



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE MAESTRÍA

Disponibilidad Hídrica del Acuífero de Villanueva,
Cortés, Honduras

Erick Noel Chávez Olvera

Tutora

MSc. Yelba del Carmen Flores Meza

Asesor

MSc. Jaime Dagoberto Vásquez

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MÁSTER EN CIENCIAS DEL AGUA CON ÉNFASIS EN CALIDAD
DEL AGUA

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!

Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Máster en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua

Título de la Tesis

**Disponibilidad Hídrica del Acuífero de Villanueva,
Cortés, Honduras**

Elaborado por:

Erick Noel Chávez Olvera

Comité de Tesis:

Nombre del Tutor(a): MSc. Yelba del Carmen Flores Meza
Nombres de los Asesores: MSc. Jaime Dagoberto Vásquez

Managua, 13 de diciembre de 2024

Patrocinado por "Servicio Alemán de Intercambio Académico DAAD"
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua)
Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua



Los abajo firmantes, certifican que han leído y recomendado al Programa de Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua la aceptación de la tesis titulada “Disponibilidad Hídrica del Acuífero de Villanueva, Cortés, Honduras”, sometida por Erick Noel Chávez Olvera, como cumplimiento parcial a los requerimientos de grado en Máster en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua.

Nombre del Tutor
Cargo e Institución

Nombre del Presidente del Tribunal Examinador
Cargo e Institución

Nombre del Secretario del Tribunal Examinador
Cargo e Institución

Nombre del Vocal del Tribunal Examinador
Cargo e Institución

Nombre del Coordinador del Programa de Maestría – Coordinador del Programa de Maestría
Cargo e Institución

Fecha

DEDICATORIA

“Este importante logro de mi vida profesional se lo quiero dedicar a mi bella madre María Olvera, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre”

A mi padre Santos Chávez y mi hermana Sara Chávez por apoyarme en todos los proyectos de superación personal.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por permitirme salud, sabiduría y poner oportunidades de superación en mi camino y acompañamiento de personas buenas que me apoyaron en todo momento.

Al DAAD por brindarme el apoyo económico, sin ello no hubiese sido posible lograr este objetivo profesional, “UNA VEZ DAAD SIEMPRE DAAD”

A los directores de esta tesis, la MSc. Yelba Flores y el MSc. Jaime Vásquez, por haberme brindado la oportunidad de poder realizar este trabajo bajo su tutela, gracias por el tiempo, el apoyo, la dedicación y la confianza depositada en mi persona.

A la maestra Valeria Delgado Quezada que siempre estuvo apoyándome en este proceso, brindándome el apoyo logístico durante las giras de trabajo de campo de tesis.

A todos los profesores de la Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua y a todo el personal que facilitó mi proceso durante el tiempo de estudios.

A la empresa Aguas del Valle y a la Dirección Municipal Ambiental de Villanueva por brindarme la oportunidad de desarrollar trabajo de tesis en sus instalaciones de oficio y apoyo técnico durante toda la fase de campo.

Al proyecto hidroeléctrico El Tornillito por apoyar este estudio a través de la facilitación de información valiosa para la realización de esta investigación.

A los compañeros de la empresa Aguas del Valle y Dirección Municipal Ambiental de Villanueva Franklin Hernández, Yimmy Estrada y Roger Reyes que siempre estuvieron en la disposición de apoyarme en la recolección de datos de campo de tesis.

Al profesor Iván Guerrero, por todo el apoyo y acompañamiento en el desarrollo de trabajo geológico de campo.

A mis amigos Jonathan Herrera, Rolando Fuentes y Jairo López, siempre me brindaron todo su apoyo, tiempo, amistad y confianza. También a mi carnalito, compañero de apartamento y de estudios Kenneth Moran y amigo Carlos Orozco, gracias por la amistad, platicas y experiencias.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Área de estudio.....	2
1.1.1. Escenario geográfico.....	4
1.1.2. Clima	4
1.1.3. Aguas superficiales	4
1.1.4. Uso de suelos.....	5
1.2. Antecedentes	5
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Planteamiento del problema	8
1.5. Justificación	9
1.5.1. Importancia.....	10
II. MARCO REFERENCIAL	12
2.1. Ciclo hidrológico.....	12
2.2. Sistema hidrogeológico.....	14
2.3. Acuífero	14
2.3.1. Características de los acuíferos	15
2.3.1.1. Permeabilidad	15
2.3.1.2. Porosidad (n).....	15
2.3.1.3. Transmisividad	16
2.3.1.4. Coeficiente de almacenamiento	16
2.4. Alimentación o recarga de las aguas subterráneas	16
2.4.1. Comportamiento de la infiltración de las corrientes superficiales	17
2.4.2. Recarga por retorno proveniente de riego	17

2.5. Hidroquímica del agua	17
2.5.1. Clasificación hidroquímica del agua	18
2.6. Balance hídrico subterráneo	19
2.7. Calidad del agua subterránea	20
2.8. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua.....	21
2.8.1. Características químicas y físicas	22
2.8.1.1. Parámetros fisicoquímicos	22
2.8.1.1.1. Temperatura.....	22
2.8.1.1.2. pH.....	23
2.8.1.1.3. Cloro residual	23
2.8.1.1.4. Cloruros.....	24
2.8.1.1.5. Conductividad eléctrica	24
2.8.1.1.6. Dureza.....	24
2.8.1.1.7. Sulfatos	24
2.8.1.1.8. Sodio	25
2.8.1.1.10. Sólidos disueltos totales	25
2.8.2. Características bacteriológicas del agua	26
III. METODOLOGÍA.....	28
3.1. Proceso metodológico	28
3.2.1. Modelo hidrogeológico conceptual	28
3.2.1.1. Zona de estudio.....	29
3.2.1.2. Componente climático	30
3.2.1.2.1. Datos de precipitación y temperatura	30
3.2.1.2.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial	30
3.2.1.2.3. Balance hidrometeorológico	31
3.2.1.3. Componente hidrológico.....	32
3.2.1.3.1. Caudales en sitios de interés.....	32
3.2.1.4. Componente estático (roca y suelo)	33
3.2.1.4.1. Modelo digital de elevaciones.....	33
3.2.1.4.2. Marco geológico	33
3.2.1.4.3. Pendiente y geomorfología del terreno.....	34
3.2.1.4.4. Tipo de suelo y uso	34
3.2.1.5. Componente hidrogeológico.....	35
3.2.1.5.1. Profundidad y niveles estáticos del agua subterránea.....	35

3.2.1.5.2. Recarga potencial de suelos	36
3.2.1.5.2.1. Pruebas de infiltración	38
3.2.1.5.3. Parámetros hidráulicos del acuífero	39
3.2.1.5.4. Gradiente hidráulico y escurrimiento subterráneo	40
3.2.1.5.4.2. Escurrimiento subterráneo.....	41
3.2.1.5.5. Relación aguas subterráneas/aguas superficiales.....	41
3.2.1.6. Componente hidrogeoquímico.....	42
3.2.2. Calidad de agua	42
3.2.2.1. Parámetros in situ	42
3.2.2.2. Toma de muestras de agua.....	43
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Componentes del modelo hidrogeológico conceptual.....	44
4.1.1. Componente climático	44
4.1.1.1. Precipitación.....	44
4.1.1.2. Temperatura.....	44
4.1.1.3. Evapotranspiración.....	45
4.1.1.4. Balance hidrometeorológico	46
4.1.2. Componente hidrológico.....	48
4.1.2.1. Caudales en sitios de interés.....	48
4.1.2.2. Caudal anual	49
4.1.2.3. Caudal mensual	49
4.1.3. Componente estático (roca y suelo).....	51
4.1.3.1. Medio geológico	51
4.1.3.2. Pendiente y geomorfología del área de estudio	55
4.1.3.2.1. Pendiente	55
4.1.3.2.2. Geomorfología.....	55
4.1.3.3. Suelos y cobertura vegetal	56
4.1.3.3.1. Suelos	56
4.1.3.3.2. Cobertura vegetal	58
4.1.4. Componente hidrogeológico.....	59
4.1.4.1. Medio hidrogeológico	59
4.1.5.1.1. Niveles estáticos del agua.....	59
4.1.5.1.2. Espesor del acuífero y profundidad de los pozos	60
4.1.5.1.3. Unidades hidroestratigráficas	60

4.1.5.1.4. Recarga de agua subterránea	65
4.1.5.1.4.1. Recarga directa por precipitación según tipo de suelo	65
4.1.5.1.4.1.1. Pruebas de infiltración	65
4.1.5.1.4.2. Recarga por aporte de ríos.....	68
4.1.5.1.5. Parámetros hidráulicos del acuífero	68
4.1.5.1.5.1. Transmisividad y conductividad hidráulica.....	68
4.1.5.1.6. Dinámica del agua subterránea.....	71
4.1.5.1.7. Esgurrimiento de agua subterránea.....	73
4.1.5.1.8. Relación agua superficial y subterránea.....	73
4.1.6. Componente hidrogeoquímico.....	74
4.1.7. Componente demanda hídrica subterránea y superficial.....	77
4.1.7.1. Usos del agua subterránea	77
4.1.7.1.1. Uso doméstico.....	77
4.1.7.1.2. Uso para irrigación	78
4.1.7.2. Usos del agua superficial	79
4.1.8. Balance hídrico del acuífero	80
4.1.9. Proyección de demanda del agua subterránea	81
4.1.9.1. Cálculo de la demanda de agua	81
4.1.10. Acciones de manejo del acuífero de Villanueva	83
4.2. Calidad de agua.....	84
4.2.1. Calidad de agua para consumo humano	84
4.2.1.1. Evaluación de parámetros in situ.....	84
4.2.1.2. Diagramas redox	86
4.2.1.3. Parámetros fisicoquímicos	87
4.2.1.4. Parámetros bacteriológicos	90
4.2.1.5. Iones mayoritarios	91
4.2.1.6. Metales evaluados en aguas subterráneas	93
4.2.2. Calidad de agua para riego	95
4.2.2.1. Norma U.S. Salinity Laboratory (USLS).....	95
4.2.2.2. Coeficiente salino K. Índice de Scott	96
4.2.2.3. Índice del carbonato sódico residual (RSC).....	97
4.2.3. Acciones de manejo sostenible	98
4.3. Modelo hidrogeológico conceptual.....	99
V. CONCLUSIONES.....	103

5.1. Objetivo específico 1.....	103
5.2. Objetivo específico 2.....	104
5.3. Objetivo específico 3.....	104
VI. RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores guías para parámetros fisicoquímicos (norma O.M.S).....	22
Tabla 2. Valores guías, para aguas destinadas al consumo.....	27
Tabla 3. Sitios de reconocimiento geológico visitados.....	34
Tabla 4. Red de monitoreo de pozos.....	36
Tabla 5. Sitios de ensayos de pruebas de infiltración.....	38
Tabla 6. Parámetros in situ y empleo de métodos analíticos para su análisis.	42
Tabla 7. Balance hídrico usando el software InnerSoft v0.1.....	47
Tabla 8. Descripción geológica de los sitios de reconocimiento de la geología local.	52
Tabla 9. Unidades geológicas del área de estudio.	54
Tabla 10. Columna estratigráfica norte-sur.....	64
Tabla 11. Columna estratigráfica este-oeste.	64
Tabla 12. Valores de recarga por tipo de suelo. Método analítico Schosinsky, (2006).	65
Tabla 13. Capacidad de infiltración en suelos de los valles.....	66
Tabla 14. Capacidad de infiltración con base en el factor estimado de prueba de infiltración en suelos tipo Chandala.....	67
Tabla 15. Valores de recarga por el cauce del río Ulúa.....	68
Tabla 16. Datos de transmisividad y conductividad hidráulica.....	70
Tabla 17. Clasificación de terrenos por su transmisividad (m ² /día). Custodio & Llamas (1983).	70
Tabla 18. Valores para el cálculo del escurrimiento subterráneo.	73
Tabla 19. Valores piezométricos.....	74
Tabla 20. Hidroquímica del agua del acuífero de Villanueva.....	77
Tabla 21. Explotación del campo de pozos con el caudal recomendado por el tipo de bomba por 24 horas de bombeo.	78
Tabla 22. Aprovechamiento de caudal de agua de pozos para irrigación en campos agrícolas.	79
Tabla 23. Aprovechamiento de caudal de agua de río Ulúa para irrigación en campos agrícolas.	79
Tabla 24. Balance hídrico del acuífero de Villanueva.	80
Tabla 25. Dotaciones de agua (Norma NTON 09 003-99).....	82
Tabla 26. Dotación de agua según el número de habitantes.....	82

Tabla 27. Estadísticos básicos de parámetros in situ de muestras tomadas en el Acuífero de Villanueva (mayo-octubre 2021).....	85
Tabla 28. Valores medios de parámetros in situ de muestras tomadas en el Acuífero de Villanueva (mayo-octubre 2021).....	86
Tabla 29. Valores máximos admisibles estipulados en norma OMS para parámetros fisicoquímicos evaluados en el Acuífero de Villanueva (oct. 2020 y feb. 2021).	89
Tabla 30. Coeficiente salino K. Índice de Scott (Custodio & Llamas, 2001).....	97
Tabla 31. Índices de carbonato de sodio residual en sitios de aprovechamiento hídrico.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio: A) Límites departamentales de Honduras, B) Municipios de Cortés y C) Acuífero de Villanueva.	3
Figura 2. Representación del ciclo hidrológico (Estrela, 1992).	13
Figura 3. Acuífero (García Astillero, 2019).	14
Figura 4. Diagrama de Piper.....	18
Figura 5. Esquema del balance hidrológico en el suelo (Samper, 1997).	19
Figura 6. Esquema metodológico utilizado para la definición del modelo hidrogeológico conceptual.	28
Figura 7. Mapa de ubicación de inventario de pozos.....	29
Figura 8. Aforos en sitios Chinda y La Presa del río Ulúa.....	32
Figura 9. Visitas de reconocimiento geológico.	34
Figura 10. Calicata de suelos (Vásquez, 2019).	35
Figura 11. Medición de niveles estáticos de agua subterránea.	36
Figura 12. Esquema de variables utilizadas para el cálculo de recarga potencial de suelos..	37
Figura 13. Pruebas de infiltración en el Valle de Villanueva.	38
Figura 14. Pruebas de bombeo en pozos.....	40
Figura 15. Instalación de mini-piezómetros.	41
Figura 16. Medición de parámetros in situ.....	43
Figura 17. Datos de precipitación media. Período de datos de 1975-2020.	44
Figura 18. Temperatura mínima, media y máxima. Período de datos 1975-2020.....	45
Figura 19. Evapotranspiración potencial. Período de datos de 1975-2020.....	45
Figura 20. Balance hídrico usando el software InnerSoft v0.1.....	46

