pozos privados. En la segunda, las personas también se abastecen a través de empresas que brindan el servicio de agua.

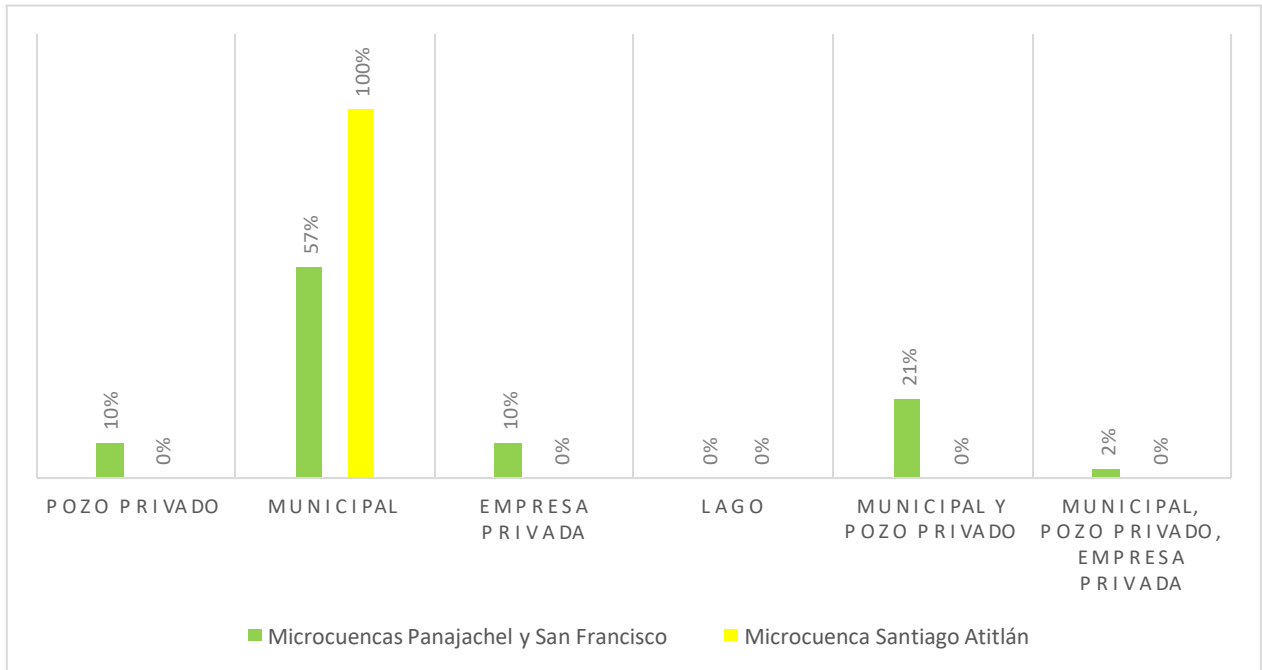


Figura 13. Abastecimiento hídrico del sector hotelero.

El sistema municipal de las microcuencas Panajachel- San Francisco y Santiago Atitlán es quien abastece, en su mayoría, al sector hotelero. Además, en la microcuenca Panajachel - San Francisco, el abastecimiento hídrico también se genera por medio de pozos privados y empresas que brinda el servicio de agua.

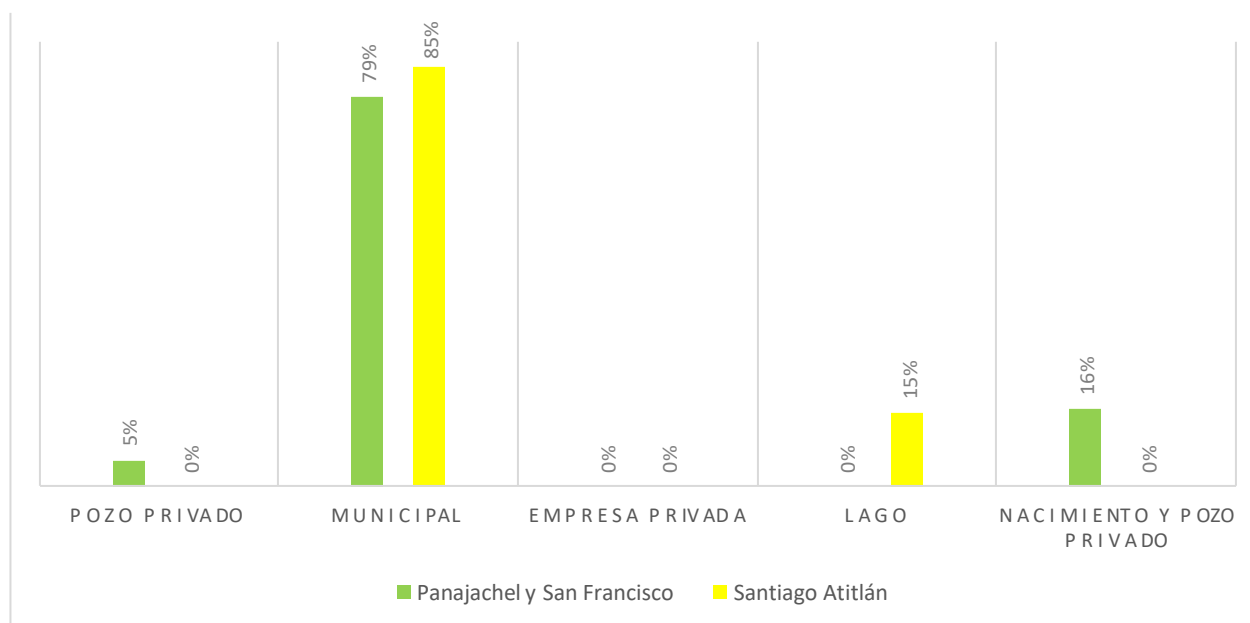


Figura 14. Abastecimiento hídrico del sector agrícola.

En la figura 14 se observa que el abastecimiento hídrico de la microcuenca Santiago Atitlán, mayormente es a través del sistema municipal, sin embargo, este no se encuentra concesionado para el sector agrícola. Quienes hacen uso de este tipo de abastecimiento poseen unidades productivas pequeñas o pequeños viveros cercanos al casco urbano de Santiago Atitlán. En áreas de siembra que no se encuentran cercanas al sistema municipal de agua, hacen uso de corrientes efímeras de agua que bajan del volcán o bien, utilizan agua de lluvia para el riego de sus cultivos. Una pequeña parte de la población de este sector, realiza extracción directa del Lago Atitlán, por su cercanía al mismo.

En el caso de la microcuenca Panajachel-San Francisco, el principal abastecimiento es a través del sistema municipal, que como se ha dicho anteriormente, proviene de la red hídrica (ríos, cascadas, pozos mecánicos) del municipio de Panajachel. Sin embargo, este tampoco se encuentra concesionado para este tipo de sector.

Por otra parte, en el sector agrícola existe un porcentaje de agua que no se encuentra cuantificada. En la parte alta de la microcuenca San Francisco, en las Aldeas Xecotoj y Patanatic no se obtuvo el dato de las fuentes de distribución de estas comunidades.

Sin embargo, se sabe que su principal abastecimiento es por medio de nacimientos y ríos que se encuentran cercanos a estos lugares. En la microcuenca Panajachel, existen nacimientos de agua y pozos dentro de las unidades productivas, o bien, se encuentran cercanas a los ríos de abastecimiento hídrico que utiliza la Municipalidad de Panajachel.

5.1.5. Aforo de fuentes de distribución hídrica

El aforo de las fuentes de distribución hídrica fue realizado entre los meses de febrero, marzo y agosto del año 2021. Para esta actividad se contó con el apoyo del personal de las municipalidades de Panajachel y Santiago Atitlán, así como de los inspectores de salud del municipio de Santiago Atitlán.

El aforo de las fuentes de distribución hídrica tenía por objetivo, contabilizar la cantidad de agua que es captada de las diferentes fuentes de abastecimiento hídrico (red hídrica) de las microcuencas Panajachel-San Francisco y Santiago Atitlán.

En el caso de la microcuenca Panajachel-San Francisco, no fue posible contabilizar el caudal de agua de las comunidades de Patanatic y Xecotoj, debido a que el agua que ingresa proviene de diversos nacimientos, no confluyen en un lugar específico y el acceso a los mismos es complicado. Los datos recolectados se encuentran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Aforo en sistema de distribución de agua en la microcuenca Panajachel – San Francisco.

Sitio	Ubicación	Profundidad	Horas y días de funcionamiento	Cobertura del servicio	Volumen de agua captada
Tanque de captación Puente Ubico	E 430982 N 1631366	---	12 horas (5 A.M. – 5 P.M.) Lunes a Domingo	Zonas 1, 2, 3, 4	2,409,696 l/d
Pozo de refuerzo	E 430982 N 1631366	Utilizado cuando el tanque de captación se encuentra vacío			

Continuación cuadro 5.

Pozo mecánico Ubico	E 430782 N 1631504	185 ft	6 horas (10 A.M. – 4 P.M.) Lunes a Domingo	Barrio Norte y sector sur	1,635,120 l/d
Pozo mecánico del Estadio	E 4297766 N 1630191	295 ft	6 horas (10 A.M. – 4 P.M.) Lunes a Domingo	Barrio Jucanyá y parte de zona 2	1,635,120 l/d
Pozo mecánico Las Delicias	E 430242 N 1631258	295 ft	6 horas (10 A.M. – 4 P.M.) Lunes a Domingo	Barrio Norte, sector sur y parte de zona 2	1,635,120 l/d
CAUDAL TOTAL					7,315,056 l/d

En la microcuenca Panajachel- San Francisco se ubica el tanque de captación “Puente Ubico”, el cual es abastecido por la red hidrográfica del municipio de Panajachel. Este tiene una captación de 2,409,696 l/d. Por otra parte, se encuentran tres pozos mecánicos en funcionamiento, los cuales fueron aforados por personal de la municipalidad de Panajachel en el mes de febrero. Estos pozos, en total, generan un caudal de 4,905,360 l/d. El volumen hídrico total producido por el sistema de distribución de agua es de: 7,315,056 l/d.

Cuadro 6. Sistema de distribución de agua en la microcuenca Santiago Atitlán.

Sitio	Ubicación	Observaciones	Horas y días de funcionamiento	Cobertura del servicio	Volumen de agua captada
Tanque 1 Pachichaj	N 14° 37'57.8'' W 91° 13'43.9''	Inyección de cloro gas	24 horas Lunes a Domingo	Pueblo de Santiago Cantón Panul Cantón Xechivoy	2,557,440 l/d

Continuación cuadro 6.