Figura 21. Ubicación de estaciones hidrométricas.	48
Figura 22. Caudales medio anual (m ³ /s) en estaciones hidrométricas; La Chinda y La Presa. Período de datos de 1966-2005.	49
Figura 23. Caudales medio mensual (m ³ /s) en estación hidrométrica; La Chinda y La Presa. Período de datos de 1966-2005.	50
Figura 24. Estratigrafía del acuífero de Villanueva.	51
Figura 25. Clases de pendientes (%) en el área de estudio.	55
Figura 26. Unidades geomorfológicas del acuífero de Villanueva.	56
Figura 27. Clasificación de suelos. Simmons y Castellanos (1959/1968).	57
Figura 28. Uso de suelo en el área de estudio. Elaborado de la base de datos oficial: Uso de Suelos ICF (2018).	58
Figura 29. Fluctuaciones de NEA de pozos. Período de monitoreo mayo-octubre 2021.	59
Figura 30. Correlación entre la profundidad de pozos en el valle y espesor del acuífero.	60
Figura 31. Perfil estratigráfico norte-sur del Acuífero de Villanueva.	62
Figura 32. Perfil estratigráfico este-oeste del Acuífero de Villanueva.	63
Figura 33. Prueba de infiltración en suelo tipo de los Valles.	66
Figura 34. Prueba de infiltración en suelo tipo Chandala.	67
Figura 35. Localización de pozos donde se realizaron pruebas de bombeo.	69
Figura 36. Superficie piezométrica en la parte nor-oeste del Valle de Sula.	71
Figura 37. Superficie piezométrica del acuífero de Villanueva.	72
Figura 38. Composición química del Acuífero de Villanueva, feb.2021.	75
Figura 39. Mapa hidroquímico del acuífero de Villanueva.	76
Figura 40. Ubicación de pozos donde se evaluó CE, pH, Temperatura, OD y Eh.	84
Figura 41. Relaciones de estabilidad para hierro y manganeso (Modificado de Krauskopf, 1979).	87
Figura 42. Concentraciones de dureza y alcalinidad total mg.l ⁻¹ de pozos muestreados en febrero 2021 y octubre 2020.	92
Figura 43. Conductividad eléctrica μS.cm ⁻¹ de pozos muestreados en febrero 2021 y octubre 2020.	93
Figura 44. Prevalencia de metales en aguas subterráneas de Villanueva. Muestreo realizado en febrero 2021.	94
Figura 45. Diagrama de salinidad para clasificación del agua de riego.	95
Figura 46. Geomorfología del acuífero de Villanueva.	100
Figura 47. Flujograma del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de Villanueva.	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Niveles piezométricos de pozos del acuífero de Villanueva	111
Anexo 2. Niveles piezométricos de pozos del Valle de Sula.....	112
Anexo 3. Valores de pruebas de infiltración	114
Anexo 4. Balance hídrico para suelos de los Valles de textura franco-arenosa.....	122
Anexo 5. Balance hídrico para suelos Chandala de textura franco-arcillosa	123
Anexo 6. Valores de recarga por aporte de río Ulúa.....	124
Anexo 7. Materiales arrastrados por el río Ulúa encontrados en el límite sur del acuífero de Villanueva.....	126
Anexo 8. Datos de pruebas de bombeo	127
Anexo 9. Valores de parámetros hidroquímicos del agua.....	157
Anexo 10. Análisis de parámetros de calidad de agua subterránea	158

ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

MIC	Modelo Hidrogeológico Conceptual
NEA	Niveles estáticos del Agua Subterránea
n	Porosidad del Medio Hidrogeológico
ETP	Evapotranspiración Potencial
LMP	Límites Máximos Permisibles
MNP	Número Más Probable
Qal	Formación Geológica Aluvial
Tm	Formación Geológica Matagalpa
Ky	Formación Geológica Grupo Yojoa
Kti	Formación Geológica Compuesta por Intrusivos Ácidos
Pz	Formación Geológica Grupo Cacaguapa
P	Precipitación
ETR	Evapotranspiración Real
T	Transmisividad (m ² /día)
b	Espesor del acuífero saturado
k	Conductividad hidráulica
i	Gradiente Hidráulico
ICF	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre
Mm ³	Millones de metros cúbicos
Rp	Recarga potencial
UFC	Unidades Formadoras de Colonias
B	Largo de la celda (m) para el cálculo del flujo subterráneo
Q	Escorrimento subterráneo
CE	Conductividad Eléctrica
LR	Límite Recomendado
Eh	Potencial Redox
AF	Suelos Aluviales
SV	Suelos de los Valles
SA	Sistema Acuífero
OMS	Organización Mundial de la Salud.

RESUMEN

Autor: Erick Noel Chávez Olvera

Tema: Disponibilidad Hídrica del Acuífero de Villanueva, Cortés, Honduras

Año de publicación: 2025

El Acuífero de Villanueva hidrogeológicamente se ubica dentro un abanico aluvial conformado por unidades geológicas recientes (Qal), pasando por el Complejo Sedimentario del Mesozoico (Ky) hasta el Complejo Volcánico del Terciario (Tm), incluido un proceso pos-volcánico (Kti), y un sistema de fallas paralelas orientadas a lo largo del valle de Villanueva. El objetivo de este estudio fue evaluar la disponibilidad hídrica del Acuífero de Villanueva para el abastecimiento de agua en el área urbana del municipio de Villanueva a través de la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual. La definición de este modelo permitió evaluar la productividad y calidad hídrica del acuífero. Los resultados del balance hídrico subterráneo demostraron que la principal recarga corresponde a 165.20 Mm³/año como aporte de agua superficial del cauce del río Ulúa. La recarga directa por precipitación equivale a 7.89 Mm³/año y las salidas de agua del Acuífero se da a través del escurrimiento subterráneo de 5.00 Mm³/año que fluye con dirección hacia el este del río Ulúa. Otra parte de la salida del agua es extraída por pozos para uso doméstico e irrigación en cultivos agrícolas y uso industrial que alcanzan una demanda hídrica de 11.22 Mm³/año. La disponibilidad hídrica es igual a 178.10 Mm³/año.

La clasificación del acuífero por su transmisividad (120.80 a 680.01 m²/día) es de tipo permeable, regular a bueno y la composición hidroquímica que predominó es de tipo bicarbonatada-cálcica. La evaluación de la calidad del agua se determinó analizando parámetros físicos y bacteriológicos en ocho (8) pozos municipales de abastecimiento. El parámetro de la conductividad eléctrica se encontró por arriba del valor máximo permisible según norma hondureña con valores de 823 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 1328 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. También en varios pozos se observaron concentraciones de potasio que excedieron ligeramente los valores máximos permisibles (10.80 -10.28 mg.l⁻¹). En la evaluación de metales se observó que el hierro presentó las concentraciones más altas 1.09 mg.l⁻¹, seguido en el orden descendente por el zinc 0.90 mg.l⁻¹. En los ocho (8) pozos de agua potable analizados se detectaron coliformes totales, coliformes fecales y *E. Coli*. La calidad de agua para irrigación es poco recomendable en los pozos de Guadalupe López (2.09 CSR y 2.36 RAS) y Llanos de Canadá No.1 (2.01 CSR y 3.19 RAS) por presentar altos valores salinidad.

Palabras clave: Acuífero, Disponibilidad, Villanueva Cortés.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Villanueva se localiza en la porción central del departamento de Cortés a 25 kilómetros de la ciudad de San Pedro Sula. Durante años, las fuentes de suministro de agua potable y riego se han obtenido de la explotación de las aguas subterráneas del Valle de Sula. La población del área urbana ha aumentado considerablemente, teniendo como consecuencias mayores tasas de extracción de agua que afectan la recarga de los sistemas subterráneos (Barry et al., 1998).

El uso de agua para cultivos agrícolas en Villanueva es muy importante, debido que el valle alberga grandes extensiones de cultivo de caña de azúcar, demandando grandes volúmenes de agua subterránea y superficial. Esto incurre en la disminución del recurso hídrico, descensos del nivel del agua subterránea y posiblemente en la contaminación por lixiviación de productos químicos utilizados en los cultivos agrícolas.

El conocimiento del potencial hídrico es uno de los puntos cruciales para tender hacia su gestión integrada. En esta investigación se evaluó la disponibilidad hídrica del Acuífero de Villanueva, a través de la definición de un modelo hidrogeológico conceptual que permitió determinar la productividad hídrica mediante la realización de un balance hídrico subterráneo. Se examinó la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para proponer acciones de manejo sostenibles del acuífero que actualmente abastece a la población de la ciudad de Villanueva.

Esta investigación demostró a través del Modelo Hidrogeológico Conceptual que el acuífero tiene capacidad de producir extensos volúmenes de agua subterránea. Su principal fuente de recarga es por aporte del río Ulúa. La unidad geológica que más incidencia tiene en la recarga del acuífero son las rocas de calizas fracturadas permeables por sus grietas y fracturas que facilitan sus procesos de disolución formando aguas de tipo hidroquímico bicarbonato-cálcico. Los materiales litológicos que conforman el acuífero se componen por espesores de arena, arcilla y gravas de origen aluvial y fluvial de gran capacidad de almacenamiento de agua. De acuerdo con

los resultados de la evaluación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, la conductividad eléctrica y los parámetros bacteriológicos no cumplen los estándares de calidad del agua para consumo humano.

Por otra parte, las aguas si pueden utilizarse para irrigación a excepción de los sitios Guadalupe López y Llanos de Canadá No.1 que se consideraron poco recomendables según los resultados de su evaluación. Estos pozos se localizan en el punto de la descarga en el extremo este del acuífero.

Los resultados de este estudio recomiendan a las autoridades del municipio tener en consideración la relación de las aguas subterráneas con respecto a las aguas superficiales en el desarrollo de proyectos agrícolas y de generación de energía, ya que estos pueden disminuir la recarga inducida por el río Ulúa al Acuífero de Villanueva y por ende no suplir la demanda de agua a la población. También realizar análisis de agua a mayor número de sitios que permita el diseño de un sistema de tratamiento de agua antes de su distribución.

1.1. Área de estudio

El acuífero de Villanueva se ubica en el municipio de Villanueva, departamento de Cortés, Honduras. Limita al norte con el municipio de San Pedro Sula (380456 E, 1715600 N), al sur con el municipio de Pimienta (395824 E, 1688930 N), al oeste con el municipio de Petoa (367611 E, 1689120 N) y Potrerillos (396873 E, 1680410 N) y a este con el municipio de San Manuel (403444 E, 1700570 N). Figura 1. El acuífero de Villanueva comparte su área territorial con los municipios de San Manuel y Pimienta. El 54.30% del área del acuífero corresponde al municipio de Villanueva, a Pimienta corresponde el 29.28 % y el 16.48 % a San Manuel.

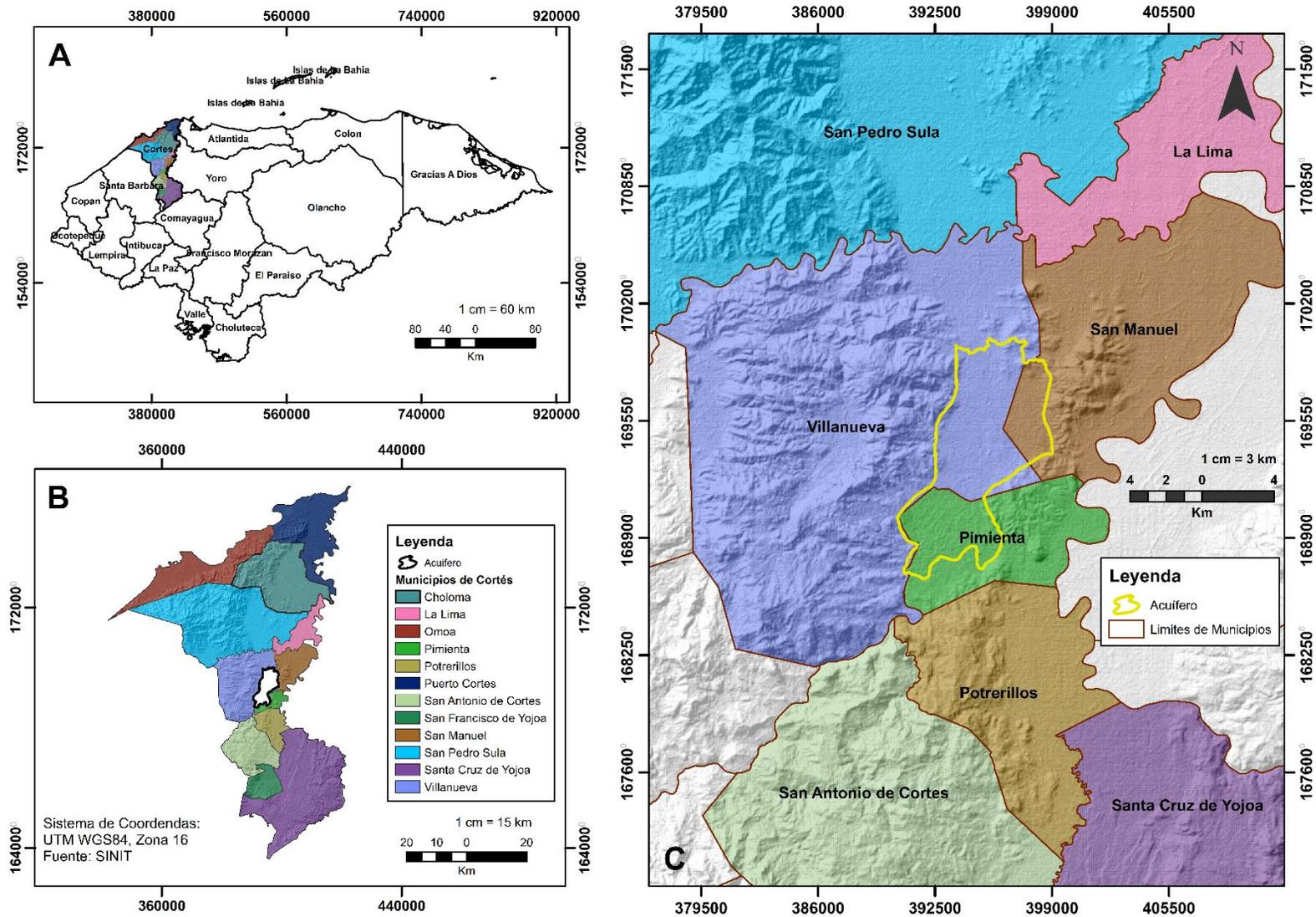


Figura 1. Área de estudio: A) Límites departamentales de Honduras, B) Municipios de Cortés y C) Acuífero de Villanueva.

1.1.1. Escenario geográfico

El Acuífero de Villanueva tiene un área total de 60.69 km² que se comparte en tres municipios; 33.08 km² para el municipio de Villanueva, 17.56 km² para el municipio de Pimienta y 10.05 km² para el municipio San Manuel. Villanueva se compone de 15 barrios, 20 distritos urbanos, 20 distritos rurales, 33 pequeños pueblos, y 58 casas de campo (Municipalidad de Villanueva Cortés, 2021). Algunas de las áreas periféricas son atendidas por los sistemas de agua que no están conectados al sistema de agua que suministra al área urbana. Este estudio se centró sólo en el suministro de agua para el área urbana.

1.1.2. Clima

Honduras se encuentra dentro de los trópicos y consta de cuatro regiones fisiográficas distintas conocidas como las tierras bajas del Caribe, tierras bajas del Pacífico, tierras altas del interior y tierras insulares. El municipio de Villanueva se encuentra dentro de las tierras bajas del Caribe y tiene un clima húmedo tropical (Reconco, 2019). La mayoría de la lluvia cae entre los meses de mayo y noviembre, su precipitación media anual es de aproximadamente 1045.21 mm y cuenta con temperatura promedio anual de 26.75 °C.

1.1.3. Aguas superficiales

La principal fuente de agua superficial es río Ulúa, considerándose uno de los ríos más caudalosos en el país, su principal uso es para fines agrícolas. Debido a su extensa cuenca el río mantiene un caudal considerable todo el año. Dentro del valle el río fluye en dirección noreste. El río Ulúa tiene una longitud aproximadamente de 358 km y su desembocadura es el mar Caribe, el punto de elevación máxima está a 1,500 msnm, siendo la pendiente media de la cuenca de 0.42% (Balairón et al., 2003).

1.1.4. Uso de suelos

El uso de suelos en el valle es para fines residenciales, industriales y agrícolas. Actualmente el mayor uso del suelo es para fines agrícolas con grandes extensiones de cultivo de caña de azúcar, que iniciaron desde los años 40 del siglo pasado (82 años), siendo Villanueva considerada una ciudad de gran desarrollo industrial.

1.2. Antecedentes

Según la CEPAL (Citado por FAO AQUASTAT, 2015) en 1973 Honduras estimó un caudal renovable de agua subterránea explotable de 9,09 km³/año, dividido en 8,02 km³/año en la vertiente Atlántica y 1,07 km³/año en la vertiente del Pacífico. En los valles de las tierras altas del interior y en la costa del Pacífico (valles de Choluteca, Tegucigalpa, Comayagua).

En cuanto a la calidad de agua es importante mencionar que el país no realiza un monitoreo sistemático sobre los cuerpos de agua. Sin embargo, se puede afirmar que los ríos Choluteca, Chamelecón y Ulúa, son los casos más delicados de contaminación, ya que reciben las aguas negras de las ciudades de Tegucigalpa y Valle de Sula, provenientes de desechos industriales, agroquímicos usados o fabricados en las cuencas, los depósitos de basura en sus orillas y sedimentos, entre otros (Guillén, & Tabora, 2015).

La ciudad de Villanueva depende casi exclusivamente del agua subterránea para su abastecimiento de agua. Hasta el 2002 se contaba con dieciséis pozos municipales para el suministro de agua con una capacidad combinada de 193 litros por segundo (L/s) (50.99 galones por minuto (GPM)). Tres de los dieciséis pozos fueron ubicados dentro de una plantación de caña de azúcar hacia el sur del valle y eran las principales fuentes de agua para la ciudad. Además, se identificaron siete pozos privados que

operaban en el municipio pero no proporcionaban agua para el sistema de distribución municipal del área urbana (Brown and Caldwell, 2002).

El Informe de Evaluación y Plan de Manejo de los Recursos de Agua Subterránea de Villanueva, realizado por (Brown and Caldwell, 2002) brindó información sobre la calidad de agua en cinco (5) pozos municipales con profundidades de 104 m a 207 m (340 pies a 680 pies). La calidad del agua fue generalmente aceptable, con algunas excepciones de pozos con presencia de coliformes totales, arsénico y hierro que exceden ligeramente los valores máximos permitidos por la Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable (1995) ubicados en la parte noreste de Villanueva.

Este estudio también determinó que los mejores rendimientos de aguas subterráneas se presentaron en la zona sur de Villanueva, encontrándose extensos depósitos de arena fina y arcilla. El espesor y la extensión lateral de las arenas, gravas y arcillas son mayores a lo largo de las porciones este y sur del valle de Villanueva (Brown and Caldwell, 2002).

Por otra parte (Atica S. de R.L, 2002) aplicaron dos simulaciones a través de modelos predictivos para evaluar los posibles efectos de aumentar los aprovechamientos de agua subterránea para el año 2020, los resultados obtenidos señalan que la reducción del nivel del agua de los pozos sería de aproximadamente 12 m en el acuífero situado en el extremo norte de Villanueva. Por consiguiente, los futuros pozos estarían situados al sur de Villanueva, los cuales presentarían una reducción más baja, aproximadamente cinco (5) metros con respecto a los pozos ubicados al norte del municipio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la disponibilidad hídrica del Acuífero de Villanueva para el abastecimiento de agua en el área urbana del municipio de Villanueva.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar el modelo hidrogeológico conceptual del Acuífero de Villanueva, municipio de Villanueva, Cortés
2. Determinar la productividad hídrica del Acuífero de Villanueva, municipio de Villanueva, Cortés
3. Examinar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua usada para consumo humano del Acuífero de Villanueva
4. Proponer acciones para el manejo sostenible del Acuífero de Villanueva para abastecimiento de agua en el área urbana del municipio de Villanueva.

1.4. Planteamiento del problema

Los recursos hídricos, están siendo muy afectados por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad ya sea en cantidad y calidad. Los factores más incidentes son la sobreexplotación, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua y acuíferos, los cambios en el uso del suelo tales como; la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de recarga hídrica, entre otros (Ordóñez, 2012).

Honduras es un país cuyo período de lluvias en condiciones climáticas normales, tienen una duración de ocho (8) meses al año y, al menos cuatro (4) de ellos con lluvias torrenciales. Se estima que entre el 65% y el 75% del agua que se consume en el país procede de acuíferos, principalmente en las ciudades de Tegucigalpa, San Pedro Sula, Choloma, Comayagua, Villanueva y Siguatepeque. Esto indica que las aguas subterráneas, en vez de ser un aporte adicional en los períodos de sequía, o una reserva de agua estratégica de futuro, se convierten en el aporte principal (Murillo, s. f.).

En Honduras se busca solucionar los problemas hídricos de las ciudades a través de perforación de pozos, provocando uso insostenible del agua de los acuíferos. Se extrae más agua de la que se recupera en las recargas naturales, de modo que se producen descensos del nivel del agua subterránea, problemas de índole social, vertidos de aguas residuales (Murillo, s. f.).

En el área urbana del municipio de Villanueva, la fuente de agua para uso doméstico e industrial dependen exclusivamente de aguas subterráneas, esta situación ha tomado mucha importancia debido al acelerado crecimiento de la población que ocasiona como consecuencia un mayor consumo de agua de los acuíferos por las dificultades en acceder a fuentes confiables de agua superficial. El uso de aguas

subterráneas en Villanueva se incrementa año tras año y de que esta tendencia se incrementará en los próximos años.

Según estudios previos realizados por el Sistema Nacional de Acueductos y Alcantarillado (SANAA) se ha podido medir volúmenes aprovechables para el abastecimiento de los pobladores del área urbana del municipio. De igual manera investigación realizada por Latin Consult, (2011) indica que se producen descensos significativos en los niveles de agua subterránea en el Valle por irrigación en los cultivos agrícolas. Sin embargo, dentro de los límites investigativos estos trabajos no han podido determinar la disponibilidad hídrica del acuífero de Villanueva para sus diferentes usos, las características físicas, hidrogeológicas y químicas del acuífero han sido poco estudiadas, que dificulta se puedan tomar decisiones de manejo del acuífero.

1.5. Justificación

En Honduras la extracción de agua proveniente de pozos en su mayoría es utilizada para consumo humano y doméstico en barrios y colonias en el sector urbano, ocasionando que muchos de los acuíferos estén siendo aprovechados de manera insostenible debido al crecimiento demográfico (Guillén & Tabora, 2015).

Según Geyh, (2000) el rápido crecimiento poblacional combinado con el aumento constante de las necesidades de agua para uso doméstico, agrícola y el desarrollo industrial, han impuesto una demanda severa sobre el recurso de agua dulce, disponibles en términos de cantidad y calidad, que requieren una evaluación y gestión coherente y cuidadosa de recurso hídrico para su desarrollo sostenible. Es así, como se han propuestos estudios de disponibilidad hídrica aplicados a un amplio espectro de problemas hidrológicos relacionados con las aguas subterráneas.

El acuífero de Villanueva representa un potencial natural significativo, ya que la ciudad de Villanueva representa uno de los principales polos del desarrollo económico del

país, a través de la producción agrícola e industrial que requieren el uso de las aguas subterráneas. Las condiciones de desarrollo y el crecimiento poblacional significan mayor demanda del recurso hídrico. Desde el año 2002 se han instalado pozos para diferentes usos sin la orientación de estudios previos que determinen las zonas de mayor productividad y calidad hídrica, así como los caudales de aprovechamientos recomendados y el potencial productivo del acuífero.

Es así, como este campo de estudio ofrece una oportunidad para evaluar la disponibilidad hídrica del acuífero para el abastecimiento de agua al área urbana de Villanueva, que permita evidenciar si el acuífero es potencialmente sostenible para usos actuales y futuros, lo que sería un aporte importante para conocer el comportamiento de las aguas subterráneas del acuífero. Los resultados de esta tesis permitirán determinar acciones de manejo sostenible de las aguas subterráneas, siendo una investigación de gran utilidad que servirá como un instrumento a futuro para la aplicación de las normativas contempladas en la Ley General de Agua de Honduras.

1.5.1. Importancia

Es importante conocer la disponibilidad de aguas subterráneas ya que es la principal fuente permanente de agua. La sociedad actual no solo requiere agua en cantidad suficiente, sino que ésta debe tener una calidad acorde con el uso que le vaya a destinar (Aguilar, 2013). Las características físicas, climáticas, hidrogeológicas, así como las demandas elevadas en las actividad agrícola y residencial hacen que estos recursos hídricos sean muy vulnerables. Por ello, se hace necesario aumentar el grado de conocimiento del funcionamiento de estos sistemas con el objetivo de evaluar el funcionamiento para mitigar los posibles impactos negativos al acuífero (Touhami et al., 2014).

La disponibilidad de aguas subterráneas se debe estimar realizando un balance, en donde se busca definir la recarga de los acuíferos para volúmenes que demandan los

diferentes usuarios para fines de administración y aprovechamiento sostenible del recurso (Aguilar, 2013).

El recurso hídrico subterráneo puede contribuir a resolver los problemas de escasez hídricos ante la intensidad del verano en los países centroamericanos (Sánchez, 2020). Sin embargo, es necesario conocer muy bien el funcionamiento del sistema hidrogeológico para poder orientar la ubicación de sitios de aprovechamiento para perforación de pozos, caudal recomendable aprovechable y sobre todo manejar la caracterización de la calidad de agua para consumo humano y orientar acciones para proteger las zonas de recarga del acuífero.

El desarrollo del modelo conceptual del medio hidrogeológico es un factor clave en la gestión del agua. La simplicidad de los modelos permite la estimación de los recursos hídricos sin necesidad de información espacial que en muchos casos no es posible obtener (Méndez, 2017).

II. MARCO REFERENCIAL

2.1. Ciclo hidrológico

Estudia el movimiento dinámico del agua en la tierra y contiene procesos constantes en los cuales el agua realiza su recorrido pasando de un estado a otro, esto sucede por sobre o bajo la superficie de la tierra y en la atmósfera (Ordóñez, 2012). El ciclo del agua inicia cuando una parte del vapor de agua de la atmósfera se condensa y origina precipitaciones en forma de lluvia o nieve. No toda la lluvia alcanza la superficie de la tierra, una parte se vuelve a evaporar inmediatamente durante su caída y otra es retenida o interceptada por la vegetación y vuelve a la atmósfera en forma de vapor. Parte del agua que alcanza la superficie del terreno y es retenida en pequeñas depresiones en forma de charcos y aguadas retorna a la atmósfera por evaporación. Otra parte circula sobre la superficie y se concentra en pequeñas arroyadas y líneas de drenaje, que se reúnen en arroyos y luego en los ríos, constituyendo el agua de escurrimiento superficial, que tiene como destino final un lago o el mar, desde donde será evaporada o bien, se infiltrará en el terreno por donde circula (Schulz & García, 2018).

Por último, hay una tercera parte de la precipitación que penetra bajo la superficie del terreno, conocida como infiltración, que se realiza a través de canales, fisuras y poros del suelo, a los que va llenando progresivamente. Un cierto volumen del agua infiltrada no desciende hasta la zona saturada o del agua subterránea propiamente dicha, sino que es retenida en los que se conoce como zona no saturada o zona de humedad del suelo, desde donde vuelve a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Establecer la cantidad que corresponde a una u otra es tarea muy difícil, por lo que es común que siempre se aplique el término de evapotranspiración para el conjunto del fenómeno (Fetter, 1988).

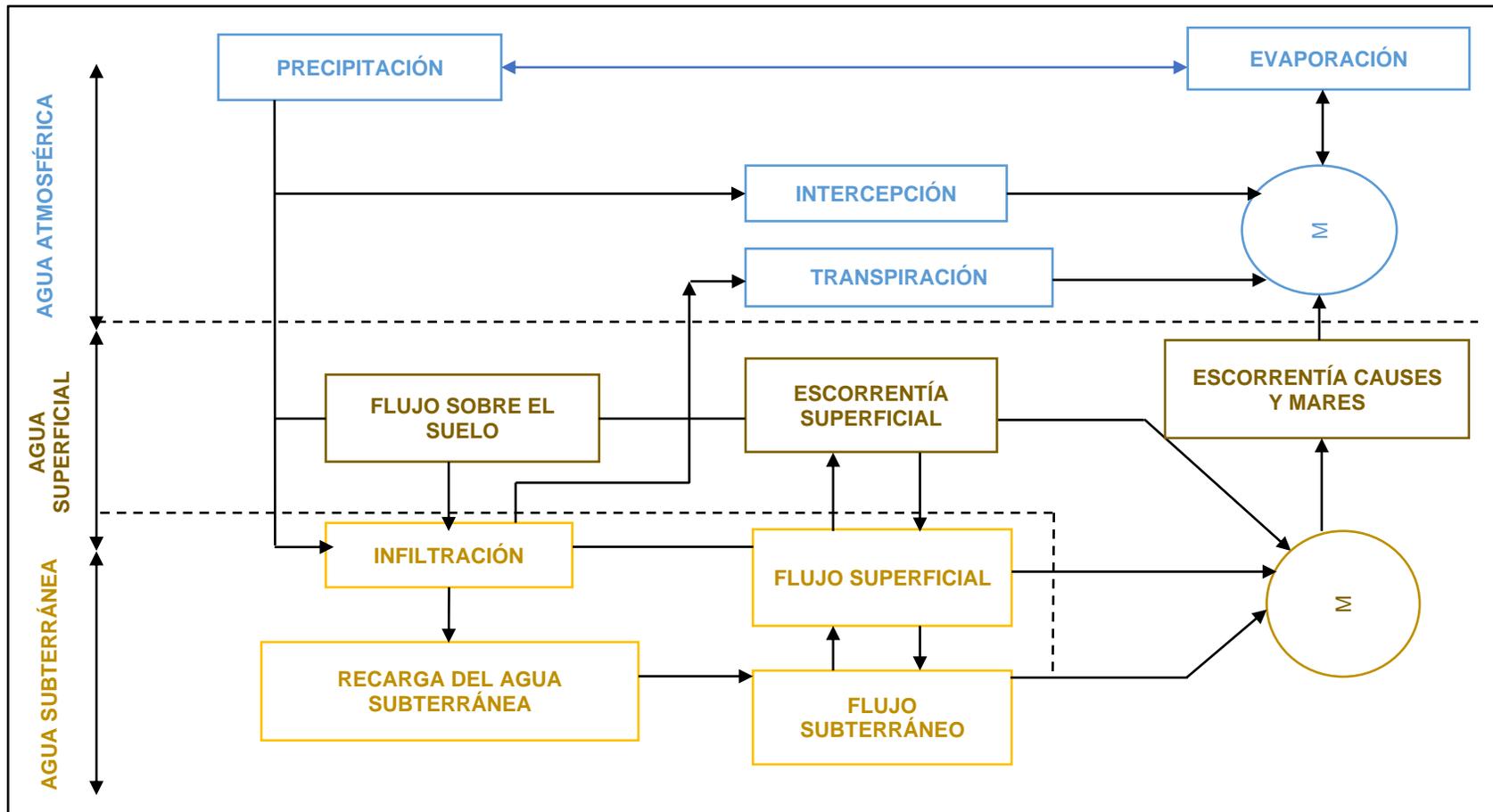


Figura 2. Representación del ciclo hidrológico (Estrela, 1992).

2.2. Sistema hidrogeológico

El sistema hidrogeológico es el conjunto de acuíferos acuitados o acuíclados que confinan o semiconfinan a los niveles más permeables que constituyen el sistema hidrogeológico de una determinada región. Desempeñan dos funciones principales (Rebollo, s. f.):

- Almacenar importantes volúmenes de agua, tanta como les permite su porosidad (función de embalse subterráneo)
- Transmiten el agua desde las áreas de recarga a las áreas de descarga (función de conducto subterráneo).

2.3. Acuífero

Un acuífero es un depósito de agua subterránea en donde se almacena el agua de las precipitaciones, que es retenida y absorbida por el suelo, rellena las cavidades intergranulares tanto en la arena, arcilla y grava del subsuelo, donde se almacena. La gravedad provoca el descenso de la masa de agua hasta que se encuentra con una capa impermeable (Peralta & López, 2012).

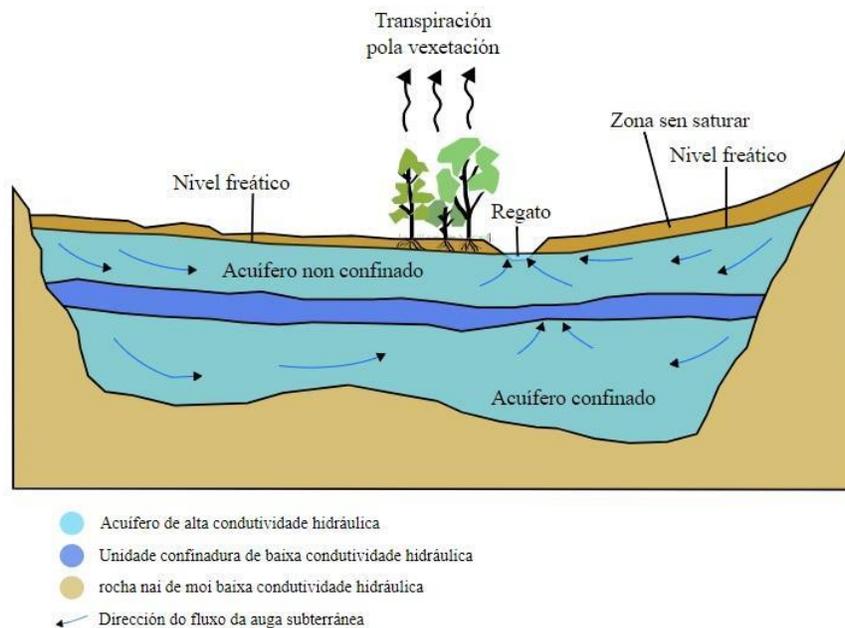


Figura 3. Acuífero (García, 2019).