Tanque 2 Xechivoy	N 14° 37'58.7'' W91° 13'42.4''	Inyección de cloro gas	24 horas Lunes a Domingo	Pueblo de Santiago Cantón Panul Cantón Xechivoy	2,246,400 l/d
Tanque 3 Panul	N 14° 37'58'' W 91° 13'42.4''	Inyección de cloro gas	24 horas Lunes a Domingo	Pueblo de Santiago Cantón Panul Cantón Xechivoy	1,756,800 l/d
CAUDAL TOTAL					6,560,640 l/d

En la microcuenca Santiago Atitlán, la fuente de abastecimiento hídrico únicamente la conforma el Lago Atitlán, por lo cual, el municipio realiza la extracción de agua a través del bombeo de la misma.

El sistema de distribución de esta microcuenca cuenta con tres tanques, los cuales producen un volumen total de agua de: 6,560,640 l/d.

Cuadro 7. Disponibilidad de agua en las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán.

Microcuenca	Área (km ²)	Población 2018	Densidad poblacional (Hab./km ²)	Volumen de agua (l/d)	Volumen de agua (l/hab.-d)	Volumen de agua (l/km ² -d)
Panajachel/San Francisco	10.15	15,159	1,493	7,315,056	482.56	720,695.17
Santiago Atitlán	7.83	25,758	3,289	6,560,352	254.69	837,848.28

La microcuenca Panajachel-San Francisco genera un mayor volumen hídrico, en comparación con la microcuenca Santiago Atitlán. Esta variación puede ocurrir debido a que en la primera existen más fuentes de abastecimiento hídrico (superficiales y subterráneas). A partir de los datos generados por los aforos, también fue posible cuantificar grosso modo, el volumen de agua por habitante y por kilómetro cuadrado, siendo para las microcuencas Panajachel y San Francisco los valores de: 482.56 l/hab.-d y 720,695.17 l/km²-d; y en la microcuenca Santiago Atitlán: 254.69 l/hab.-d y 837,848.28 l/km²-d.

5.2. Volumen de agua utilizada por sectores socioeconómicos

Para definir el volumen de agua que corresponde a cada sector socioeconómico, se utilizó el número total de establecimientos presentes en cada sector y el número total de usuarios registrados en el sistema municipal. Con estos datos se generó una relación proporcional entre los valores de cada sector, en relación al volumen de agua captado por las fuentes de distribución hídrica de las microcuencas. Estos datos se pueden apreciar en el cuadro 8.

Cuadro 8. Volumen de agua utilizada por sectores socioeconómicos.

TOTAL	Panajachel-San Francisco	Santiago	Volumen de agua producido	Panajachel – San Francisco (l/d)	Santiago (l/d)
				7,315,056	6,560,352
Usuarios	5,800	9,318	Dotación hídrica por usuario	1,261.22	704.05
Viviendas	4,309	7,150	Dotación hídrica por usuarios por sector	5,434,582.12	5,033,968.32
Hoteles	112	12		141,256.25	8,448.62
Restaurantes	45	32		56,754.74	22,529.65
Usuario por sector socioeconómico	4,466	7,194	Dotación total	5,632,593.12	5,064,946.59

Tanto en la microcuenca Panajachel-San Francisco como Santiago Atitlán existe diferencia entre la dotación total de los sectores estudiados, con respecto al volumen de agua que

ingresa al sistema de distribución hídrica. En el caso de la microcuenca Panajachel-San Francisco la diferencia es de 1,682,462.88 l/d y en la microcuenca Santiago Atitlán es de 1,495,405.41 l/d, con lo que se asume que esta proporción de agua es distribuida y utilizada por el resto de sectores socioeconómicos, que para fines de esta investigación no se han tomado en cuenta.

5.2.1. Demanda de agua en el sector de viviendas

Por otra parte, la OMS (Organización Mundial de la Salud), indica que una persona necesita, al menos, 50 l/d de agua para satisfacer las necesidades básicas y 100 l/d para atender todas las necesidades de manera óptima (Howard, 2003).

En el caso de las viviendas el consumo de agua es determinado por diferentes factores como: climático, social, económico y cultural, entre los que se incluyen también los factores sociodemográficos y político-económicos. Por otra parte, el acceso al agua es concebido como un derecho que comprende la salud, un medio ambiente sano, alimentación y vivienda adecuada (Huaquisto Cáceres, 2019).

Sin embargo, la distribución del recurso hídrico no es equitativa entre países y los consumos varían de acuerdo al nivel de desarrollo alcanzado y la temporalidad climática.

Según los datos reportados por la OMS, para el caso de la microcuenca Panajachel/San Francisco, para suplir las necesidades de la población se necesitaría un caudal de:

$$\text{volumen hídrico: } 100\left(\frac{l}{hab - d}\right) / 15,159 \text{ hab.} = 1,515,900 \text{ l/d}$$

En el caso de la microcuenca Santiago Atitlán, el dato es el siguiente:

$$\text{volumen hídrico: } 100\left(\frac{l}{hab - d}\right) / 25,758 \text{ hab.} = 2,575,800 \text{ l/d}$$

5.2.2. Demanda de agua en el sector hotelero

Ahora bien, el agua está íntimamente ligada al sector turístico en los sectores de hoteles, servicios recreativos y restaurantes. Como ya se ha mencionado, la Organización Mundial de la Salud (OMS), revela que una persona necesita 50 l/d para cubrir necesidades básicas, considerando como un consumo ecológico de agua, aquel que es inferior a los 100 l/hab.-d (Howard, 2003).

Sin embargo, los turistas pueden llegar a consumir entre 300 l/d y 800 l/d, en función de la estación y la zona, según datos manejados por el Instituto Nacional de Estadística para España (Rubio Mora, 2020). Según un estudio de caso realizado en las Islas Canarias, un territorio sin posibilidad de trasvase de agua con características que afectan la captación y estabilidad de atender las demandas hídricas, para atender las necesidades del turista se necesita aproximadamente 150 l/d (Rubio Mora, 2020).

Por otra parte, (Water Foundation, 2017) según el tipo de categoría del hotel y su tipología, el consumo de agua puede variar entre 200 l y 500 l por cliente al día. Aunque un aspecto importante es el tipo de hotel (con piscina, zona con jardines o spa) la parte más importante, en cuanto a consumo de agua, se encuentra en las habitaciones, donde el uso será entre el 70 % y 90 % del total.

Otras investigaciones realizadas sobre el consumo de agua en el sector hotelero sugiere las siguientes cifras: 440 l/turista-d, en Palma de Mallorca; en ciudades chinas 950 l/turista-d. En España, según la categoría del hotel la demanda puede variar de 520 l/turista-d a 225.9 l/turista-d, para hoteles 5 estrellas, de 287 l/turista-d a 127.87 l/turista-d para hoteles 2 ó 3 estrellas y 175 l/turista-d para hoteles de 1 estrella (Water Foundation, 2017).

Asimismo, según datos de la OMD (Destination management/marketing organization), en zonas situadas en el cinturón tropical, el consumo por turista incrementa y puede llegar a ser de 2,000 l/d o hasta 3,423 l/d por habitación (Water Foundation, 2017).

En el caso de Guatemala, a pesar de ser un país con gran afluencia turística, no cuenta con estudios sobre la demanda hídrica que tiene este sector. Sin embargo, según las últimas estadísticas realizadas por el Instituto Guatemalteco de Turismo (INGUAT) en el año 2012; Panajachel figuraba como uno de los municipios con mayor presencia turística, lo cual es observable en la actualidad, siendo así que para ese año se reportó una ocupación anual de 150,830 habitaciones. Lamentablemente dentro del boletín estadístico de INGUAT no se contempla la presencia ocupacional de turistas de Santiago Atitlán, por lo cual, se desconoce este dato (INGUAT, 2012).

En este sentido, tomando como base la presencia ocupacional turística del año 2012 en el municipio de Panajachel y considerando el dato de la OMD para zonas situadas en el cinturón tropical, se obtuvieron los siguientes datos:

$$\frac{150,830 \text{ habitaciones}}{\text{año}} * \frac{\text{Volumen hídrico estimado: } 1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{2,000 \text{ l}}{\text{día} - \text{habitación}} = \mathbf{837,944.44 \text{ l/d}}$$

5.2.3. Demanda de agua en el sector de restaurantes

En cuanto al sector de restaurantes, el Centro Nacional de Producción Más Limpia de Colombia indica que los establecimientos con manipulación de alimentos utilizan entre 13.60 l/d a 30 l/d para la limpieza y preparación de alimentos, siendo que el promedio oscile entre 50 l/d y 150 l/d, dependiendo del tamaño, equipos, productos y dispositivos de ahorro (Ocampo, 2019).

Según (BartalentLab, s.f), el consumo recomendado para restaurantes es de 30 l/d, en bares de 20 l/d y en cafeterías de 15 l/d, considerando en cada uno de ellos el mantenimiento, limpieza de equipos y cristalería. Por otra parte, también se deben considerar las instalaciones sanitarias, las cuales se calcula que utilizan alrededor de 8 l de agua, por lo que el mayor despilfarro de agua se produce precisamente en esta sección.

En el caso de las microcuencas estudiadas, se considerará un valor promedio de 150 l de agua diarios utilizados en cada uno de los restaurantes, tomando en cuenta que este valor no sólo hace referencia a la manipulación, limpieza y preparación de alimentos, también a la cantidad de descargas promedio que pueda existir en los restaurantes o comedores. A razón de lo anterior, el volumen estimado de agua utilizada sería el siguiente:

$$\frac{150 \text{ l}}{\text{d}} * 45 \text{ restaurantes} = \mathbf{6,750 \frac{\text{l}}{\text{d} - \text{restaurante}}}$$

Volumen hídrico estimado (Panajachel – San Francisco):

Volumen hídrico estimado (Microcuenca Santiago Atitlán):

$$\frac{150 \text{ l}}{d} * 32 \text{ restaurantes} = 4,800 \frac{\text{l}}{d - \text{restaurante}}$$

5.2.4. Demanda de agua en sector agrícola

La demanda hídrica del sector agrícola fue estimada a partir de modelos matemáticos, por medio de la metodología sugerida por Blanney & Criddle, además se tomaron valores generados a partir del mapa de uso de la tierra de cada una de las microcuencas investigadas. Los cultivos tomados en cuenta fueron el resultado de los datos proporcionados por la población en las encuestas realizadas en el mes de diciembre del año 2020.

Los datos generados a partir de estas metodologías se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Demanda hídrica de los cultivos en las microcuencas Panajachel-San Francisco y Santiago Atitlán.

Microcuenca	Panajachel-San Francisco (l/d)	Santiago Atitlán (l/d)
Cebolla	120,960	---
Frijol	680,832	---
Maíz	1,217,548.80	31,425,408
Café	1,197,504	7,096,032
Demanda hídrica requerida	3,216,845	38,521,440

La mayor demanda hídrica se encuentra en el cultivo de maíz. En las microcuencas Panajachel – San Francisco el valor es de: 1,217,548.80 l/d, en la microcuenca Santiago Atitlán el valor es de: 31,425,408 l/d. En el caso del cultivo de café, la demanda hídrica es de: 1,197,504 l/d y 7,096,032 l/d respectivamente.

En términos generales, la microcuenca Santiago Atitlán posee la mayor demanda del recurso hídrico (38,521,440 l/d), en comparación con las microcuencas Panajachel – San Francisco (3,216,845 l/d). Esta diferencia es resultado de los diferentes métodos de riego utilizados, así como de la extensión de tierra cultivada en cada una de las microcuencas.

5.3. Comparación entre volumen hídrico disponible y demanda hídrica de los sectores socioeconómicos

En el balance realizado de déficit/excedente, producido en las microcuencas no se tomó en cuenta el sector agrícola, debido a que: no todas las personas utilizan este sistema y la municipalidad no otorga ninguna dotación hídrica para este sector. Estos datos pueden apreciarse en el cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen volumen hídrico necesario para cada sector socioeconómico.

Microcuenca	Panajachel- San Francisco (l/d)	Santiago Atitlán (l/d)
Oferta hídrica disponible	7,315,056	6,560,352
Viviendas	1,515,900	2,575,800
Hoteles	837,944	N/D
Restaurantes	6,750	4,800
Agricultura	3,216,845	38,521,440
Total demanda hídrica por sectores socioeconómicos	5,577,439	41,102,040
Déficit/ Excedente*	4,954,461.56	3,979,752
Dotación hídrica Municipal	5,800,000	10,847,736 (agosto, 2020) 24,764,634 (septiembre, 2020)

*No se incluye en el cálculo la demanda del sector agrícola.

En la microcuenca Panajachel/San Francisco, aunque la población del sector agrícola, en las encuestas, respondió hacer uso del sistema municipal de agua; se observó que estas áreas se encuentran cercanas a nacimientos de agua o de algunos ríos tributarios del ríos San Francisco o bien a los lados de este. Es por ello que la demanda hídrica se excluye de los cálculos realizados sobre déficit/excedente.

En la microcuenca Santiago Atitlán no todo el sector agrícola hace uso del sistema municipal. Son pequeñas parcelas o viveros que se encuentran cercanos al sistema de abastecimiento hídrico quienes aprovechan esta agua. De lo contrario, las personas realizan extracción directa del Lago Atitlán o bien, hacen captación de agua de lluvia o utilizan el agua proveniente de corrientes efímeras, ubicadas en la parte alta de la microcuenca.

Por otra parte, de acuerdo a los datos proporcionados por la municipalidad de Panajachel, hay una dotación de 30,000 l/mes, lo que corresponde a 1,000 l/d para todos los usuarios.

En la microcuenca Santiago Atitlán, la municipalidad reporta un total de 9,318 usuarios registrados en el sistema. Sin embargo, la dotación hídrica mensual tiene fluctuaciones. En el mes de agosto del año 2020 la municipalidad reportó 34,925 l/mes (1,164 l/d) y en el mes de septiembre 79,731.67 l/mes (2,657 l/d). (Municipalidad de Santiago Atitlán, Guatemala, 2017). Se considera que la municipalidad no tiene una estimación acertada de la dotación diaria o mensual, ya que, según los datos registrados por día, cada usuario tendría una oferta hídrica de 0.12 l/d – 0.28 l/d, lo cual estaría muy por debajo de lo recomendado por la OMS.

Es importante aclarar que las municipalidades de Panajachel y Santiago Atitlán no cuenta con contadores de agua, la base de datos de los usuarios registrados en el sistema municipal de agua se encuentra desactualizado y la dotación hídrica mensual se basa en estimaciones generales. Además, el flujo de agua que ingresa a los sistemas de distribución hídrica es fluctuante durante todos los meses del año, según las observaciones realizadas por fontaneros y personal del departamento de Recursos Hídricos de ambas municipalidades.

5.4. Calidad del agua en las microcuencas Panajachel – San Francisco y Santiago Atitlán

La calidad de agua de las microcuencas Panajachel - San Francisco y Santiago Atitlán fue evaluada por un periodo de 6 meses (septiembre, 2020 a febrero, 2021) tomando en cuenta parámetros físicos y químicos. Los puntos de muestreo de las microcuencas fueron definidos de acuerdo a la accesibilidad que se tenía a las mismas. Estos datos corresponden a la información generada en los monitoreos de caudales y limnológico que realiza el Departamento de Investigación y Calidad Ambiental de la AMSCLAE.

5.4.1. Transparencia del agua

De acuerdo a la prueba de turbidez o transparencia del agua, la microcuenca Panajachel – San Francisco posee una transparencia de 4.95 cm/100 cm y la microcuenca Santiago Atitlán de 5.66 m.

La transparencia del agua es un factor importante, porque si bien no determina si el agua es contaminada o de mala calidad, es un indicador de que a mayor existencia de sedimentos disueltos en el agua, existirá menor entrada de luz, trayendo como efecto la disminución del oxígeno en el ecosistema acuático y la disminución de la actividad fotosintética de las plantas acuáticas.

5.4.2. Potencial de hidrógeno (pH)

En cuanto a la medición de pH en el agua, de acuerdo a la Norma COGUANOR 29001, el límite máximo aceptado es 7 – 7.5 y el límite máximo permitido es de 6.5 – 8.5. (Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 1985) En promedio, las microcuencas Panajachel-San Francisco se encuentra en 7.71 y la microcuenca Santiago Atitlán en 7.80; ambas dentro del rango del límite máximo aceptado, cuyo valor no implica daño alguno a la salud del consumidor.

5.4.3. Total de sólidos disueltos (TDS)

El total de sólidos disueltos (TDS) es una medida de calidad de agua que se refiere a todas las sustancias que se pueden filtrar (orgánicas e inorgánicas) encontradas en el agua. Los TDS a menudo afectan el sabor, olor y color del agua. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), se encuentran en rango excelente, aquellas concentraciones menores a 300 mg/l (Fluence news team, 2020). La Norma COGUANOR, acepta concentraciones de 500 mg/l. (Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 1985) Por lo tanto, las microcuencas Panajachel, San Francisco (86 mg/l – 204 mg/l) y Santiago Atitlán (216 mg/l – 228 mg/l) presentan concentraciones aceptadas tanto para los estándares de la OMS como para la Norma COGUANOR.

5.4.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de sustancias orgánicas contenidas en el agua. De acuerdo a (CONAGUA, 2011) el agua no contaminada tiene un rango menor a 3 mg/l, tal es el caso de la microcuenca Santiago Atitlán, la cual no supera los 3 mg/l.

La microcuenca Panajachel – San Francisco en los meses de septiembre a noviembre presentó valores entre 6 mg/l y 30 mg/l, siendo considerados como valores de calidad de agua aceptable, con indicios de contaminación pero con capacidad de autodepuración. En los meses de diciembre a febrero estos valores aumentaron, catalogando la calidad del agua como contaminada, debido a la existencia de descarga de aguas residuales crudas sobre el río.

Adicionalmente, se abordó el tema de calidad de agua durante la realización de encuestas dirigidas a la población. De acuerdo a las observaciones realizadas por las personas, en la microcuenca Santiago Atitlán se mostraba un mayor grado de satisfacción en cuanto a la calidad del agua, misma que se logró con la administración municipal actual. Sin embargo, un punto que recalcó la población fue la abundancia de cloro presente en el agua, la cual, si bien permitía que esta se considerara potable, causaba cierto daño en las plantas de jardín al momento de regarlas, lo que generaba inconformidad, principalmente en la población del sector viviendas y hotelero.

En la microcuenca Panajachel – San Francisco el panorama fue completamente distinto. Los cuatro sectores encuestados mostraron inconformidad en cuanto a la calidad del agua. Dentro de las observaciones realizadas, las personas mencionaban: mal olor, presencia de algas o animales, agua con muchos sedimentos; razones por las cuales la población, no consideraba el agua como potable y de baja calidad.

5.5. Estrategias para la optimización del uso del agua y la búsqueda de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico

El continente americano cuenta con aproximadamente un tercio de los recursos hídricos del mundo, sin embargo, este no se encuentra distribuido de manera homogénea, espacial ni estacionalmente (Suárez, 2019) .En la actualidad, el riego ocupa un total del 75 %, pero cada vez existe mayor demanda del mismo para el consumo humano en zonas urbanas como resultado del crecimiento demográfico y el acelerado proceso de urbanización.

Actualmente, 1 de cada 4 habitantes de ciudades latinoamericanas no disponen de acceso de calidad de agua potable y el saneamiento, situación que aumenta la vulnerabilidad y exclusión social de la población menos favorecida, además de desafiar la provisión en cantidad y calidad de agua en los centros urbanos (Suárez, 2019).

Tanto en la agricultura como en el sector doméstico, utilizan agua subterránea como superficial, y los beneficios que ésta supone para el bienestar humano son cruciales para alcanzar un desarrollo sostenible y atender los retos globales como el cambio climático (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).

El desarrollo sostenible de la agricultura y ciudades, así como la salud de los ecosistemas y biodiversidad dependen de la buena gestión sobre el agua subterránea a través de las zonas de recarga hídrica. La recarga hídrica hace referencia a la incorporación de agua a un acuífero, esta puede ser a través de la infiltración por agua de lluvia en el suelo, agua superficial o bien por otro acuífero (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).

Actividades como la agricultura no sostenible, cambios en el uso de la tierra, la deforestación, la urbanización y el crecimiento poblacional afectan negativamente a la incorporación del agua subterránea a los acuíferos, debido a la impermeabilización de los suelos en las zonas de recarga hídrica (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).

De esta manera, las estrategias que se plantean van orientadas a mejorar y optimizar el uso del recurso hídrico a través de mecanismos de acción. Entre los mecanismos de acción se proponen: Desarrollo tecnológico, gestión ambiental y responsabilidad social.

5.5.1. Desarrollo tecnológico

Acciones enfocadas a resolver la problemática del agua antes de su consumo, en las etapas de conservación, captación, conducción, almacenamiento y tratamiento. Algunas de las prácticas concretas que se pueden implementar a nivel local son:

A. Tecnología para captación

- Cosecha de agua de lluvia.
- Reforestación.
- Riego por micro aspersión.
- Riego por goteo.
- Riego manual para semilleros.
- Reservorios o embalses.