2.3.1. Características de los acuíferos

La propiedad de los acuíferos de contener agua está gobernada por varios factores: porosidad, permeabilidad, transmisibilidad específica y coeficiente de almacenamiento. Conocer estas características permite evaluar la magnitud del recurso y su aprovechamiento racional sin peligro a agotarlo (Arocha, 1980, como se citó en Ordóñez, 2012).

2.3.1.1. Permeabilidad

Es la propiedad de las rocas de permitir o no el flujo del agua; un estrato geológico puede contener agua, si los espacios vacíos no se interconectan, el agua no circula. Esta libertad de movimiento depende del tamaño y forma de las partículas, compactación del material y viscosidad del agua. El coeficiente de permeabilidad de un material se define como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una sección de acuífero de área unitaria (1 m^2), cuando el gradiente hidráulico es unitario y la temperatura este en promedio de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. La permeabilidad tiene dimensiones de velocidad m/día o $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$.

2.3.1.2. Porosidad (n)

Las rocas poseen grietas o espacios intergranulares, y al conjunto de estas aberturas o intersticiales se le llama porosidad. Para hablar de acuíferos se requiere que estos espacios intergranulares estén interconectados; característica que se ve afectada por:

- Grado de compactación del material que se refiere a
- Forma de las partículas y su gradación, las cuales son independientes del tamaño de estas.

La porosidad se representa por “n” y varía de 0 a 50%, dependiendo de los factores mencionados.

2.3.1.3. Transmisividad

Es la capacidad de un acuífero para conducir agua o transmitir agua, definiéndose como el volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario, extendida en todo el espesor saturado, cuando el gradiente hidráulico es unitario y a una temperatura de 15 °C. La transmisividad es el producto de la conductividad hidráulica y el espesor saturado del acuífero:

$$T = b * K$$

Donde:

- T → Transmisividad (L^2/T),
- b → Espesor saturado del acuífero (L)
- K → Conductividad hidráulica (L/T).

2.3.1.4. Coeficiente de almacenamiento

Se refiere al volumen que es capaz de liberar el acuífero al descender en una unidad el nivel piezométrico o como el volumen de agua unitario del acuífero que se libera del almacenamiento bajo una disminución unitaria de la altura hidráulica que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección igual a la unidad y altura la del espesor saturado, si se produce un descenso unidad del nivel piezométrico.

2.4. Alimentación o recarga de las aguas subterráneas

La recarga de las aguas subterráneas está influenciada por la infiltración que se produce en el terreno por la acción conjunta de dos fuerzas; la gravedad y la atracción molecular, las que pueden actuar en un mismo sentido o bien en forma opuesta, según las circunstancias. La magnitud de la infiltración y por lo tanto de la alimentación de las aguas subterráneas, se ve influenciada por dos tipos de condiciones; las precipitaciones y las condiciones del terreno (Ordóñez, 2012).

2.4.1. Comportamiento de la infiltración de las corrientes superficiales

Las corrientes se clasifican en general en dos categorías: corrientes influentes y corrientes efluentes. En las primeras, el nivel de las aguas superficiales está por encima de la superficie freática libre y el agua pasa desde la corriente superficial a la zona de saturación. Por el contrario, una corriente se llama efluente si su nivel está por debajo del nivel freático y, por tanto, recibe aportaciones de agua subterránea de los mantos de las laderas.

2.4.2. Recarga por retorno proveniente de riego

En algunas unidades hidrogeológicas es interesante considerar que, por efecto del riego aplicado a los terrenos de cultivo, se produce infiltración del agua que llega a formar parte importante de la fuente de alimentación para las aguas subterráneas. Del total del agua que se aplica en riegos, un porcentaje normalmente importante se gasta en lo que se designa como consumo evapotranspirativo o tasa neta que es el agua transpirada por la planta y retenida en su tejido durante su crecimiento, más la evaporada desde la superficie del terreno, otra parte escurre superficialmente mientras que el saldo resultante se infiltra hacia las capas del subsuelo constituyendo la recarga ya referida de las aguas subterráneas.

2.5. Hidroquímica del agua

Los parámetros hidroquímicos aportan información acerca de la composición química del agua y los estratos geológicos por donde ha tenido contacto en su flujo hacia las zonas de descarga. Los diferentes procesos fisicoquímicos que afectan al agua determinan la calidad del agua (degradación y presencia de contaminantes). Los factores que influyen en la interacción agua-fase sólida son: naturaleza de la fase sólida (mineralogía, composición química), superficie específica de las partículas, concentración de especies iónicas en el agua, actividad bacteriana, tiempo de

2.6. Balance hídrico subterráneo

El propósito de la determinación de un balance hídrico subterráneo es establecer y analizar las entradas, salidas y cambios de almacenamiento dentro de un área determinada. La recarga es la entrada real de agua en un acuífero, mientras que la infiltración es el movimiento del agua desde la superficie hacia el subsuelo. En general, la fuente de recarga son las aguas superficiales procedentes de las precipitaciones y, en menor medida, del riego, de pozos de recarga contruidos artificialmente (Delleur, 1999).

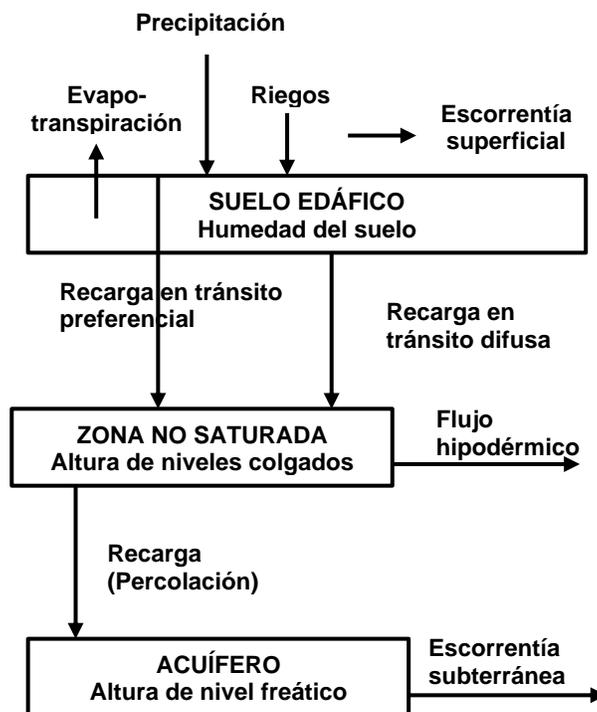


Figura 5. Esquema del balance hidrológico en el suelo (Samper, 1997).

La tasa de recarga real está controlada por varios factores: la cantidad y la tasa de precipitación que no se pierde por escorrentía superficial y evapotranspiración, el contenido inicial de humedad del suelo o la relación de saturación del suelo, la elevación de la superficie de recarga en relación con la zona de descarga, la conductividad hidráulica horizontal del acuífero que se recarga y su gradiente hidráulico, que determinan la velocidad a la que el agua recargada saldrá de la zona

de recarga, la conductividad hidráulica vertical del suelo que se recarga, y la presencia de alteraciones artificiales en el subsuelo que transportan el agua a los cursos de agua superficiales (Delleur, 1999).

Al realizar el balance hidrogeológico, los factores de análisis determinarán si existe o no la posibilidad de almacenar agua en el suelo y su medio interno. Si la evapotranspiración es equivalente a la precipitación, se deduce que no quedará la posibilidad de escorrentía e infiltración. Si entre evapotranspiración y escorrentía se tiene una dimensión equivalente a la precipitación, no habrá posibilidad de almacenar agua en alguna zona subterránea (Jiménez, 2005). Esto no quiere decir que en dicha zona no exista un acuífero con potencial importante de agua, este podría derivarse de otra fuente externa a la cuenca o ser parte de una reserva muy antigua (Vargas, 1998).

2.7. Calidad del agua subterránea

La evaluación de la calidad del agua tiene el propósito de investigar a la naturaleza biológica y compuestos fisicoquímicos que componen su calidad natural y sus efectos adversos en la salud humana, siendo el agua el elemento fundamental y de consideración vital por el hombre, destinada a ser utilizada y que está siendo afectada por las actividades del hombre contaminándolas (Organización Panamericana de la Salud, 1988).

La calidad del agua subterránea está compuesta por una serie de parámetros físicos, como temperatura, conductividad eléctrica y compuestos químicos; es decir, sustancias disueltas que se han incorporado al agua a través de procesos naturales, éstas por lo general son inorgánicas y están en estado iónico, pH, residuo seco, alcalinidad, dureza y acidez. Entre las sustancias inorgánicas disueltas en las aguas subterráneas, se encuentran los iones mayoritarios (cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio y potasio), iones minoritarios y elementos traza, además de virus, bacterias, algas, hongos y protozoos (Centro de Formación de la Cooperación Española, 2017).

Las fuertes precipitaciones climatológicas alteran los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua. Sin embargo, la calidad de agua para consumo humano puede ser apta a través de tratamientos simples y desinfección (Zhen, 2009). Por lo tanto, el agua es un compuesto muy importante para la vida diaria, y la existencia de todos los seres vivos, además es un solvente universal que se encuentra en la superficie y subterráneamente, al ser consumidas aguas que no son tratadas pueden contener microorganismos indeseables y nocivos para la salud (Cifuentes, 2004).

Existen organismos como los coliformes fecales, salmonella, *E. Colí* que pueden afectar la salud de las personas (Cordain & Eaton Sebastian, 2005). Los resultados de análisis de calidad de agua en laboratorios nos indican la presencia de elementos orgánicos así como minerales y gases, también la presencia de microorganismos consecuencia de factores climáticos y por las actividades antropogénicas (Sáenz, 1999). Por lo tanto, la calidad del agua se evalúa según los parámetros analizados y límites máximos permisibles (LMP) según las normas de calidad, se estudian los resultados que sobrepasan los valores permisibles que afectan la salud humana (Cifuentes, 2004). Es por ello que cualquier incremento en los parámetros evaluados es sospecha de contaminación ya sea físico, químico y bacteriológico (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

2.8. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S), en su documento Standard Methods for the examination of wáter and wastewater., (2017), opta por la estrategia de clasificar las características químicas, físicas y bacteriológicas que deben ser consideradas para evaluar la calidad del agua potable, en caso que superen los niveles máximos aceptables afectan la salud humana (Custodio & Llamas, 1983).

2.8.1. Características químicas y físicas

Las características fisicoquímicas que están presentes en las aguas son evaluadas para determinar la calidad del agua de acuerdo con los usos que se le quieren dar. Los distintos países adoptan y legislan sus límites de acuerdo con sus peculiaridades, pero suelen guiarse por los de la O.M.S. Los criterios usuales para dictaminar acerca de la potabilidad del agua son el fisicoquímico y el bacteriológico.

Tabla 1. Valores guías para parámetros fisicoquímicos (norma O.M.S).

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor máximo Admisible
Temperatura	°C	18 a 30	
Concentración de Iones Hidrógeno	Valor pH	6.5 a 8.5 (a)	
Cloro Residual	mg.l ⁻¹	0.5 a 1.0 (b)	(c)
Cloruros	mg.l ⁻¹	25	250
Conductividad	µS/cm ⁻¹	400	
Dureza	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	400	
Sulfatos	mg.l ⁻¹	25	250
Aluminio	mg.l ⁻¹		0.2
Calcio	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	100	
Cobre	mg.l ⁻¹	1	2
Magnesio	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	30	50
Sodio	mg.l ⁻¹	25	200
Potasio	mg.l ⁻¹		10
Sólidos Disueltos Totales	mg.l ⁻¹		1000
Zinc	mg.l ⁻¹		3

2.8.1.1. Parámetros fisicoquímicos

2.8.1.1.1. Temperatura

La temperatura del agua está estrechamente relacionada con las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) en el agua, con la degradación de la materia orgánica y al medio geológico de la zona: bajas temperaturas mayor oxígeno, altas temperaturas menor

oxígeno disuelto. Altas temperaturas incrementan el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelera las reacciones químicas, reduce los niveles de oxígeno y acelera la eutrofización (Wetzel, 2001).

2.8.1.1.2. pH

Es un indicador de la cantidad de hidronios disueltos en el agua, juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas naturales (equilibrio de carbonatos, procesos redox, disolución de minerales y solubilización de metales) que sirve para entender el conjunto de reacciones químicas que se producen por la formación, descomposición y disolución de las sustancias minerales en contacto con las aguas (Custodio & Llamas, 1983).

En este sentido los valores de pH son indicadores de la acidez de las aguas y cuya característica facilita la movilidad de metales pesados. Los valores óptimos de pH en los ríos deben encontrarse en un rango de 6.0 a 9.0 considerado característico para las aguas naturales (Roldán & Ramírez, 2008), así como del recomendado por las normas canadienses (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2008) para la protección de la vida acuática (6.5 – 9.0).

2.8.1.1.3. Cloro residual

Su análisis es de mucha importancia después de un tratamiento físico o químico que se le dé al agua para uso humano. La dosis de cloro en sistemas de tratamiento en los procesos de desinfección de acuerdo con la Norma Técnica para la calidad del Agua Potable, (1995) debe ser de 5 mg.l⁻¹. En aguas crudas su análisis puede ser despreciable, debido a sus bajos contenidos y su característica principal que es un elemento muy volátil que tiende a desaparecer en cortos recorridos.

2.8.1.1.4. Cloruros

Son iones solubles, no se oxidan ni reducen en aguas naturales. Los cloruros casi siempre van asociados al ion Na^+ . Se encuentran en concentraciones entre 10 y 250 ppm en aguas dulces y en otras aguas superficiales pueden encontrarse en contenidos hasta varios miles de ppm. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y confieren corrosividad a las aguas (Custodio & Llamas, 1983).

2.8.1.1.5. Conductividad eléctrica

Otras formas de expresar la cantidad de sales disueltas en el agua de una manera indirecta rápida y simplificada es a través de la Conductividad Eléctrica (CE), se determina analíticamente como Sólidos Totales Disueltos, cuyo contenido contempla también el componente orgánico disuelto, el cual suele ser muchas veces despreciable. La CE es la capacidad del agua para transferir la corriente eléctrica; la misma está en función de la concentración de los iones presentes (Esteves, 1998).

2.8.1.1.6. Dureza

La dureza del agua se puede definir como la suma de cationes polivalentes, pero principalmente por el Calcio y el Magnesio. Altas concentraciones de estos cationes presentes en un cuerpo de agua representan peligro para la salud, ya que estudios previos han demostrado que el consumo de aguas con valores de durezas superior a $120 \text{ mg.l}^{-1} \text{ CaCO}_3$ podría aumentar el riesgo de padecer de cálculo en las vías urinarias (Mora et al., 2000).

2.8.1.1.7. Sulfatos

Son sales moderadamente solubles a muy solubles, sus orígenes pueden ser por la descarga de agua residuales industriales en los ríos y por la utilización de fertilizantes agrícolas, su presencia natural puede estar influenciada por el depósito de minerales

o por deposición atmosférica. En agua pura el SO_4Ca satura a 1500 ppm, y puede llegar hasta 7200 ppm en aguas salinas. En medios reductores con abundante materia muerta, los sulfatos pueden sufrir reducción bacteriana. Se encuentran en concentraciones entre 2 y 150 ppm en aguas dulces (Custodio & Llamas, 1983).

2.8.1.1.8. Sodio

Las concentraciones del ión sodio se presentan entre 1 y 150 ppm en agua dulce, no siendo raro encontrar contenidos mucho mayores, hasta varios miles de ppm (Custodio & Llamas, 1983).

2.8.1.1.9. Potasio

La solubilidad del ión potasio es muy elevada y difícil de precipitar. Es afectado fácilmente por el cambio de bases y es absorbido de forma muy poco reversible por las arcillas en formación (paso de montmorillonita a illita), para formar parte de la estructura, circunstancias que lo diferencian del sodio. Las concentraciones del ión potasio varían de 0,1 a 10 ppm en agua dulce. Extraordinariamente se pueden tener algunos cientos de ppm y sólo muy raramente se puede tener salmueras de hasta 100,000 ppm. El agua de mar tiene alrededor de 400 ppm (Custodio & Llamas, 1983).