B. Tecnología almacenamiento

- Cisternas artesanales.
- Tanques de captación de aguas pluviales.
- Tanques livianos enterrados.

C. Tecnología para tratamiento

- Caja solar.
- Método de desinfección solar- SODIS.
- Filtro de arena lento.

5.5.2. Gestión ambiental y responsabilidad social

Se encuentran enfocadas en la relación hombre y agua, ya que ésta es fundamental para la supervivencia humana y su preservación depende del uso racional (Giraldo Rivera, 2017). Algunas de las prácticas que se pueden implementar son:

- Sensibilización a la comunidad por medio de programas de educación ambiental.
- Fomentar la reforestación con especies nativas de la región.
- Delimitar áreas de parches ecológicos y rondas hídricas.
- Aumento de cobertura forestal en las zonas altas de las microcuencas.
- Aumento del nivel de materia orgánica en el suelo.
- Aplicación de prácticas agrícolas sostenibles.
- Protección de nacimientos de agua.
- Delimitación y protección de la zona de recarga hídrica.

El aumento de la cobertura vegetal provee protección al suelo y las raíces llevan a cabo una acción fijadora de partículas, evitando con ello la erosión; además, ayudan a la infiltración del agua en el suelo. Por otra parte, aumentar la materia orgánica en el suelo ayuda a retener alrededor de 20 veces su peso en agua. Esto no sólo es beneficioso durante las sequías, sino también durante las lluvias intensas, pues el suelo reduce las inundaciones y las escorrentías al ralentizar el vertido de agua en la red hidrográfica (Aedo, 2020)

La aplicación de prácticas sostenibles en la agricultura contribuye a mejorar la capacidad de retención de humedad en el suelo. Dentro de estas prácticas se pueden mencionar:

- Rotación de cultivos, lo cual genera un mayor control de las malas hierbas, las plagas y provee un suelo más fértil (Larrosa, 2019).
- Labranza, y que oxigena la tierra, elimina plagas y reduce la acumulación de agua (Larrosa, 2019).
- Eliminación de malas hierbas, para que no obstaculice el rendimiento de los cultivos, además que puede ser utilizado en la elaboración de abonos (Larrosa, 2019).

- Adaptación de cultivos al tipo de clima, esto beneficiará a reducir la cantidad de agua que se emplea en los sistemas de regadío (Larrosa, 2019).
- Sistema de riego que minimice al máximo la cantidad de agua utilizada, entre los recomendados está el riego por goteo o por aspersión. Además se debe evaluar que no exista ningún tipo de fuga en el sistema (Larrosa, 2019).

Dentro de los beneficios que se encuentran al poner en prácticas las estrategias para la optimización del recurso hídrico se pueden mencionar:

- Aumento de la capacidad de las comunidades rurales para salvaguardar el acceso sostenible al agua, en cantidad y calidad, para los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socio-económico (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).
- Reducción del riesgo a desastres relacionados con el agua ya sea por exceso o déficit.
- Protección contra la contaminación y vectores nocivos transmitidos por el agua (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).
- Reducción a la vulnerabilidad en las comunidades, ante eventos de variabilidad climática (Pérez de Madrid & Navarro, 2018).
- Seguridad alimentaria de las poblaciones dentro de cada una de las microcuencas.
- Protección de la biodiversidad y restauración de la conectividad de los ecosistemas dentro de las microcuencas.
- Incremento en la capacidad de infiltración del suelo, almacenamiento y retención del agua dulce.

En cuanto a la aplicación de fuentes alternativas para el abastecimiento hídrico, en regiones donde el agua subterránea no es químicamente apta de forma directa para el consumo humano o lugares donde no existen acuíferos para explotación de los mismos, como es el caso de la microcuenca Santiago Atitlán, es válido optar por la posibilidad del aprovechamiento de precipitaciones para este uso. Además que, históricamente, muchas culturas alrededor del mundo se han abastecido por medio de las precipitaciones de agua de lluvia la cual no sólo es utilizada para consumo humano sino también para diversas actividades.

La captación de agua de lluvia generalmente se hace a través de los techos de las casas, conduciéndola por canaletas con cañerías que terminan en un depósito central. En algunos casos, previamente el agua sucia pasa por un decantador de sedimentos. (Basán, 2017)

Algunos de los problemas de este tipo de sistemas son:

- Son contruidos sin el diseño apropiado, ni las normas constructivas adecuadas y se ocupan materiales de baja calidad. (Basán, 2017)
- Las áreas de captación no tienen las dimensiones acordes a las precipitaciones del lugar, ni al volumen que se requiere captar. Sus materiales son inadecuados para poder captar el agua de lluvia de manera eficiente. (Basán, 2017)
- Las canaletas no tiene el tamaño necesario para conducir toda el agua captada por los techos hacia los depósitos. (Basán, 2017)
- Entre la superficie de captación y el depósito no existen mecanismos que garanticen el filtrado de los materiales que pudieran existir al momento de las lluvias, lo que pone en riesgo la calidad del agua almacenada. (Basán, 2017)

Como parte de los resultados de la aplicación de la encuesta para medir el grado de consciencia de los usuarios sobre el uso del agua, se obtuvo que de las 240 personas encuestadas un 25 % conoce algún tipo de sistema de captación de agua, otro 81 % considera necesaria la implementación de un sistema de captación de agua en su comunidad, además un 80 % de la población se encuentra de acuerdo con la instalación de un sistema de captación de agua en su hogar o establecimiento, lo cual da como resultado un índice favorable en la conservación del recurso hídrico. Estos datos se pueden apreciar en las figuras 15 y 16 que se presentan a continuación.

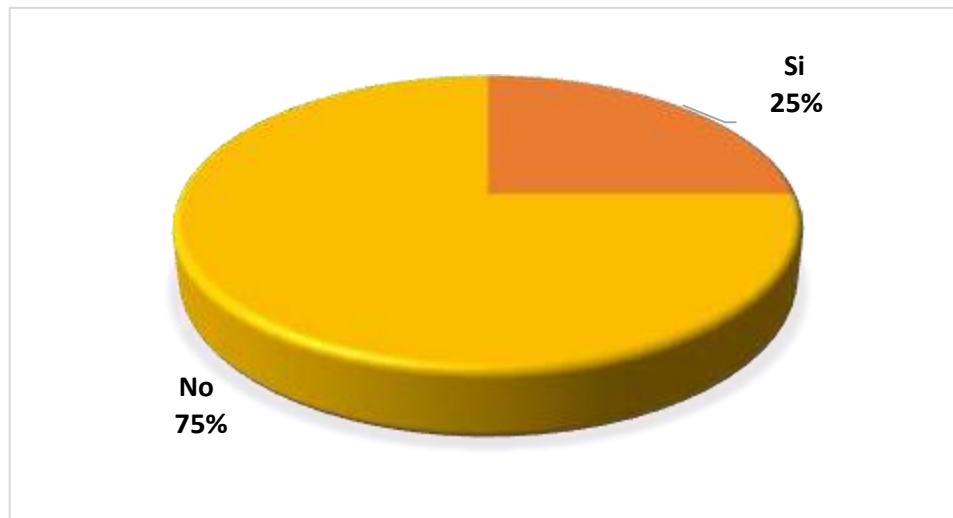


Figura 15. Conocimiento sobre sistemas de captación de agua.

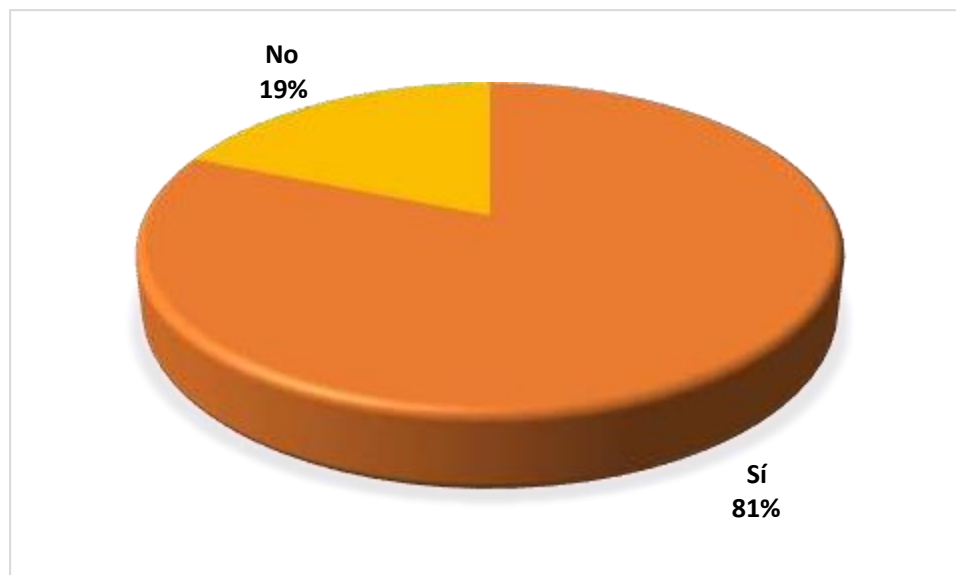


Figura 16. Necesidad de implementar un sistema de captación de agua.



Figura 17. Disposición en la instalación de un sistema de captación de agua.

Finalmente, se aprecia en la figura 17 que un 69 % de la población se encuentra dispuesto a invertir en la instalación de un sistema de captación de agua, sin embargo, un factor determinante para esta respuesta fue el factor económico. Ya que las personas sí se encuentran en la disponibilidad siempre que la instalación sea de bajo costo, o por lo menos, de acuerdo a sus ingresos económicos.

6. CONCLUSIONES

1. En las microcuencas Panajachel, San Francisco y Santiago Atitlán, los sectores socioeconómicos que mayor demanda hídrica poseen son: hoteles, restaurantes, viviendas y agricultura. Dentro de la agricultura, los cultivos que mayor predominio tiene son: maíz, cebolla y café.
2. En la microcuenca Panajachel / San Francisco, la red hídrica la componen fuentes superficiales y subterráneas, integrándola: 7 ríos, 5 cascadas y 3 pozos mecánicos. La extracción y distribución de agua de estas fuentes hídricas se encuentra a cargo de la municipalidad de Panajachel. El volumen generado es de: 7,315,056 l/d. La microcuenca Santiago Atitlán tiene como única fuente de abastecimiento el Lago Atitlán, generando un volumen de: 6,560,640 l/d. El bombeo y distribución de agua se encuentra a cargo de la municipalidad de Santiago Atitlán.

Es notoria la diferencia de agua producida en la microcuenca Panajachel -San Francisco con respecto a la microcuenca Santiago Atitlán, principalmente porque la primera cuenta con mayor número de fuentes de captación de agua, contrariamente Santiago solamente cuenta con un tipo de fuente de abastecimiento hídrico (Lago Atitlán) y un único sistema de extracción municipal para el abastecimiento del territorio.