2.8.1.1.10. Sólidos disueltos totales

Para Hill et al., (2005), los sólidos expresan el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Los sólidos generan problemas de colmatación y la sedimentación puede formar deltas hasta destruir hábitats para los organismos acuáticos al disminuir la columna de agua.

Además, existe una estrecha relación entre la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes como plaguicidas y nutrientes, al control que ejercen sobre la turbiedad del agua y a su absorción de calor que aumenta la temperatura del agua. El promedio de Sólidos Disueltos Totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado alrededor de 120 mg.l⁻¹ (Livingston, 1963).

2.8.2. Características bacteriológicas del agua

La OMS fijó microbiológicamente los coliformes fecales (*Salmonella* y *Escherichia Coli*) como microorganismos que ocasionan daños a la salud humana (Cordain & Eaton Sebastian, 2005). Estos organismos viven en el intestino grueso y absorben nutrientes del medio que los circunda. Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales de sangre caliente. Por tal motivo la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal (O.P.S, 1988).

Para identificar la presencia de organismos se adoptan índices de calidad, fijándose para ello los límites que se estiman adecuados. Los coliformes totales y termotolerantes, *Escherichia coli* y enterococos son indicadores de calidad del agua que permiten realizar la clasificación sanitaria de las aguas para diferentes usos, la identificación de contaminantes, el control de procesos de tratamiento de agua y estudios epidemiológicos, etc. (Larrea et al., 2013).

Uno de los problemas sanitarios más críticos que afecta la calidad del agua es la descarga incontrolada de aguas residuales domésticas sin tratamiento, las cuales contaminan los recursos hídricos superficiales, subterráneos y las zonas costeras. La eliminación inadecuada de excretas, dada por la ausencia o el deficiente sistema de alcantarillado y tratamiento, están asociados a la contaminación del agua y causa numerosas enfermedades, tales como el cólera, la amebiasis, la hepatitis, la fiebre tifoidea y paratifoidea, entre otras. La epidemia del cólera y los brotes causados por

microorganismos patógenos como *Cryptosporidium*, cuya vía fundamental de transmisión es el agua (Larrea et al., 2013).

Para fijar los límites correspondientes al MPN en 100 ml se hace uso de la técnica de los tubos de ensayo, o el número de coliformes con la membrana filtrante, se distinguen dos casos, según el problema del agua haya sido o no previamente tratada.

- a. En el caso del agua tratada no deberá encontrarse bacterias coliformes en el 90% de las muestras examinadas en un año o bien el MPN debe ser menor que 1. Simultáneamente ninguna muestra tendrá un MPN superior a 10, ni se sucederán muestras consecutivas con un MPN comprendido entre 8 y 10, en cuyo caso deberán analizarse en un número mayor de ellas.
- b. En aguas sin tratamiento, el MPN será menor de 10 en el 90% de las muestras examinadas en un año. Ninguna de ellas superará el índice de 20. Las bacterias de coliformes fecales serán menos del 40% del número de microorganismos coliformes mostrados por el MPN.

Tabla 2. *Valores guías, para aguas destinadas al consumo.*

Origen	Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible
A. Todo tipo de Agua de bebida	Coliforme fecal	Negativo	Negativo
B. Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme fecal	Negativo	Negativo
	Coliforme total	Negativo	< 4 en muestras no consecutivas
C. Agua en el sistema de distribución	Coliforme total	Negativo	< 4 en muestras puntuales. No debe ser detectado en el 95% de las muestras anuales
	Coliforme fecal	Negativo	Negativo

Norma Regional CAPRE, (1994).

III. METODOLOGÍA

3.1. Proceso metodológico

3.2.1. Modelo hidrogeológico conceptual

El Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de Villanueva fue construido de información primaria como levantamiento de información geológica a través de giras de reconocimiento en campo con soporte técnico de especialista geólogo en campo, inventario y medición de niveles de agua subterránea en 23 fuentes de aprovechamiento de agua.

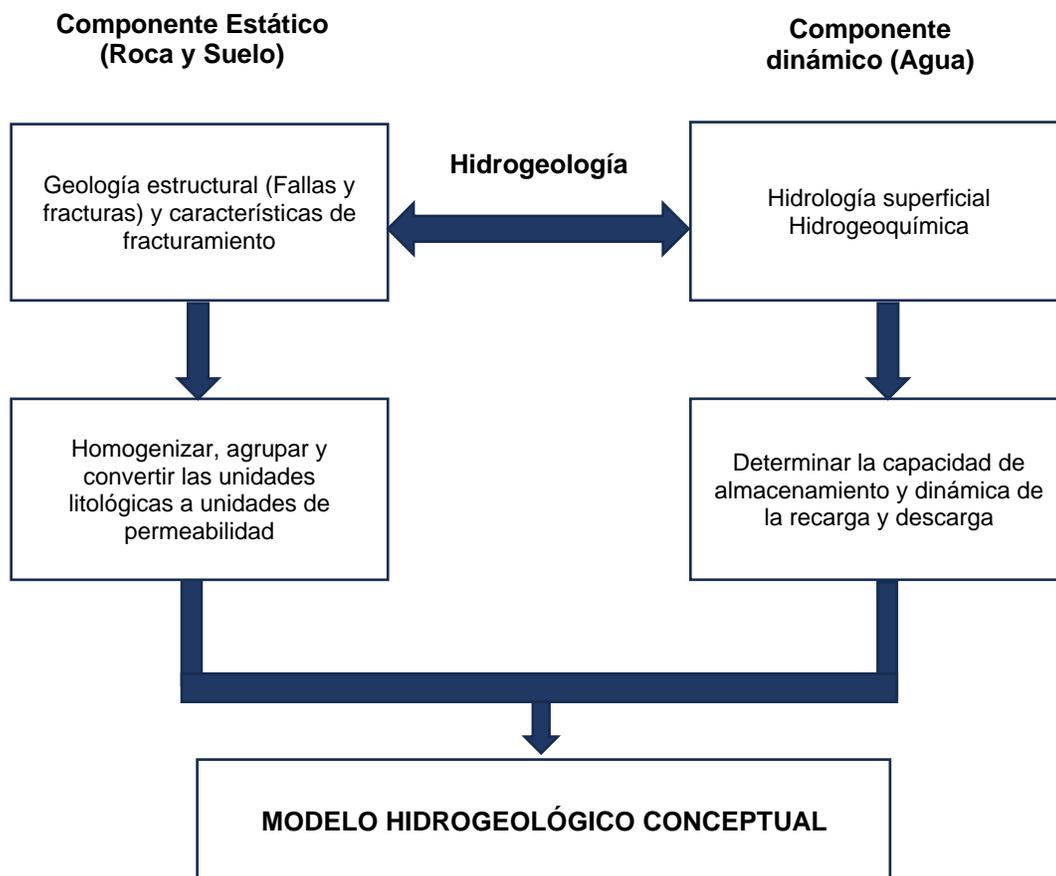


Figura 6. Esquema metodológico utilizado para la definición del modelo hidrogeológico conceptual.

También se tomaron datos de seis (6) ensayos de pruebas de bombeo con duración de 24 horas en pozos ubicados en el acuífero. Se recopilaron datos de siete (7) ensayos de pruebas de infiltración con duración de tres (3) horas cada prueba, instalación de minipiezómetros en los márgenes del río Ulúa para determinar relación de las aguas subterráneas y superficiales. También se recopiló información secundaria de instituciones gubernamentales y privadas obteniendo un registro histórico de datos climáticos de precipitación, temperatura y caudales en sitios de interés de un período de 39 años.

3.2.1.1. Zona de estudio

Se definió la red de monitoreo de 23 pozos municipales para la evaluación de las características hidrogeológicas del acuífero. La evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del acuífero de Villanueva se realizó sobre los pozos municipales que abastecen a la población del área urbana de Villanueva. La totalidad de los pozos son de administración municipal y son pozos de tipo perforados según su construcción.

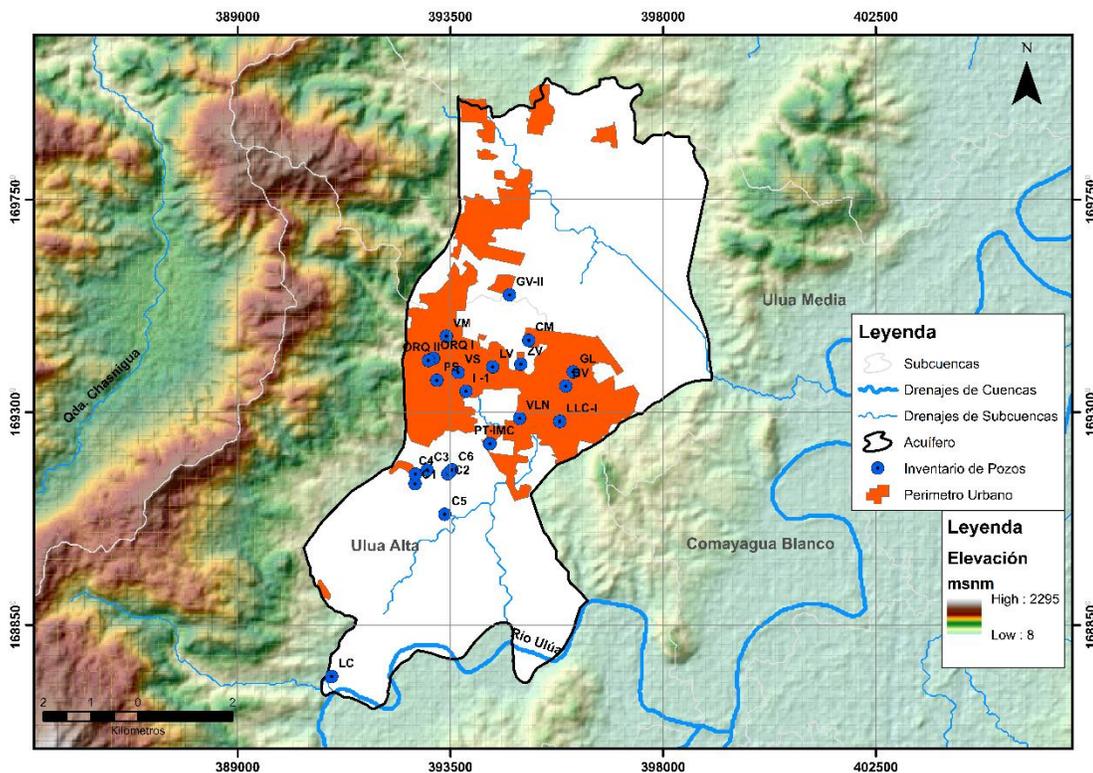


Figura 7. Mapa de ubicación de inventario de pozos.

3.2.1.2. Componente climático

La información climática fue proporcionada por la secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), Empresa Nacional de Energía Honduras (ENEE), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), proyecto hidroeléctrico Hidrovolcán y datos del municipio de Villanueva obtenidos a través de la Dirección Municipal Ambiental de Villanueva de la red de estaciones climáticas de la cuenca del río Ulúa, estación meteorológica e hidrométrica La Chinda, La Presa y estación meteorológica El Tablón.

3.2.1.2.1. Datos de precipitación y temperatura

En función a la disponibilidad de datos se seleccionó un período desde 1975 hasta 2020 para la caracterización del clima en el municipio de Villanueva. De esta información se derivó el rango de precipitación (diferencia entre la precipitación máxima y mínima) y precipitación media. Asimismo, para la variable temperatura, comparando las variables de forma mensual.

3.2.1.2.2. Cálculo de la evapotranspiración potencial

Se calculó siguiendo la metodología de Hargreaves & Samani, (1985), la cual consiste en evaluar la evapotranspiración potencial utilizando datos de temperaturas y de radiación solar. La expresión general es la siguiente:

$ET0 = 0,0135 (tmed + 17,78) Rs$, dónde:

$ET0$ = evapotranspiración potencial diaria, mm/día,

$tmed$ = temperatura media,

Rs = radiación solar incidente, convertida en mm/día.

La radiación solar incidente, Rs , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como $R0$ o Ra , y se lee en tablas en función de la latitud del lugar y del mes.

Para la obtención de la radiación solar incidente (R_s) Samani, (2000) propone la siguiente fórmula:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{max} - t_{min})^{0.5}, \text{ donde:}$$

R_s = Radiación solar incidente,

R_0 = Radiación solar extraterrestre mm/día,

KT = coeficiente

t_{max} = temperatura diaria máxima °C,

t_{min} = temperatura diaria mínima °C.

Para evaluar la radiación solar extraterrestre (R_0) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes (Allen et al., 1998). El coeficiente KT de la expresión es un coeficiente empírico que se puede calcular de datos de presión atmosférica. En este estudio se utilizó el $KT = 0,162$ que recomienda Hargreaves (citado por Samani, 2000) para regiones del interior y $KT = 0,19$ para regiones costeras.

3.2.1.2.3. Balance hidrometereológico

Para el cálculo del balance hidrometereológico se utilizó una serie de datos históricos del año 1975 al 2020 y se empleó el software InnerSoft v.01. Para la realización del balance hídrico se calculó la capacidad de campo, tomando en consideración el criterio de Schosinsky, (2006), donde el mes de mayor precipitación, el suelo está en su capacidad de campo.

La capacidad de campo y demás variables se estimaron con base en valores de referencia de Schosinsky, (2006): capacidad de campo para un suelo de textura franco; 18 a 26 %, punto de marchitez marchitez permanente; 8 a 12 %, densidad aparente; 1.35-1.5 g/cm³, profundidad de las raíces para el cultivo de caña de azúcar oscila entre 1.20-2.00 metros, para el cálculo se empleó una profundidad de raíces de 1200 mm.

3.2.1.3. Componente hidrológico

3.2.1.3.1. Caudales en sitios de interés

Se identificó que el río Ulúa presenta una profundidad promedio de 4 m, 76 m de ancho y una longitud de 8.36 km en el área limitante del acuífero. Debido a las limitaciones de equipo hidrológico especializado para medir caudal a grandes profundidades en río Ulúa se hizo recopilación de información de caudales históricos de estaciones hidrométricas Chinda y La Presa de período 1966-2005 de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) y proyecto Hidroeléctrico Hidrovolcán.

Se realizaron análisis con flotador, se tomó el tiempo inicial t_1 ; para luego tomar el tiempo t_2 , cuando el flotador alcanza el extremo final del tramo, que también está debidamente marcado y medido. Conociendo la distancia recorrida y el tiempo que el flotador demora en alcanzar el extremo final del tramo, se calcula la velocidad del curso de agua.



Figura 8. Aforos en sitios Chinda y La Presa del río Ulúa.

Formula de caudal

$$Q = A \times V$$

donde;

$V = L / T$ (Velocidad), Q : Caudal, A : Área (es importante tomar nota de la profundidad y ancho de cada sección para los cálculos), L : Longitud del tramo (aproximadamente 18 m), T : Tiempo de recorrido del flotador entre dos puntos del tramo.

3.2.1.4. Componente estático (roca y suelo)

3.2.1.4.1. Modelo digital de elevaciones

El Modelo Digital de Elevación (MDE) fue obtenido de la misión Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 30 metros de resolución (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>). El modelo actualmente puede ser descargado de la página: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Haciendo uso del Modelo Digital de Elevación se crearon mapas temáticos de pendiente y geomorfología.

3.2.1.4.2. Marco geológico

Para la construcción del marco geológico local del área de estudio se realizaron visitas de campo coordinadas con base en la información geológica de estudios previos e itinerario de campo propuesto y validado por especialista geólogo de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH). El reconocimiento geológico de campo a manera de visualización estableció como objetivos:

- Determinar el tipo de roca en relación con su comportamiento hidráulico y límites del acuífero
- Reconocer en un corte geológico presencia de estructuras, tipos de fallas, fracturas, rasgos estructurales, tipos de estratos y medición de parámetros de dirección de rumbo y buzamiento.

Se tomaron muestras de mano en los sitios visitados en campo, haciendo uso de piqueta y fotografías de reporte para su interpretación; donde se realizó descripción de estratos rocosos. Se emplearon herramientas indispensables para realizar la actividad geológica en campo: Piqueta Geológica, Brújula Brunton, GPS y Libreta de Campo.

Tabla 3. Sitios de reconocimiento geológico visitados.