3. De acuerdo a las revisiones bibliográficas y modelos matemáticos realizados para el sector agrícola, las microcuencas Panajachel / San Francisco y Santiago Atitlán logran cubrir las necesidades de los sectores viviendas, cuya dotación óptima es de 100 l/d, el sector hotelero con una dotación de 2,000 l/d y sector restaurantes con 150 l/d. No así el sector agrícola. No obstante, se hace la observación que la mayoría de los usuarios manifestaron falta de agua en algunos sectores, lo cual puede ser debido a la mala distribución y uso del recurso hídrico en todas las microcuencas.
4. En la microcuenca Panajachel-San Francisco los valores físico-químicos y biológicos reflejan una elevada carga de nutrientes en contraste con la microcuenca Santiago Atitlán. Es posible que se deba a la destrucción, en 2010 por la Tormenta Stan, de la planta de tratamiento de aguas residuales; lo que genera no sólo problemas para la población, sino en los ecosistemas acuáticos y terrestres aledaños a la zona. Es, a razón de lo anterior, importante la aplicación de estrategias enfocadas a la salvaguarda del recurso hídrico, así como generar conciencia ambiental en la población, a través de la educación ambiental.

7. RECOMENDACIONES

1. Es necesaria propiciar espacios de diálogo entre comunitarios y autoridades municipales con el fin de conocer las carencias, problemas y limitantes que se tienen en los territorios con respecto al recurso hídrico. De esta manera se pueden coordinar esfuerzos que propicien la buena gobernanza del agua y exista una participación activa entre la comunidad y las autoridades municipales, además de permitir la cooperación de entidades gubernamentales y no gubernamentales enfocadas al rescate, salvaguarda y conservación del recurso hídrico.
2. Se debe invertir en materia de investigación con el fin de mantener registros actuales y la creación de modelos hidrológicos que permitan interpretar el comportamiento de los caudales que componen el sistema hídrico de cada una de las microcuencas. Además, es necesario implementar monitoreos sobre calidad de agua dentro de la red hídrica de las microcuencas, que provean información sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que es utilizada por la población. Estas acciones deben ser llevadas a cabo por el Departamento de Investigación y Calidad Ambiental de la AMSCLAE, en colaboración con el Departamento de Recursos Hídricos de las municipalidades, de manera que pueda existir un apoyo entre instituciones que beneficien principalmente a la población.
3. La municipalidad juega un papel importante al ser el ente responsable del suministro de servicios municipales básicos por lo que debe planificar en función del crecimiento poblacional y verificar la efectividad de las medidas implementadas, para ello, es necesario mantener actualizadas sus bases de datos y poseer indicadores y medios de verificación que permitan tener acceso a información sobre el recurso hídrico que es abastecido a la población a lo largo del tiempo, así como de los sistemas de captación de agua.
4. En el tema de educación ambiental dirigido a la población es importante la intervención del Departamento de Educación Ambiental de la AMSCLAE, con la finalidad de promover las buenas prácticas de vida y salubridad, además de promover la sensibilización y la toma de conciencia sobre temas ambientales. Es importante que este departamento haga especial énfasis en la necesidad de implementar y dar seguimiento a acciones y mecanismos que no sólo resguarden y conserven el recurso hídrico, sino que también exista una integración de los demás sistemas

biológicos que posibilite y garantice la calidad de vida de las poblaciones dentro de las microcuencas.

5. Se recomienda la creación de alianzas entre Municipalidades, AMSCLAE, entidades gubernamentales y no gubernamentales con el fin de enfocar acciones en la adopción de medidas sobre adaptación basada en ecosistemas que impacten de manera positiva a la seguridad hídrica de las comunidades y generen un mejor entendimiento sobre el ciclo del agua. Para ello es necesario proponer líneas de intervención que puedan realizarse en la parte alta, media y baja de las microcuencas, de manera que exista una integración de acciones que promuevan una gestión integrada del recurso hídrico.
6. Entender el funcionamiento del ciclo hidrológico es necesario para gestionar de forma eficiente tanto el agua subterránea como superficial, de manera que se puedan definir opciones de adaptación integrales. A partir de ello, proponer dentro de los planes de desarrollo municipal las tecnologías y mecanismos adecuados que permitan optimizar y utilizar de manera racional el recurso hídrico por parte de la población dentro de las microcuencas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Aedo, M. (2020). *Enfoque NEXO en Centroamérica: nuevas estrategias para promover el desarrollo del riego en áreas rurales. Diagnóstico y propuesta de fomento del riego en la agricultura familiar de Guatemala*. Santiago, Chile, Editorial CEPAL, <https://www.cepal.org/fr/node/53161>
- aelca España. (2019). *El catastro: ¿Qué es y para que sirve?*. <https://www.aelca.es/es/nuestro-blog/que-es-el-catastro-y-para-que-sirve/>
- Agroformación. (2019). *Métodos de riego para cultivos*. <https://agro.iberf.es/metodos-riego-cultivos/>
- AgroNoticias, Perú. (2018). *Beneficios del riego tecnificado*. <https://agronoticias.pe/ciencia-e-innovacion/agricola/beneficios-del-riego-tecnificado/>
- Agua pura. (09 de julio de 2020). *Agua pura y Aquamaq*. <https://www.aguapura.com.py/agua-y-salud/transparencia-del-agua/>
- Alarcón Africano, J. G., Díaz Suescún, L. L. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para acueducto interveredal en Nunchía, Casanare* [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Colombia.]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf>
- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. [Archivo PDF]. <http://idiaqua.eu/web/wp-content/uploads/2018/07/monografico3.pdf>
- Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, Guatemala (AMSCLAE). (2018). *Priorización de microcuencas* [Archivo PDF]. <https://www.amsclae.gob.gt/descargas/priorizacionmicroc.pdf>
- BartalentLab. (s.f.). *El consumo eficiente del agua en restaurantes*. <https://www.bartalentlab.com/degustanews/gestion-hostelera/restaurantes-sostenibles/consumo-eficiente-del-agua-restaurantes>
- Basán, N., Sánchez, L., Tosolini, R., Jordan, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Revista Agua_LAC*, 10(1), 15-25. <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/09/2018.-Sistemas-de-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-para-consumo-humano.pdf>
- Boyd, C. (23 de octubre de 2017). *Conductividad eléctrica del agua*. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte->



- <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf>
- Comisión Nacional de Riego. (2006). *Coeficiente del cultivo*. https://www.academia.edu/5010235/COMISI%C3%93N_NACIONAL_DE_RIEGO.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del agua en México*. [Archivo PDF]. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Condori Apaza, R. (2013). *Evaporación y evapotranspiración*. <https://es.slideshare.net/reneecapaza/evaporacion-y-evapotranspiracion-climatologia>
- Corporación Autónoma Regional de Quindío -CRQ-. (2016). *Oferta, demanda hídrica e índice de uso del agua (IUA) de las unidades de manejo de cuenca del departamento del Quindío para el año 2016*. [Archivo PDF]. <https://www.crq.gov.co/2020/images/Info-Ciudadano/Descarga%20documentos/indiceUsodelAgua2016.pdf>.
- D'Ángelo, S. B. (2014). *Población y muestra*. [Archivo PDF]. [https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACION%20Y%20MUESTRA%20\(Lic%20DAngelo\).pdf](https://med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/aps/POBLACION%20Y%20MUESTRA%20(Lic%20DAngelo).pdf)
- Datos Macro, Guatemala. (2020). *Guatemala: Economía y demografía*. <https://datosmacro.expansion.com/paises/guatemala>
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2001). *Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: Desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21*. Editorial CEPAL, <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6395-crisis-gobernabilidad-la-gestion-agua-desafios-que-enfrenta-la-implementacion>
- Economía Simple. (2018). *Definición de inmueble*. <https://www.economiasimple.net/glosario/inmueble>
- Educación Financiera. (2013). *El sector agrario: Delimitación, estructura e importancia económica y medioambiental*. <https://www.edufinet.com/edufiempcabecera/edufiagro/el-sector-agrario-delimitacion-estructura-e-importancia-economica-y-medioambiental>
- Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA). (2019). *Duración media de brillo solar y horas de sol*. http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php
- Explorable. (2009). *Método de muestreo estratificado*. <https://explorable.com/es/muestreo-estratificado>



- Faci González, J., Playan Jubillar, E. (1994). *Principios básicos de riego por superficie*. <http://digital.csic.es/handle/10261/18632>
- Fajardo Gómez, D., Fernández Ortiz, M. C., Giraldo Rojas, D., Pulgarín Uribe, C. M. (2018). *Concepto de temperatura y medición*. https://www.academia.edu/37533046/CONCEPTO_DE_TEMPERATURA_Y_MEDICION
- Fibras y Normas de Colombia. (2019). *Caudal: Definición y métodos de medición*. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion/>
- Fluence news team. (18 de 08 de 2020). *Sólidos disueltos y purificación del agua*. <https://www.fluencecorp.com/es/purificacion-de-agua-y-solidos-disueltos/#:~:text=La%20medida%20del%20%E2%80%9Ctotal%20de,inorg%C3%A1nicas%20encontradas%20en%20el%20agua.>
- Giraldo Rivera, N. &. (2017). *Estrategias de adaptación para el abastecimiento de agua de uso rural de la vereda El Palmarcito -Guaduas (Cundinamarca)*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6219/CruzBayonaTaniaPaola2017.pdf?sequence=4>
- Global Water Partnership, Honduras. (2013). *Consideraciones para lograr la eficacia de los organismos de cuenca*. [Archivo PDF]. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/consideraciones-organismos-cuenca.pdf
- Global Water Partnership, Suecia (GWP). (2015). *Situación de los recursos Hídricos en Centroamérica*. [Archivo PDF]. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_guatemala_2016.pdf
- Grey, D. & Sadoff, C. (2007). *Sink or swim? water security for growth and development*. 9(2007)545-571. <http://cip.management.dal.ca/publications/Water%20security%20for%20growth%20and%20development.pdf>
- Guevara Castro, D. F. (2017). *Propuesta para determinar la oferta hídrica neta de una cuenca contemplando escenarios extremos: Caso de estudio microcuenca del Río Upín*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2822/1/Trabajo_de_Grado.pdf
- Herrero Mendoza, A. (2017). *Sector social*. <https://diccionario.leyderecho.org/sector-social/>
- Honsberg, C. (s.f.). *Cálculo de la insolación solar*. <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/c%C3%A1lculo-de-la-insolaci%C3%B3n-solar>



- Howard, G. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. [Archivo PDF]. https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf
- Huaquisto Cáceres, S. &. (27 de 06 de 2019). *Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312019000100010&script=sci_arttext#t1
- InfoAgro, España. (2017). *Fenología en la agricultura*. <https://mexico.infoagro.com/la-fenologia-en-la-agricultura/>
- INGUAT. (2012). *Boletín Anual Estadísticas de Turismo*. [Archivo PDF]. <http://biblioteca.inguat.gob.gt/Digital/Boletines%20estadisticos/BE12.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia (IDEAM). (2015). *Importancia de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala (ICC). (2017). *Manual de medición de caudales*. [Archivo PDF]. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- International Center for Aquaculture (2012). *Introducción a la captación de agua*. [Archivo PDF]. <https://cals.arizona.edu/azaqua/AquacultureTIES/publications/Spanish%20WHAP/GT3%20Water%20Harvesting.pdf>
- Kaufmann, J. (2002). *Catastro 2014: Una visión del sistema de catastro futuro*. [Archivo PDF]. <https://www.fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/translation/c2014-spanish.pdf>
- Klaassen, P. (s.f.). *La importancia de la conductividad eléctrica*. https://www.canna.es/importancia_conductividad_electrica
- Larrosa. (01 de agosto de 2019). *7 prácticas para realizar una agricultura sostenible*. <https://www.larrosa-arnal.com/blog/7-practicas-para-realizar-una-agricultura-sostenible/>
- López, J. F. (2020). *Población estadística*. <https://economipedia.com/definiciones/poblacion-estadistica.html>
- Marín Valencia, V. (2010). *Evaluación de la relación entre la evapotranspiración potencial teórica y la evaporación registrada en los departamentos de Cundinamarca y Valle del Cauca*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana] <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis369.pdf>



- Méndez Vásquez, B. R. (2012). *Evaluación de la situación administrativa y técnico de la unidad de riego de Atescatempa, Jutiapa*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar] <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/06/03/Mendez-Byron.pdf>
- Ministerio de Vivienda y Ordenamiento Territorial, Uruguay (MVOT). (2020). *¿Qué es el ordenamiento territorial?*. <https://www.gub.uy/ministerio-vivienda-ordenamiento-territorial/politicas-y-gestion/es-ordenamiento-territorial>
- Municipalidad de Santiago Atitlán, Guatemala. (2017). *Plan de desarrollo municipal -PDM- Santiago Atitlán*. [Archivo PDF]. <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/9060.pdf>
- Navarrete López, G. (2015). *Ordenamiento y desarrollo territorial: Medio ambiente y desarrollo territorial*. [Archivo PDF]. <http://blog.uclm.es/ceti/files/2015/07/8-ordenamiento-territorial-y-medio-ambiente.pdf>
- Netquest (2015). *Muestreo probabilístico: Muestreo estratificado*. <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-estratificado>
- Ocampo, A. (2019). *¿Cuánta agua consume en limpieza? Optimice este recurso con buenos hábitos*. <https://www.revistalabarra.com/campanias/larkin/cuanta-agua-consume-en-limpieza-optimice-este-recurso-con-buenos-habitos/>
- Palma Martínez, J. (2012). *Diseño del centro de salud y sistema de drenaje pluvial para el Barrio de Jucanya, avenidas Santander y Rancho Grande del municipio de Panajachel, departamento de Sololá*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3354_C.pdf
- Palma Sanabria, J. F. (2008). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión; Municipio de Sololá, departamento de Sololá*. Obtenido de (Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0696_v11.pdf
- Pérez Chilel, G. E. (2014). *Fase II de la evaluación de los parámetros de diseño en el consumo de agua potable de la aldea Chu Muc sector II del municipio de Santiago Atitlán, departamento de Sololá*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3828_C.pdf
- Pérez de Madrid, M. & Navarro, M. &. (2018). *Protección, conservación y gestión de las zonas de recarga hídrica*. <https://www.iucn.org/es/regiones/mexico-america-central-y-el-caribe/productos-de-conocimiento/catalogo-de-adaptacion-basada-en-ecosistemas/serie-1-caja-de-herramientas-sobre-adaptacion-basada-en-ecosistemas>
- Pita Fernández, S. & Pértiga Díaz, S. (1997). *Estadística descriptiva de los datos*. <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/10descriptiva/10descriptiva.asp>



Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2017). *Plan nacional de seguridad hídrica 2015-2050 agua para todos*. [Archivo PDF]. <https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/poverty/plan-nacional-de-seguridad-hidrica-2015-2050.html#:~:text=El%20Plan%20Nacional%20de%20Seguridad,la%20integridad%20de%20nuestro%20ambiente>.

QuestionPro. (2020). *¿Qué es el marco muestral?* <https://www.questionpro.com/blog/es/marco-muestral/>

Ramakrishna, B. (1997). *Estrategia de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas*. [Archivo PDF]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9786e/A9786e.pdf>

Reyes Noriega, L. A. (2008). *Comercialización (Producción de cebolla) y proyecto: Producción de chile pimienta; Municipio de Panajachel, departamento de Sololá*. [Tesis Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala] http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0688_v4.pdf

Robles Rivera, J. A. (2016). *Guía para la gestión del recurso hídrico con manejo de inundaciones, caso del Río Acomé en el municipio La Gomera, Escuintla*. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala] http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0576_MT.pdf

Rodríguez Marrero, H. F. (2011). *Las actividades industriales*. [Archivo PDF]. http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esohistoria/para_pdf/quincena3.pdf

Rodríguez Ruiz, P. (2001). *Abastecimiento de agua*. https://www.academia.edu/7341842/Abastecimiento_de_Agua_Pedro_Rodr%C3%A9guez_Completo

Roldán, P. N. (2019). *Muestreo Estratificado*. <https://economipedia.com/definiciones/muestreo-estratificado.html>

Rubio Mora, Y. (2020). *El turismo y el agua en cifras. Estudio de caso Canario*. <https://www.iagua.es/blogs/yuri-rubio-mora/turismo-y-agua-cifras-estudio-caso-canario>

Sabas, C., & Paredes, D. (2009). *Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Barbas*. [Archivo PDF]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714075&idp=1&cid=19889>

San Román Sánchez, J. (2017). *Cálculo de la evapotranspiración potencial mediante la fórmula de Hargreaves*. [Archivo PDF]. https://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf



- SEGEPLAN. (s.f.). *Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos PNGIRH y de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos* [Archivo PDF]. https://cebem.org/revistaredesma/vol11/pdf/legislacion/engirh_guatemala.pdf
- Sistema de Información Ambiental Regional -SIAR-. (s.f.). *Indicador: Consumo per capita de agua potable*. <http://siar.regionsanmartin.gob.pe/indicador/378>
- Sistema de Información del Recurso Hídrico, Colombia (SIRH). (2014). *Demanda*. <http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/demanda-n3.html>
- Suárez, J. (13 de 05 de 2019). *Optimizar la gestión del agua para reducir desigualdades*. <https://www.iagua.es/blogs/julian-suarez/optimizar-gestion-agua-reducir-desigualdades>
- Tay Vasquez, S. M. (2008). *Comercialización (Producción de huevos de gallina) y Proyecto: Producción de rosas de corte*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala] http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0683_v19.pdf
- Torres Lozada, P., Cruz Vélez, C., Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. <http://www.scielo.org.co/pdf/rrium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Universidad Rafael Landívar. (2005). *Situación del recurso hídrico en Guatemala*. [Archivo PDF]. <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/pPublicacion.aspx?pb=221>
- Vera-Romero, O. E., Vera-Romero, F. M. (2013). Evaluación del nivel socioeconómico: Presentación de una escala adaptada en una población de Lambayeque. *Revista del cuerpo médico del hospital nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*. 6(1), 41-45. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/cuerpomedicohnaaa/v6n1_2013/pdf/a09v6n1.pdf
- Water Foundation. (05 de mayo de 2017). *Turismo y agua, una relación difícil que debe ser modélica*. https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-dificil-que-debe-ser-modelica_282641
- Zamudio Rodríguez, C. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia*. [Archivo PDF]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169424893007>

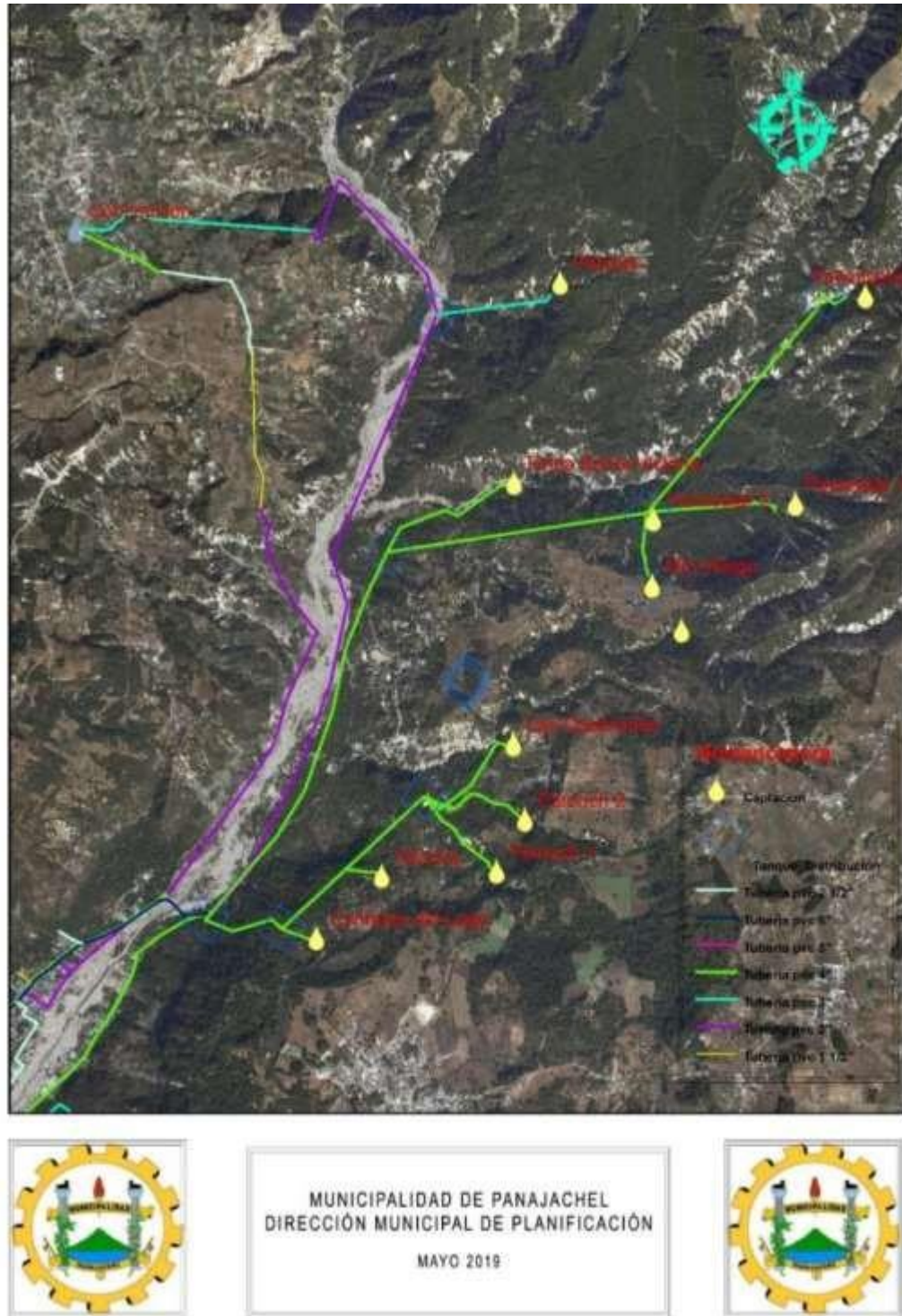


9. ANEXOS

Cuadro 11A. Porcentaje de horas luz o insolación en el día para cada mes del año en relación al número total en un año.