Coordenadas UTM (WGS 84)		Sitio	Coordenadas UTM (WGS 84)		Sitio
Este	Norte		Este	Norte	
394837	1687950	102. Río Ulúa	392257	169328	107-1. Catatao
390777	1686879	103. El Ocote	397920	1701804	108. La sabana
388597	1687353	104. Pueblo Nuevo	397749	1703174	109. El Milagro
393899	1698441	105. Zip- Buena Vista	399063	1696742	110. El Plan
397020	1690776	106. Pimienta	398853	1699348	111. San Manuel
392257	1693282	107. Villanueva			



Figura 9. Visitas de reconocimiento geológico.

3.2.1.4.3. Pendiente y geomorfología del terreno

Se utilizó Modelo Digital de Elevación para la creación de mapa de pendiente haciendo uso de herramientas de análisis de datos espaciales de los Sistemas de Información Geográfica para la representación del relieve del terreno. Se utilizó información de estudios previos de geomorfología del municipio de Villanueva para elaboración de mapa geomorfológico.

3.2.1.4.4. Tipo de suelo y uso

Se hizo uso de información de estudios previos de caracterización de los suelos de Villanueva a través de realización de calicatas y uso de información cartográfica de suelo del país. También se empleó información de perfiles litológicos de pozos para conocer el material de los suelos del área de estudio.



Figura 10. *Calicata de suelos (Vásquez, 2019).*

Para la actualización y validación de la clasificación de cobertura de suelo del ICF (2018) se emplearon series temporales de imágenes de Radar Sentinel 1 entre los años 2017-2021 y levantamiento de información cartográfica de acuerdo con el uso de suelos, georreferenciando diferentes puntos durante recorridos de campo para zonificación de áreas haciendo uso de programas de sistemas de información geográfica.

3.2.1.5. Componente hidrogeológico

3.2.1.5.1. Profundidad y niveles estáticos del agua subterránea

Los niveles estáticos del agua en los pozos se obtuvieron a través de la georreferenciación de cada fuente de agua a través de equipo de geoposicionamiento global (GPS) en sistema de coordenadas WGS-84 y medición de niveles estáticos del agua usando una sonda de medición de nivel y profundidad de agua subterránea marca SEBA HIDROMETRIE, modelo KLL 51715, medición de altura de brocal de pozos y elevación de terreno natural. Las mediciones se realizaron cada mes durante un período de seis (6) meses en época de verano.

Tabla 4. Red de monitoreo de pozos.

No.	ID	Propietario	Tipo	Coordenadas UTM (WGS 84)		Altura (msnm)	Simbología
				x	y		
1	Villa Linda Norte	Municipal	PP	394962	1692873	58	VL
2	Guadalupe López	Municipal	PP	396098	1693853	80	GL
3	La Victoria	Municipal	PP	394395	1693962	73	LV
4	Cañeras 2	Municipal	PP	393445	1691699	47	C2
5	Cañeras 1	Municipal	PP	392752	1691490	57	C1
6	Independencia I	Municipal	PP	393832	1693445	76	INDP
7	Manuel Coello	Municipal	PP	394328	1692334	61	MC
8	Llanos de Canadá No.1	Municipal	PP	395814	1692807	57	LLC-I
9	Zip Villanueva	Privado	PP	394991	1694016	62	ZV
10	Pozo Solís	Privado	PP	393212	1693676	48	PZ
11	Cañeras 5	Municipal	PP	393381	1690843	44	C5
12	Pozo Terraplén II	Municipal	PP	394338	1692337	62	TP
13	Pozo Villa Sol	Municipal	PP	393665	1693841	84	VS
14	Pozo Linda Cuello	Comunitario	PP	390989	1687415	53	LC
15	Pozo La Gran Villa II	Municipal	PP	394751	1695483	77	GV-II
16	Cañeras 3	Municipal	PP	393009	1691776	54	C3
17	Col. Municipal	Municipal	PP	395157	1694522	67	CM
18	Orquídea No.2	Municipal	PP	393142	1694141	96	ORQ-II
19	Buena Vista	Municipal	PP	395939	1693554	79	BV



Figura 11. Medición de niveles estáticos de agua subterránea.

3.2.1.5.2. Recarga potencial de suelos

Se empleó la metodología de Schosinsky, (2006), la cual tiene como propósito determinar la recarga potencial al acuífero mediante un balance de suelos. Esta metodología considera varias variables tales como: la precipitación mensual, la

retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real, uso del suelo y pendiente del terreno.

Los valores de las variables se emplearon según el método de Schosinsky, (2006), considerando textura del suelo (densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez), para el caso de la profundidad efectiva (profundidad de raíces), el mapa de cobertura de ICF (2018) y para el caso de la humedad inicial se tomó el criterio de Schosinsky, el cual considera que en la época de mayor precipitación el suelo se encuentra a capacidad de campo.

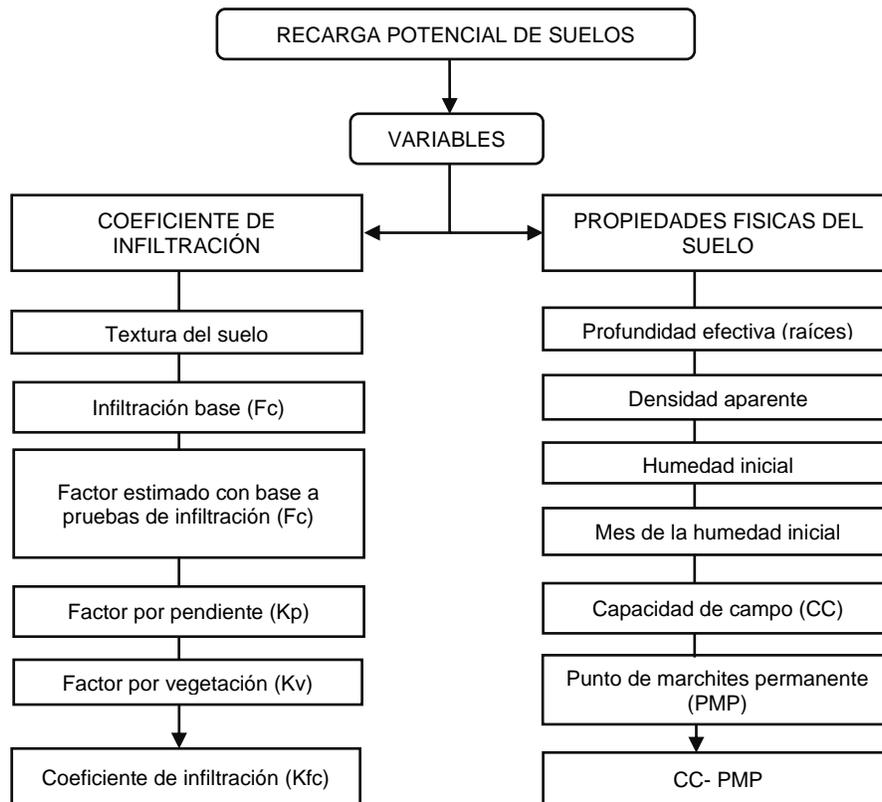


Figura 12. Esquema de variables utilizadas para el cálculo de recarga potencial de suelos.

Se realizaron mapas temáticos del área de estudio para la definición de la textura del suelo, factor por pendiente y factor por la vegetación. Las demás variables se calcularon a través de la hoja de cálculo Excel® con fórmulas condicionales siguiendo la metodología de Schosinsky, (2006).

3.2.1.5.2.1. Pruebas de infiltración

Se realizaron siete (7) pruebas de infiltración en los suelos de Villanueva para el cálculo de la recarga del acuífero utilizando infiltrómetro hecho de metal con diámetro del anillo interno de 30 cm, diámetro del anillo externo de 45 cm y con altura del anillo interno y externo de 38 cm. La obtención del coeficiente de infiltración se estimó en base al promedio de pruebas de infiltración realizadas según el tipo de suelos utilizando la fórmula:

Tasa de infiltración = Profundidad de agua o descenso con respecto al tiempo transcurrido

Tabla 5. Sitios de ensayos de pruebas de infiltración.

Coordenadas UTM (WGS 84)		Sitio
Este	Norte	
39444	169830	Becamo
39411	169810	El Pinto
39494	169630	La Villareal
39581	169369	Colonia. 21 de abril
395993	169313	Gracias a Dios
39654	169239	Zopilocoy
39206	169152	Colonia. La Bendición
39149	168871	El Cutuquito



Figura 13. Pruebas de infiltración en el Valle de Villanueva.

3.2.1.5.3. Parámetros hidráulicos del acuífero

El cálculo de la transmisividad se realizó por el método de Jacob por medio de la prueba de bombeo continuo:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi\Delta s} \text{ (m}^2\text{/día)}$$

T= transmisividad

Q= Caudal de bombeo (m³/día)

Δs = Descenso por ciclo logaritmo (m), del gráfico de abatimiento residual vrs tiempo (relación t/t') equivalente a (en galones por pie):

$$T = \frac{664 Q}{\Delta s} \text{ (gpd/pie)}$$

En este caso, Q (en GPM) y $\Delta s'$ (pies)

Se realizaron pruebas de bombeo en seis (6) pozos del acuífero con ensayo de duración de 24 horas empleando tres (3) tipos de prueba durante el aforo en cada pozo:

- a. Prueba de calibración, por medio de manipulación de la válvula de control para determinar los rangos de bombeo recomendables para la prueba de bombeo escalonado, empezando con un caudal bajo. La prueba se realizó con seis escalas con una duración de una hora por escala, y la prueba de recuperación correspondiente, al final de la última escala
- b. Prueba de bombeo escalonado. Cuatro escalas con dos horas de duración por escala, tomando como referencia los caudales de la prueba de calibración. Al final de cada escala se realizaron pruebas de recuperación con una hora de duración, excepto para la última escala, en donde la recuperación se llevó hasta alcanzar al menos el 90% del abatimiento

- c. Prueba de bombeo a caudal constante, con el último caudal de la prueba escalonada, duración de 24 horas, más la prueba de recuperación.



Figura 14. Pruebas de bombeo en pozos.

3.2.1.5.4. Gradiente hidráulico y escurrimiento subterráneo

Se trazaron celdas para el cálculo del flujo subterráneo utilizando los niveles estáticos de la red de pozos. En cada una de las celdas se aplicó la Ley de Darcy (Fetter, 1988) para obtener la cantidad de agua que fluye a través de ellas, siendo igual a: $Q = TBi$, donde T es la transmisividad ($m^2/día$) (tomada de la tabla 16); B es el ancho de descarga de la celda (m); i es el gradiente hidráulico.

Se describen los métodos que se utilizaron para obtener el gradiente hidráulico y escurrimiento subterráneo. Se aplicó el método de Zekai Sen (2015), el cual se refleja en las siguientes ecuaciones:

3.2.1.5.4.1. Gradiente hidráulico

$$i = \frac{(H_1 - H_2)}{L}$$

Donde:

i : gradiente hidráulico, H_1 : ancho del tubo de flujo 1, H_2 : ancho del tubo de flujo 2 y L : longitud entre H_1 y H_2 .

3.2.1.5.4.2. Escurrimiento subterráneo

$$Q = T * i * L$$

Donde:

Q: escurrimiento subterráneo, T: transmisibilidad en m²/día, i: gradiente hidráulico,

L: longitud entre H₁ y H₂.

3.2.1.5.5. Relación aguas subterráneas/aguas superficiales

Se usaron piezómetros para determinar la relación río-acuífero, los cuales se introdujeron en los extremos de las márgenes del río, que conectan el agua subterránea con la atmósfera gracias a unas rejillas las cuales se enterraron por debajo del nivel del agua del río, ahí el agua ingresa y sube por el interior del tubo, hasta una altura equivalente a la presión del fluido en el terreno justo en el punto de conexión con el tubo, u orificio piezométrico (rejilla). La toma de datos se realizó 14 horas después de su instalación.



Figura 15. Instalación de mini-piezómetros.

3.2.1.6. Componente hidrogeoquímico

Para determinar el tipo hidro-químico del agua se realizó evaluación de los macro constituyentes utilizando los resultados químicos y la metodología de Diagrama de Piper el cual está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos: En uno de los triángulos se representan los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ sumados) y en el otro los aniones principales (CO_3H^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-).

Por tanto, cada análisis queda representado por tres puntos (los dos triángulos y el rombo). Debe considerarse que para su construcción es necesario que los iones estén reducidos a porcentaje de miliequivalentes por litro (meq.l^{-1}). A cada vértice de un triángulo le corresponde el 100% de un catión o un anión. Figura 4.

3.2.2. Calidad de agua

3.2.2.1. Parámetros *in situ*

Se tomaron muestras de agua en los pozos municipales de monitoreo para estudiar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD) y potencial redox), tomando como referencia los procedimientos para recoleta y análisis de muestras descritos por el *Standard Methods* (2017) y Manual de Procedimientos HACH DR 2010.

Tabla 6. Parámetros *in situ* y empleo de métodos analíticos para su análisis.

Parámetro	Método
Conductividad	Conductívimetro HACH, HI 98311
pH	pHmetro HACH, HI 98129
Temperatura	Termómetro
OD	Dissolved Oxygen TRACER Kit 1761
Potencial Redox	ORP HACH, HI98120

Standard Methods for the examination of water and wastewater., (2017) y Manual de Procedimientos HACH DR 2010.

3.2.2.2. Toma de muestras de agua

Se realizó un reconocimiento general del área de muestreo para la identificación de posibles fuentes de contaminación del área de estudio, así como los principales cultivos de la zona y actividades agroindustriales. Para la toma de muestras se hizo uso de procedimiento de recolección de muestras del Standard Methods for the examination of wáter and wastewater., (2017) para parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Los datos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua subterránea se tomaron de ocho (8) sitios de muestreos distribuidos en el área urbana del municipio de Villanueva. El análisis de muestras se hizo en laboratorio de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Se evaluaron 22 parámetros para determinar la calidad fisicoquímica, bacteriológica del agua y su composición química, tomando como referencia los parámetros de la Norma Técnica para la calidad del Agua Potable, (1995) y Norma Regional CAPRE, (1994).

Los datos de calidad de agua fueron obtenidos de muestras de agua subterránea recolectadas en dos jornadas de muestreo; en el mes de octubre de 2020 y febrero de 2021 para el análisis evaluativo de calidad del agua en dos temporalidades.



Figura 16. *Medición de parámetros in situ.*

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Componentes del modelo hidrogeológico conceptual

4.1.1. Componente climático

4.1.1.1. Precipitación

Los registros históricos de precipitación de 1975 a 2020 en condiciones climáticas normales muestran que la precipitación promedio anual en el municipio de Villanueva es de 1045 mm/año. Los valores mínimos corresponden al período seco, específicamente abril el mes con menos lluvia con 21.4 mm. Los meses con mayor precipitación se registran desde septiembre con 120.9 mm, alcanzando los valores más altos de 150.16 mm en octubre y noviembre 136.9 mm.

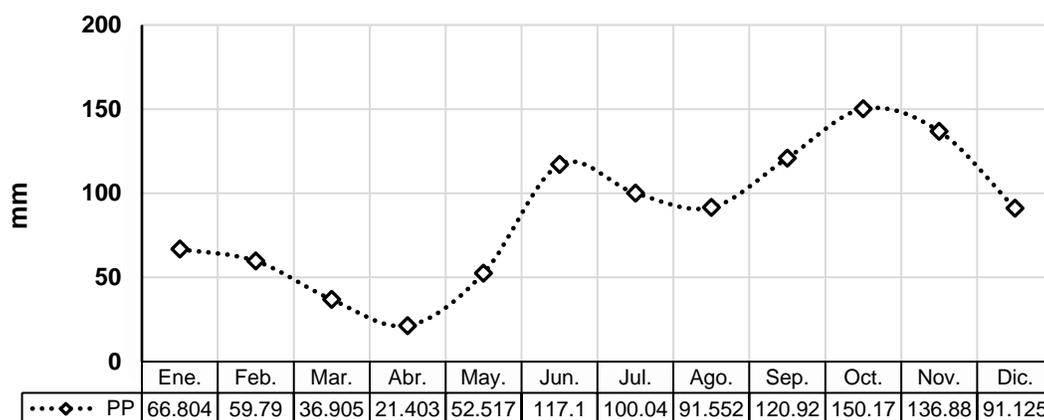


Figura 17. Datos de precipitación media. Período de datos de 1975-2020.