Porcentaje de horas de sol mensual												
LATITUD NORTE	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
0°	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.28	8.20	7.75	7.88
16	7.93	7.35	8.44	8.46	9.07	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
21	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25	7.53	7.14	8.39	8.61	9.33	9.23	9.45	9.09	8.32	8.09	7.40	7.42
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.31
27	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
29	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.33	7.99	7.19	7.15
31	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32	7.20	6.97	8.37	8.76	9.62	9.59	9.77	9.27	8.34	7.95	7.11	7.05
33	7.15	6.94	8.36	8.78	9.68	9.65	9.82	9.31	8.35	7.94	7.07	6.98
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
35	7.05	6.88	8.35	8.83	9.77	9.76	9.94	9.37	8.37	7.88	6.97	6.85
36	6.99	6.85	8.35	8.85	9.82	9.82	9.09	9.40	8.37	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
40	6.76	6.72	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.39	7.75	6.72	7.52
42	6.63	6.65	8.31	9.00	10.14	10.22	10.35	9.62	8.40	7.69	6.62	6.37
44	6.49	6.58	8.30	9.06	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.21
46	6.34	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.57	6.36	6.04
48	6.17	6.41	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.23	5.86
50	5.98	6.30	8.24	9.24	10.68	10.91	10.90	10.00	8.46	7.45	6.10	5.65
52	5.77	6.19	8.21	9.29	10.85	11.13	11.20	10.12	8.49	7.39	5.93	5.43
54	5.55	6.08	8.18	9.36	11.03	11.38	11.43	10.26	8.51	7.30	5.74	5.18
56	5.30	5.95	8.15	9.45	11.22	11.67	11.69	10.40	8.52	7.21	5.54	4.89
58	5.01	5.81	8.12	9.55	11.46	12.00	11.98	10.55	8.51	7.10	4.31	4.56
60	4.67	5.65	8.08	9.65	11.74	12.39	12.31	10.70	8.51	6.98	5.04	4.22

Fuente: López Avendaño, 2018.



Fuente: municipalidad de Panajachel, 2021.

Figura 18A. Fuentes de captación hídrica de las microcuencas Panajachel y San Francisco.

Cuadro 12A. Boleta de información general dirigida a sectores socioeconómicos.

ID	Tipo de establecimiento	Dirección	Coordenadas	Tipo de abastecimiento hídrico 1 pozo (¿Cuántos?) 2 municipal 3 privado 4 Lago 5 otro	Días y horas con servicio de agua	Observaciones

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 13A. Boleta de información general dirigida al sector agrícola.

ID	Tipo de establecimiento	Coordenadas	Tipo de abastecimiento hídrico 1 pozo (¿Cuántos?) 2 municipal 3 privado 4 Lago 5 otro	Días y horas con servicio de agua	Tipo de cultivo	Área de cultivo	Horas/días de riego	¿Método de riego 1 superficie 2 aspersión 3 micro aspersión 4 goteo	Observaciones

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 14A. Boleta de información general para aforo de fuentes hídricas.

ID	Lugar	Coordenadas	Tiempo (S)	Volumen (L)	Días y horas de funcionamiento	Observaciones

Fuente: elaboración propia, 2021.

Cuadro 15A. Requisitos para el nivel de servicio de agua potable.

Nivel de servicio	Medición de acceso	Necesidades atendidas	Nivel de efecto en la salud
Sin acceso (Cantidad recolectada generalmente menor a 5 L/hab/d)	Más de 1,000 m o 30 min. De tiempo total de recolección	Consumo: No se garantiza. Higiene: No es posible (a menos que se practique en la fuente).	Muy alto
Acceso básico (Cantidad promedio no supera 2 L/hab/d)	Entre 100 y 1,000 m o de 5 a 20 min. De tiempo total de recolección	Consumo: Se debe asegurad. Higiene: Lavado de manos e higiene básica de alimentos es garantizada. (No se garantiza lavandería ni baño).	Alto
Acceso intermedio (Cantidad promedio aproximado 50 L/hab/d)	Agua abastecida a través de un grifo público (o dentro de 100 m o 5 min. Del tiempo total de recolección)	Consumo: Asegurado. Higiene: Higiene personal y de alimentos es garantizada (No se asegura lavandería ni baño)	Bajo
Acceso óptimo (Cantidad promedio de 100 L/hab/d y más)	Agua abastecida de manera continua a través de varios grifos	Consumo: Se atienden todas las necesidades. Higiene: Se atienden todas las necesidades.	Muy bajo

Fuente: (Howard, 2003)

T °C	Temperatura en grados Celsius	Kc	Coeficiente del cultivo
P%	Porcentaje de horas luz al mes	Eto	Evapotranspiración
F	Sumatoria de los meses del ciclo vegetativo del cultivo	ETP	Evapotranspiración Potencial
Kt	Coeficiente de temperatura	ETP'	Evapotranspiración potencial ajustada
K	Coeficiente total de ajuste del cultivo	qu	Caudal unitario
Kg	Coeficiente global del cultivo	qaj	Caudal ajustado
		Qtotal	Caudal total

Cuadro 16A. Demanda hídrica para el cultivo de cebolla.

CULTIVO Cebolla										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Abril	0.83	20.87	1.77	8.446	12.44	0.89	11.06	0.01	0.11	0.12
Mayo	1	20.69	1.77	8.97	15.84	0.88	14.00	1	14.00	14.67
Junio	0.47	19.99	1.73	8.79	7.16	0.86	6.17	1	6.17	6.47
					35.43				20.28	21.26

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.57
Kg/K	1.05

Área: 34.00 hectáreas.

Et. Máxima: 14.67 mm/d → 0.1467 m³/d.

Método de riego: Aspersión.

Eficiencia del método de riego: 75 %

Jornada de riego: 6 h/ 7 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.1467 \text{ m/d}}{0.75} = \mathbf{0.20 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.20 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{23.15 \text{ L/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{0.35 \text{ l/s}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{6 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{7 \text{ d}} = \mathbf{1.4 \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{1.4 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 34.0025 \text{ ha} = \frac{47.60 \text{ l/s}}{\text{ha}} \rightarrow \mathbf{0.0476 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Cuadro 17A. Demanda hídrica para el cultivo de frijol.

CULTIVO Frijol										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Agosto	0.48	20.29	1.75	8.82	7.40	0.87	6.45	0.4	2.58	2.40
Septiembre	1	19.46	1.71	8.269	14.13	0.85	11.95	1.15	13.74	12.79
Octubre	0.97	19.68	1.72	8.336	13.90	0.85	11.85	0.55	6.52	6.07
					35.43				22.84	21.26

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.64
Kg/K	0.93

Área: 41.92 ha.

Et. Máxima: 12.79 mm/d $\rightarrow$ 0.01279 m³/d.

Método de riego: Aspersión.

Eficiencia del método de riego: 75 %

Jornada de riego: 6 h/ 7 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.01279 \text{ m/d}}{0.75} = \mathbf{0.017 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.017 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{1.97 \text{ l/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{1.97 \text{ l/s}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{6 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{7 \text{ d}} = \mathbf{7.88 \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{7.88 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 41.92 \text{ ha} = \frac{330.33 \text{ l/s}}{\text{ha}} \rightarrow \mathbf{0.330 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Cuadro 18A. Demanda hídrica para el cultivo de maíz.

CULTIVO Maíz										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Abril	1	20.87	1.77	8.446	14.98	0.89	13.33	0.01	0.13	0.19
Mayo	1	20.69	1.77	8.97	15.84	0.88	14.00	0.61	8.54	12.37
Junio	1	19.99	1.73	8.79	15.24	0.86	13.14	1.2	15.76	22.83
Julio	1	20.39	1.75	9.02	15.80	0.87	13.82	0.77	10.64	15.41
Agosto	0.93	20.29	1.75	8.82	14.33	0.87	12.49	0.35	4.37	6.33
					76.19				39.45	57.14

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.52
Kg/K	1.45

Área: 119.97 ha.**Et. Máxima:** 22.83 mm/d → 0.02283 m³/d.**Método de riego:** Aspersión**Eficiencia del método de riego:** 75 %**Jornada de riego:** 6 h/ 7 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.02283 \text{ m/d}}{0.75} = \mathbf{0.03044 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.03044 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{3.52 \text{ l/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{3.523 \text{ l}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{6 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{7 \text{ d}} = \mathbf{14.092 \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{14.092 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 119.97 \text{ ha} = \frac{1,690.62 \text{ l/s}}{\text{ha}} \rightarrow \mathbf{1.69 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Cuadro 19A. Demanda hídrica para el cultivo de café.