4.1.1.2. Temperatura

Los rangos de temperaturas mínimas y máximas oscilan en rangos de 20 a 35 °C. Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril, mayo y junio 28.02, 28.88 °C y 28.5 °C. Los valores de las temperaturas medias más bajas ocurren entre diciembre y enero con magnitudes que oscilan entre 24.53 °C y 24.7°C respectivamente. En la figura 18 se muestra las tendencias medias

mensuales, mínimas y máximas, tomando como referencia de la estación privada del sector industrial.

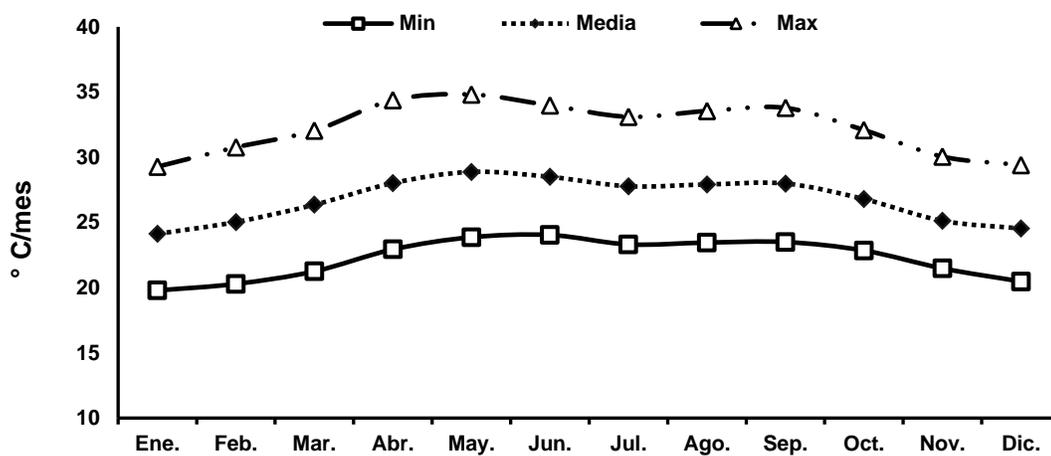


Figura 18. Temperatura mínima, media y máxima. Período de datos 1975-2020.

4.1.1.3. Evapotranspiración

Se obtuvo una evapotranspiración potencial de 1698.4 mm/año. Los meses de abril y mayo con 166 mm y 172 mm presentaron los mayores niveles de evapotranspiración potencial correspondiéndose con las mayores temperaturas (ver Figura 19). Los meses menos calurosos van desde noviembre hasta febrero. Los meses de noviembre 108 mm y diciembre 106 mm se presentaron los valores de evapotranspiración más bajos.

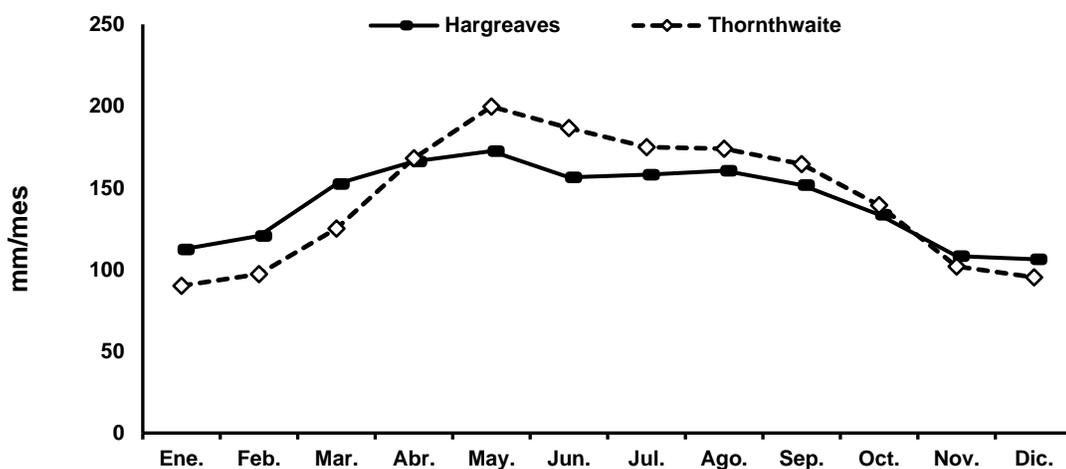


Figura 19. Evapotranspiración potencial. Período de datos de 1975-2020.

4.1.1.4. Balance hidrometeorológico

Los meses a partir de, febrero a septiembre presentan déficit hídrico, debido que las precipitaciones son iguales a los valores de ETR y menores a la ETP, por tanto, no existe almacenamiento del agua. Los meses posteriores están comprendidos en la época de mayores regímenes lluviosos (octubre-noviembre), la PP es mayor a la ETP, generando almacenamiento + excedentes de 16.57 mm en el mes de octubre y 28.65 mm para el mes de noviembre que podrán ser utilizados por las plantas, escorrentía superficial o recarga al acuífero. En diciembre (91.13 mm) y enero (66.68) los regímenes de lluviosa son más bajos con relación a los meses de octubre y noviembre, el agua almacenada que se generó en los meses de octubre (68 mm), noviembre (58 mm), diciembre (52.81) y enero (7.33) son utilizadas por las plantas en los meses posteriores de febrero a septiembre.

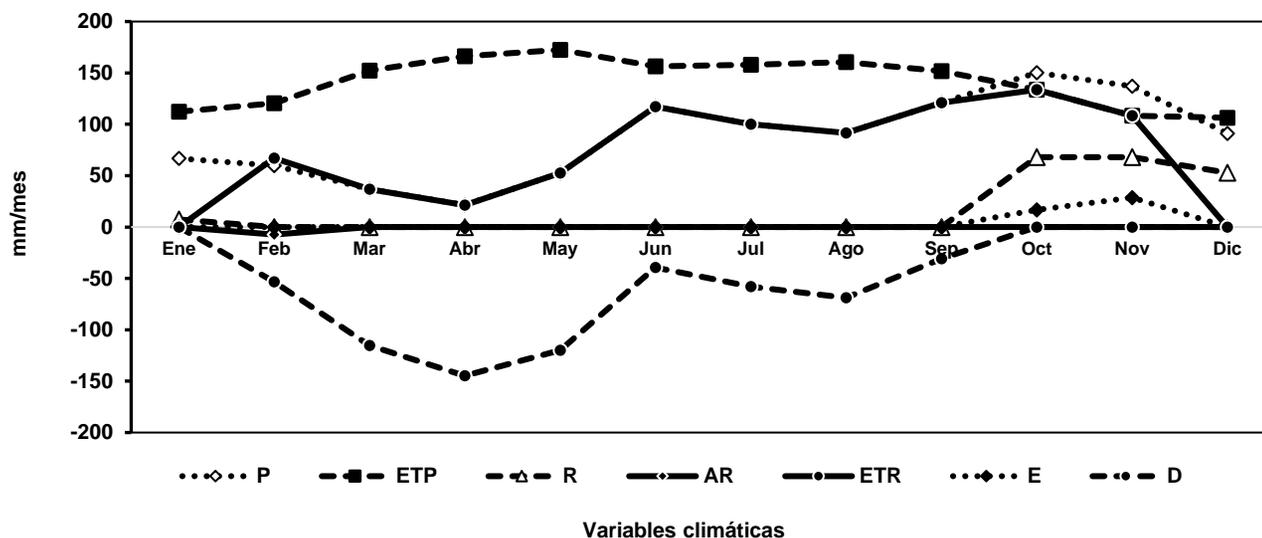


Figura 20. Balance hídrico usando el software InnerSoft v0.1.

Tabla 7. Balance hídrico usando el software InnerSoft v0.1.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P	66.68	59.79	36.91	21.4	52.52	117.1	100.04	91.55	120.92	150.17	136.88	91.13	1045.21
ETP	112.28	120.51	152.32	166.18	172.47	156.46	157.96	160.46	151.65	133.6	108.23	106.32	1698.44
P- ETP	-45.48	-60.72	-115.41	-144.78	-119.95	-39.36	-57.92	-68.91	-30.73	16.57	28.65	-15.19	-653.23
R	7.33	0	0	0	0	0	0	0	0	68	68	52.81	196.14
AR	0	-7.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.33
ETR	0	67.12	36.91	21.4	52.52	117.1	100.04	91.55	120.92	133.6	108.23	0	849.39
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.57	28.65	0	45.22
D	0	-53.39	-115.41	-144.78	-119.95	-39.36	-57.92	-68.91	-30.73	0	0	0	-630.45

4.1.2. Componente hidrológico

4.1.2.1. Caudales en sitios de interés

El Acuífero de Villanueva se ubica hidrográficamente en la subcuenca Ulúa Alta y Media de la cuenca Ulúa. La cuenca Ulúa se conforma de 21 subcuencas que cubren una superficie de 21,330.5 km².

El río Ulúa está ubicado aproximadamente a 5 km al sur de Villanueva. El río entra en la parte sur del Valle de Villanueva desde la parte alta del suroeste de la cuenca y fluye hacia el este. Al norte de la ciudad, varios arroyos pequeños desembocan hacia el valle los cuales se conocen como La Mina, El Pinto y Monte Alegre. Estas corrientes son intermitentes y solo fluyen durante fuertes tormentas eléctricas o durante el invierno.

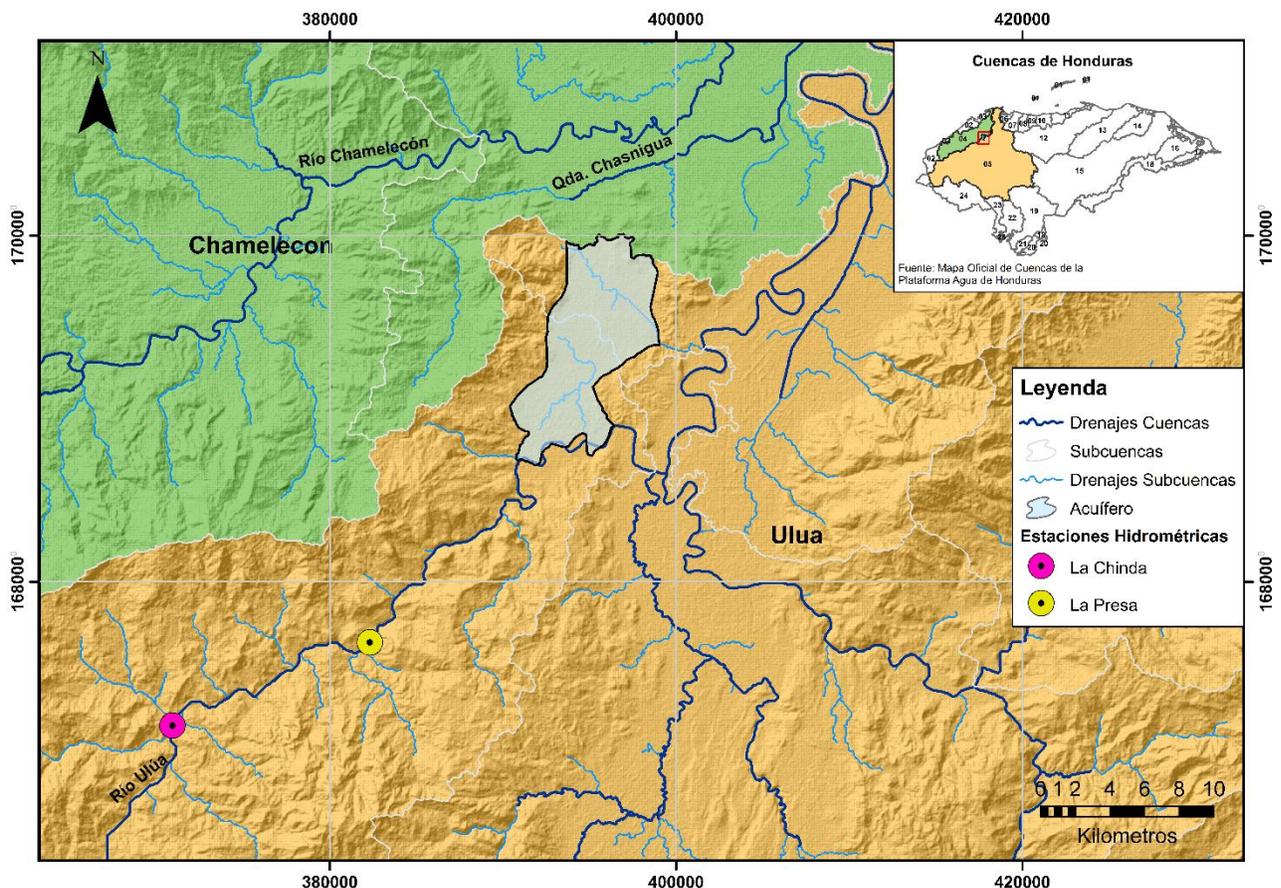


Figura 21. Ubicación de estaciones hidrométricas.

4.1.2.2. Caudal anual

El río Ulúa tiene un caudal medio anual de 196.4 m³/s, en la parte alta de la estación de aforo La Chinda su caudal medio es de 193.8 m³/s; en la estación de aforo La Presa aguas más abajo tiene 199.1 m³/s. La diferencia de caudal medio entre las estaciones corresponde a 5.3 m³/s, esto se explica por los caudales generados producto del drenaje producido por la cuenca.

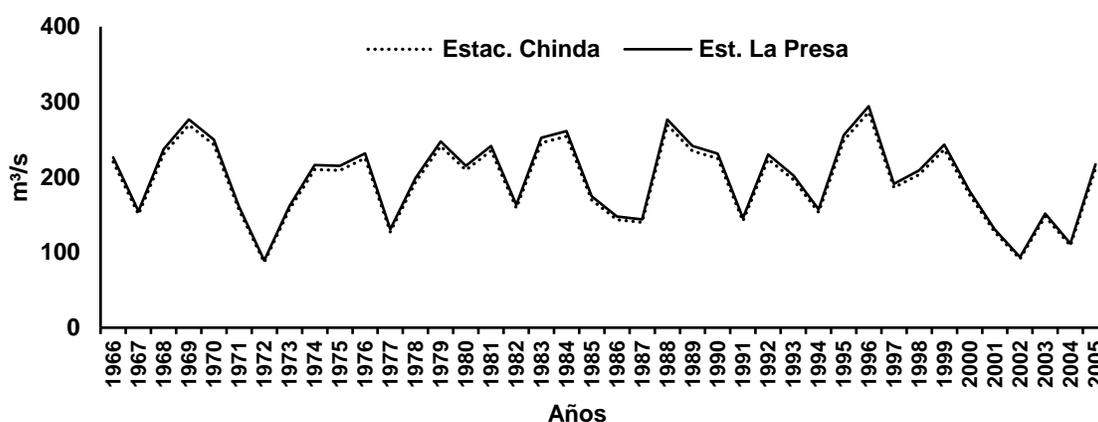


Figura 22. Caudales medio anual (m³/s) en estaciones hidrométricas; La Chinda y La Presa. Período de datos de 1966-2005.

De acuerdo con el registro histórico de caudales, el caudal máximo que se presentó en la estación La Chinda fue de 1078.5 m³/s en el año 1995, en el mes de septiembre y el caudal mínimo registrado se presentó en el mes de abril en el año de 1998 con 13.00 m³/s. En esa misma temporalidad la estación de aforo La Presa reportó un caudal máximo de 1108 m³/s y un caudal mínimo de 13.4 m³/s.

4.1.2.3. Caudal mensual

El río Ulúa escurre con caudales que van desde los 29.96 m³/s hasta los 424.12 m³/s. Las principales crecidas del río Ulúa se presentan a partir de junio, mismo mes en que se incrementan las precipitaciones (ver Figura 23). Entre la estación la Chinda y La Presa, el río Ulúa no recibe agua de afluentes importantes. El río Ulúa presenta

regímenes de escurrimientos bien definidos con crecidas fuertes en junio 275.2 m³/s, alcanzando su caudal máximo en septiembre hasta los 519 m³/s. En el mes de abril su caudal se ve reducido llegando a drenar únicamente 29.6 m³/s.