CULTIVO Café										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Enero	1	19.52	1.71	8.12	13.90	0.85	11.78	0.92	10.84	13.25
Febrero	1	19.99	1.73	7.465	12.94	0.86	11.16	1.04	11.60	14.19
Marzo	1	20.11	1.74	8.4495	14.69	0.87	12.72	1.04	13.23	16.18
Abril	1	20.87	1.77	8.446	14.98	0.89	13.33	1.04	13.86	16.95
Mayo	1	20.69	1.77	8.97	15.84	0.88	14.00	0.49	6.86	8.39
Junio	1	19.99	1.73	8.79	15.24	0.86	13.14	0.49	6.44	7.87
Julio	1	20.39	1.75	9.02	15.80	0.87	13.82	0.49	6.77	8.28
Agosto	1	20.29	1.75	8.82	15.41	0.87	13.43	0.49	6.58	8.05
Septiembre	1	19.46	1.71	8.269	14.13	0.85	11.95	1.01	12.07	14.76
Octubre	1	19.68	1.72	8.336	14.33	0.85	12.22	1.01	12.34	15.09
Noviembre	1	19.88	1.73	7.9	13.65	0.86	11.73	1.01	11.84	14.48
Diciembre	1	18.8	1.68	8.09	13.58	0.83	11.21	0.92	10.31	12.61
					174.51				122.75	150.08

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.70
kg/k	1.22

Área: 106.98 ha.**Et. Máxima:** 16.95 mm/d → 0.01695 m³/d.**Método de riego:** Micro aspersión.**Eficiencia del método de riego:** 85 %**Jornada de riego:** 4 h/ 7 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.01695 \text{ m/d}}{0.85} = \mathbf{0.020 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.020 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{2.31 \text{ l/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{2.31 \text{ l/s}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{4 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{7 \text{ d}} = \mathbf{13.86 : \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{13.86 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 106.98 \text{ ha} = \mathbf{1,482.74 \frac{\text{l/s}}{\text{ha}}} \rightarrow \mathbf{1.48 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Microcuenca Santiago Atitlán

Cuadro 20A. Demanda hídrica para el cultivo de maíz.

CULTIVO Maíz										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Abril	1	19.81	1.73	8.376	14.45	0.86	12.38	0.01	0.12	0.18
Mayo	1	19.78	1.72	8.97	15.46	0.86	13.23	0.61	8.07	11.93
Junio	1	19.38	1.71	8.79	14.99	0.84	12.64	1.2	15.17	22.43
Julio	1	19.79	1.72	9.02	15.55	0.86	13.31	0.77	10.25	15.16
Agosto	0.93	19.66	1.72	8.82	14.09	0.85	12.01	0.35	4.20	6.21
					74.55				37.82	55.91

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.51
Kg/K	1.48

Área: 37.04 ha.

Et. Máxima: 22.43 mm/d → 0.02243 m/d.

Método de riego: Superficie.

Eficiencia del método de riego: 30 %

Jornada de riego: 1 h/ 4 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.02243 \text{ m/d}}{0.30} = \mathbf{0.0748 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.0748 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{8.66 \text{ l/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{8.66 \text{ l/s}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{4 \text{ d}} = \mathbf{363.72 \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{363.72 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 37.04 \text{ ha} = \frac{13,472.19 \text{ l/s}}{\text{ha}} \rightarrow \mathbf{13.47 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Cuadro 21A. Demanda hídrica para el cultivo de café.

CULTIVO Café										
Mes	duración mes	T (°C)	T+17.8/21.8	P%	F (cm)	Kt	Eto	Kc	ETP'	ETP
Enero	1	18.9	1.68	8.12	13.67	0.83	11.32	0.92	10.42	13.13
Febrero	1	19.3	1.70	7.463	12.70	0.84	10.68	1.04	11.10	13.99
Marzo	1	19.05	1.69	8.449	14.28	0.83	11.90	1.04	12.37	15.59
Abril	1	19.81	1.73	8.376	14.45	0.86	12.38	1.04	12.87	16.22
Mayo	1	19.78	1.72	8.97	15.46	0.86	13.23	0.49	6.48	8.17
Junio	1	19.38	1.71	8.79	14.99	0.84	12.64	0.49	6.19	7.80
Julio	1	19.79	1.72	9.02	15.55	0.86	13.31	0.49	6.52	8.22
Agosto	1	19.66	1.72	8.82	15.16	0.85	12.91	0.49	6.33	7.97
Septiembre	1	18.73	1.68	8.251	13.83	0.82	11.38	1.01	11.49	14.48
Octubre	1	18.87	1.68	8.33	14.01	0.83	11.59	1.01	11.71	14.75
Noviembre	1	19.23	1.70	7.9	13.42	0.84	11.25	1.01	11.36	14.32
Diciembre	1	17.85	1.64	8.08	13.21	0.80	10.51	0.92	9.67	12.19
					170.74				116.53	146.83

Fuente: elaboración propia, 2021.

k	0.68
kg/k	1.26

Área: 378.03 ha.**Et. Máxima:** 16.22 mm/d → 0.01622 m³/d.**Método de riego:** Superficie.**Eficiencia del método de riego:** 30 %**Jornada de riego:** 1.5 h/ 3 d.

$$\text{Lámina bruta: } \frac{0.01622 \text{ m/d}}{0.85} = \mathbf{0.019 \text{ m/d}}$$

$$qu: \frac{10,000 \text{ m}^2 * 0.019 \text{ m/d}}{86,400 \text{ s}} * \frac{1,000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \mathbf{2.20 \text{ l/s/ha}}$$

$$qaj: \frac{2.20 \text{ l/s}}{\text{ha}} * \frac{24 \text{ h}}{1.5 \text{ h}} * \frac{7 \text{ d}}{3 \text{ d}} = \mathbf{82.13 \text{ l/s/ha}}$$

$$Q_{Total} \frac{82.13 \text{ l/s}}{\text{ha}} * 378.03 \text{ ha} = 31,047.60 \frac{\text{l/s}}{\text{ha}} \rightarrow \mathbf{31.05 \text{ m}^3/\text{ha}}$$

Cultivo	$K_{c\text{ ini}}^1$	$K_{c\text{ med}}$	$K_{c\text{ fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
a. Hortalizas Pequeñas	0,7	1,05	0,95	
Brécol (Brócoli)		1,05	0,95	0,3
Col de Bruselas		1,05	0,95	0,4
Repollo		1,05	0,95	0,4
Zanahoria		1,05	0,95	0,3
Coliflor		1,05	0,95	0,4
Apio (Céleri)		1,05	1,00	0,6
Ajo		1,00	0,70	0,3
Lechuga		1,00	0,95	0,3
Cebolla – seca		1,05	0,75	0,4
– verde		1,00	1,00	0,3
– semilla		1,05	0,80	0,5
Espinaca		1,00	0,95	0,3
Rábano		0,90	0,85	0,3
e. Leguminosas (Leguminosae)	0,4	1,15	0,55	
Frijoles o judías, verdes	0,5	1,05 ²	0,90	0,4
Frijoles o judías, secos y frescos	0,4	1,15 ²	0,35	0,4
Garbanzo (chick pea)		1,00	0,35	0,4
Habas – Fresco	0,5	1,15 ²	1,10	0,8
– Seco/Semilla	0,5	1,15 ²	0,30	0,8
Garbanzo hindú	0,4	1,15	0,35	0,8
Caupís (cowpeas)		1,05	0,60-0,35 ⁶	0,4
Maní		1,15	0,60	0,4
Lentejas		1,10	0,30	0,5
Guisantes o arveja – Frescos	0,5	1,15 ²	1,10	0,5
– Secos/Semilla		1,15	0,30	0,5
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0
i. Cereales	0,3	1,15	0,4	
Cebada		1,15	0,25	1
Avena		1,15	0,25	1
Trigo de Primavera		1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
Trigo de Invierno – con suelos congelados	0,4	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
– con suelos no-congelados	0,7	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	
Maíz, (grano)		1,20	0,60,0,35 ¹¹	2
Maíz, (dulce)		1,15	1,05 ¹²	1,5
Mijo		1,00	0,30	1,5
Sorgo – grano		1,00-1,10	0,55	1-2
– dulce		1,20	1,05	2-4
Arroz	1,05	1,20	0,90-0,60	1

Fuente: FAO, 1990.

Figura 19A. Coeficientes del cultivo.

Cultivo	Periodo de crecimiento vegetativo	Coeficientes Globales	
		K_G	
		Región húmeda	Región árida
Aguacate	Todo el año	0.5	0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.8	
Alfalfa	Entre heladas	0.8	0.85
	En invierno	0.6	
Algodón	6 a 7 meses	0.6	0.65
Arroz	3 a 5 meses	1	1.2
Cacahuete	5 meses	0.6	0.65
Cacao	Todo el año	0.75	0.8
Café	Todo el año	0.75	0.75
Camote	5 a 6 meses	0.6	
Caña de azúcar	Todo el año	0.75	0.9
Cártamo	5 a 8 meses	0.55	0.65
Cereales de granos pequeños (Alpiste) (Avena) (Cebada) (Centeno) (Trigo)	3 a 6 meses	0.75	0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.5	0.65
Chile	3 a 4 meses	0.6	
Espárrago	6 a 7 meses	0.6	
Fresa	Todo el año	0.45	0.6
Frijol	3 a 4 meses	0.6	0.7
Hortalizas	2 a 4 meses	0.6	
Jitomate	4 meses	0.7	
Lechuga y col	3 meses	0.7	
Lenteja	4 meses	0.6	0.7
Lino	7 a 8 meses	0.7	0.8
Maíz	4 a 7 meses	0.75	0.85
Mango	Todo el año	0.75	0.8
Melón	3 a 4 meses	0.6	

Fuente: (Cisneros Zayas, Rey García, & Martínez Varona, Evapotranspiración y coeficientes de cultivo para el cafeto en la provincia de Pinar del Río., 2015).

Figura 20A. Coeficiente general del cultivo.

ENCUESTA SOBRE OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO		
Fecha de aplicación:		
Lugar de aplicación:		
1. ¿Conoce usted algún sistema de captación de agua?		
Sí	No	¿cuáles?
2. ¿Considera usted que es necesario implementar sistemas de captación de agua en su comunidad?		
Sí	No	
3. ¿Estaría de acuerdo con la instalación de un sistema de captación de agua en su hogar/terreno/establecimiento?		
Sí	No	
4. ¿Estaría dispuesto a invertir en la instalación de un sistema de captación de agua o cualquier otra fuente de abastecimiento hídrico?		
Sí	No	

Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 21A. Encuesta sobre optimización del recurso hídrico.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - FAUSAC -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES - IIA -



REF. Sem. 08/2021

LA TESIS TITULADA:

"CARACTERIZACION DEL USO DEL AGUA DE
LAS MICROCUENCAS PANAJACHEL, SAN
FRANCISCO Y SANTIAGO ATITLÁN DEL
DEPARTAMENTO DE SOLOLÁ, GUATEMALA,
C.A."

DESARROLLADA POR LA ESTUDIANTE:

IRMA RAQUEL GONZÁLEZ TURCIOS

CARNE:

201310607

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Hugo Tobías
Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
Ing. Agr. Ernesto Yac Juárez

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.


Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
ASESOR


Ing. Agr. Ernesto Yac Juárez
ASESOR




Ing. Agr. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE


Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO



CFLB/nm
c.c. Archivo