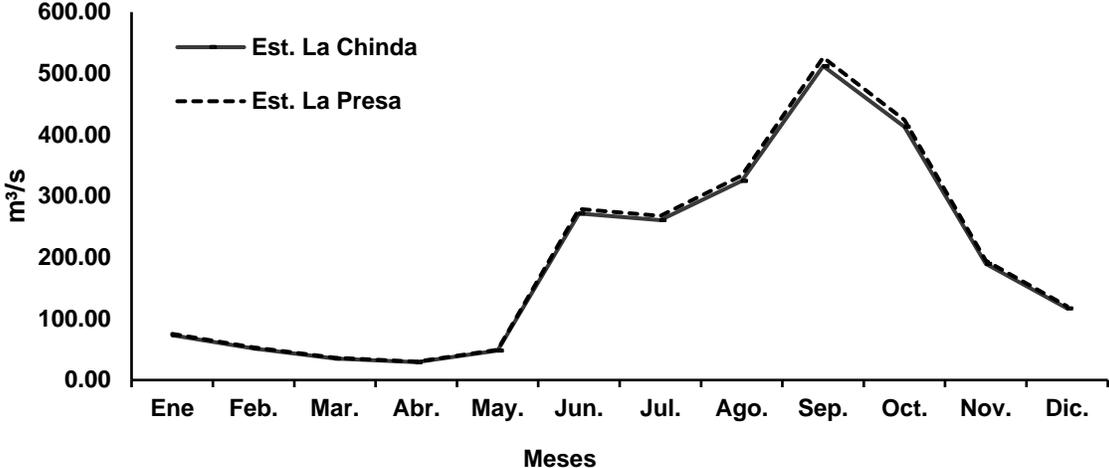


Figura 23. Caudales medio mensual (m³/s) en estación hidrométrica; La Chinda y La Presa. Período de datos de 1966-2005.

4.1.3. Componente estático (roca y suelo)

4.1.3.1. Medio geológico

Desde el punto de vista geológico el acuífero de Villanueva se puede distinguir que se localiza sobre dos litozonas importantes:

Los sitios visitados en la zona sur oeste del acuífero 102, 103, 104, 107 y 105 está formada por rocas volcánicas de la formación Matagalpa (Tm) y depósitos de roca calizas de la formación grupo Yojoa (Ky). El graben está delimitado por un sistema de fallas paralelas entre sí y orientadas a lo largo del valle de inundación. Se identificó un segundo sistema de fallas perpendiculares y/o diagonales al primer sistema.

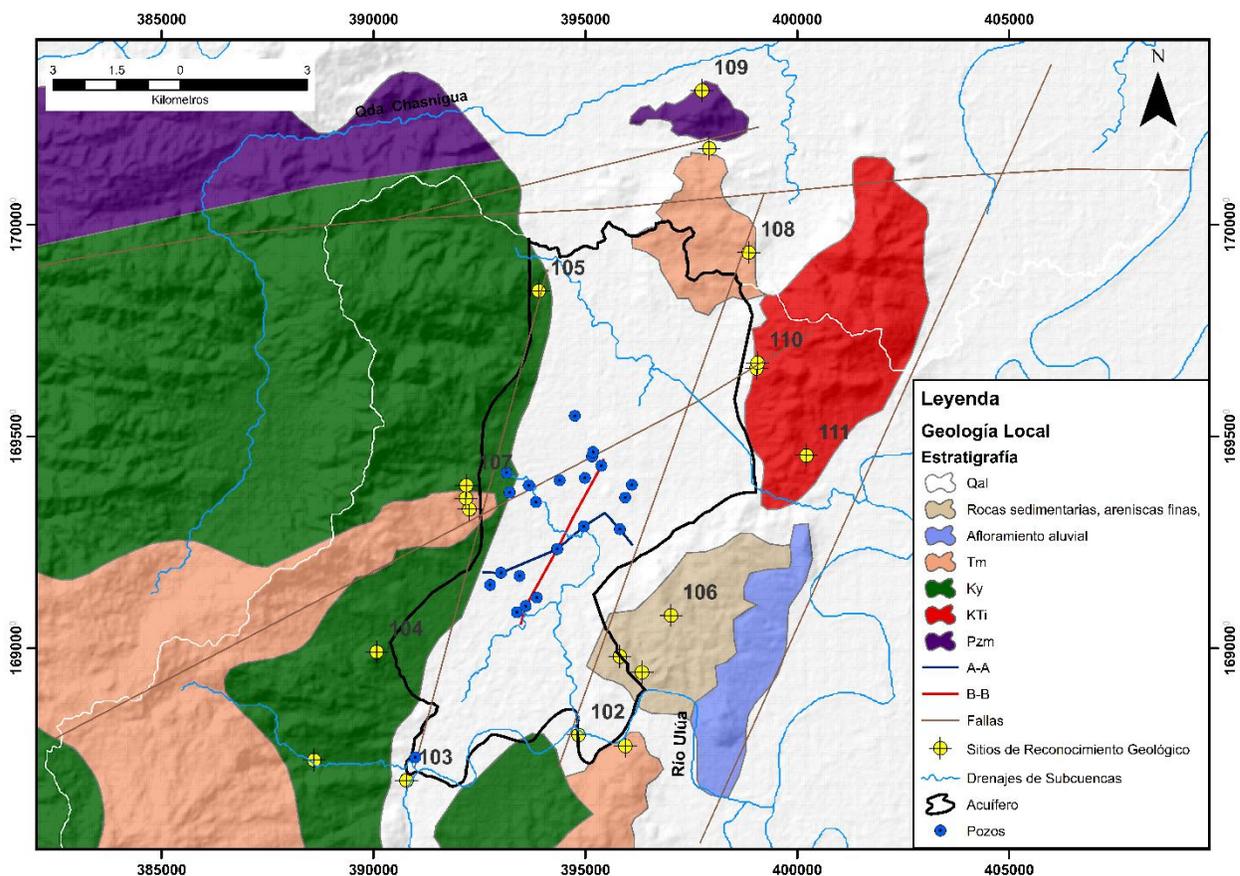


Figura 24. Estratigrafía del acuífero de Villanueva.

Los sitios visitados hacia el nor-este 109, 108, 110, 111, 106 lo conforman afloramientos aluviales, rocas de lavas andesíticas fisuradas de la formación Matagalpa (Tm), afloramientos de rocas batolítico-granítico formados posteriormente a la formación Matagalpa (Kti) y posterior a la formación Matagalpa afueras del área del acuífero se identificó rocas de la formación Cacaguapa (Pzm). El valle este compuesto por materiales aluviales (Qa) de formación de tipo recientes.

La caracterización geológica, e identificación de tipo de rocas, fallas geológicas, identificación de rasgos estructurales se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Descripción geológica de los sitios de reconocimiento de la geología local.

Sitio	Coordenadas UTM (WGS 84)		Reconocimiento de la geología
	Este	Norte	
102. Río Ulúa	394837	1687950	En este sitio se identificaron grietas de enfriamiento finas producto de la actividad volcánica de la formación Matagalpa. Falla vertical con 170° azimut de rumbo, paralela al graben. En la parte sur del río Ulúa se identificó afloramientos aluviales formados por limos, areniscas finas, sedimentadas, conglomerados en dirección sureste. También se encontró materiales que han sido arrastrados por el río de la cuenca alta conformados por; materiales aluviales, pómez de basalto, lavas de la formación Matagalpa, tobas consolidadas, conglomerados antiguos, andesitas, Padre Miguel, material piro clástico, alteraciones hidrotermales, coladas basálticas, rocas sedimentarias del grupo Valle de Ángeles de la formación Villanueva.
103. El Ocote	390777	1686879	Sobre este sitio predominan los escombros de calizas de color gris con espesores hasta de 60 m. Se identificaron rocas masivas de caliza con vetas de cuarzo incrustado y fisuras superficiales. Muchas de estas rocas fracturadas se encontraron selladas, debido que son rocas bastante solubles haciendo que el carbonato de calcio se recristalizará y sellará las fracturas de las rocas.
104. Pueblo Nuevo	388597	1687353	Este sitio se encontró conformado por afloramientos de estratos masivos de caliza grises de tipo rocas lutitas calcáreas, calizas, margas, dolomitas de la formación Yojoa (Ky).
107. Villanueva	392257	1693282	En esta zona se identificó rocas ígneas plutónicas de la formación Matagalpa (Tm) formándose en las profundidades compuesta por cuarzo, feldespato, plagioclasas o intrusivo ácido. Se observó que estas rocas volcánicas fueron cortadas

			por la falla que se desplaza desde el sitio Catatao. Estas rocas se encontraron grietadas y fracturadas, creando fisuras y conductos de transmisión de agua.
107. Catatao	392257	169328	En este sitio se localizó la falla geológica de tipo tensional, lo que indica que se está abriendo constantemente, por tal razón provoca que se ensanche el valle, el rumbo de la falla tiene un azimut de 170° con buzamiento hacia el este y ángulo de buzamiento 66°. El relleno de la falla lo conforman las limolitas y hematitas (óxidos de hierro).
105. Zip-Buena Vista	393899	1698441	Se observó que los procesos de la formación de la cal fueron acelerados por la misma falla, permitiendo infiltración de agua que facilitó a oxidar más rápido la roca.
109. El Milagro	397749	1703174	En la parte norte, a las afueras del área del acuífero posterior a la formación Matagalpa se identificó la formación Cacaguapa (Pzm). Son rocas metamórficas de esquistos.
108. La sabana	397920	1701804	En este sitio se ubica La Loma San Carlos, y lo conforman rocas de lavas andesíticas fisuradas de la formación Matagalpa (Tm).
110. El Plan	399063	1696742	Se identificaron afloramientos de Batolitos granítico – biotítico. Rocas de formación de tipo intrusivo ácido (Kti).
111. San Manuel	398853	1699348	Este sitio con ubicación en el municipio de San Manuel se identificaron afloramientos de rocas de tipo batolítico-granítico que se formaron posteriormente a la formación Matagalpa, dejando al descubierto rocas graníticas sobre la superficie que contienen gran cantidad de micas. Estas son rocas de tipo intrusivo ácido (Kti).
106. Pimienta	397020	1690776	En el sector del sitio de reconocimiento se encontraron afloramientos aluviales antiguos de la misma composición de los sedimentos del río Ulúa, conglomerados mezclados con limo, arcilla como consecuencia de un bloque intermedio que subió y desplazó al río más hacia el sur.

Las piedras andesíticas basálticas de la formación Matagalpa (Tm) son rocas volcánicas compactadas, duras, impermeables con poca porosidad. Se considera que estas formaciones son capas de rocas bases desde el punto de vista hidrogeológico. Estas rocas también muestran el desarrollo de juntas y fracturas por los movimientos tectónicos. El potencial del agua subterránea varía y depende de la anchura de las fracturas.

Las rocas de caliza de la formación grupo Yojoa (Ky) identificadas en el lado suroeste del área de estudio han sido expuestas a fracturaciones, lo que hace que admitan con facilidad el agua de la lluvia y las escorrentías superficiales como consecuencia de la

disolución de los carbonatos. Estas rocas poseen permeabilidad debido a sus grietas y fisuras.

La formación aluvial (Qa) que rellena el valle de Villanueva son depósitos aluviales cuaternarios a consecuencia de la actividad erosiva del río Ulúa que cruza el territorio hondureño. Estas formaciones están compuestas por sedimentos permeables como arena fina y arena gruesa con arcilla. El potencial de agua subterránea varía y depende de la dimensión y espesor de sedimentaciones cuaternarias y tamaño del gránulo, en el valle de Villanueva se identificaron espesores hasta de 100 m. Esta formación está distribuida en toda el área del acuífero, lo que indicó el desarrollo extenso de agua subterránea.

Tabla 9. *Unidades geológicas del área de estudio.*

Era	Período	Época	Símbolo	Nombre de la Formación	Litología
Cenozoica	Cuaternario	Holoceno	Qa	Río, llanura formada por dt.	Arena, grava con arcilla
Cenozoica	Cenozoica Terciario	Eoceno-Paleoceno	Tm	Matagalpa	Basaltos y andesitas alterada hidrotermal
Mesozoico	Jurásico	Inferior	Ky	Grupo Yojoa	Piedra caliza, piedra arcillosa
Paleozoico			Pzm	Cacaguapa Esquisto	mica-esquisto, cuarzo con mármol, meta-diabese

4.1.3.2. Pendiente y geomorfología del área de estudio

4.1.3.2.1. Pendiente

Las pendientes en el valle van de 5% hasta 32%. Los rangos de pendiente entre 0-5% le corresponde un área de 52.75 km², pendientes entre 6-12% ocupan un área de 5.93 km², valores de pendiente entre 13-18% le corresponde 1.49 km² de superficie. Las pendientes más altas entre 19-24% ocupan las menores áreas con 0.45 km².

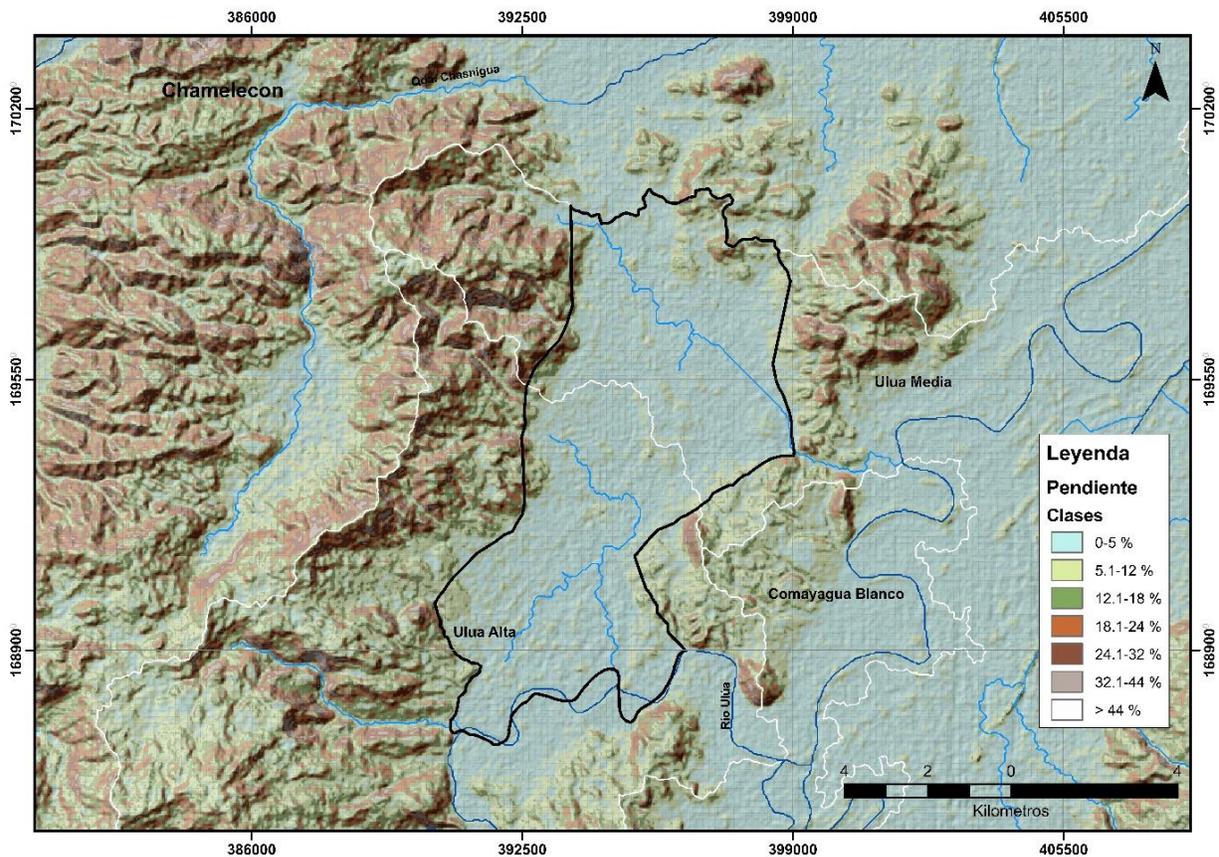


Figura 25. Clases de pendientes (%) en el área de estudio.

4.1.3.2.2. Geomorfología

De acuerdo con el mapa de geomorfología del municipio de Villanueva se identificó que el 50% del área total está formada por relleno acumulado en el valle, producto de la erosión fluvial y de las tierras altas circundantes. El 23.08 % corresponde a la

superficie adyacente al curso fluvial que suele inundarse y el 14.28% a laderas erosionables con pendientes de cinco hasta 15°. El área del cono aluvial no activo le corresponde un 9.46%, en esta área se encontraron depósitos de sedimentos de ríos y quebradas (arena, gravas, rocas) que posteriormente quedo abandonada creando un relicto.

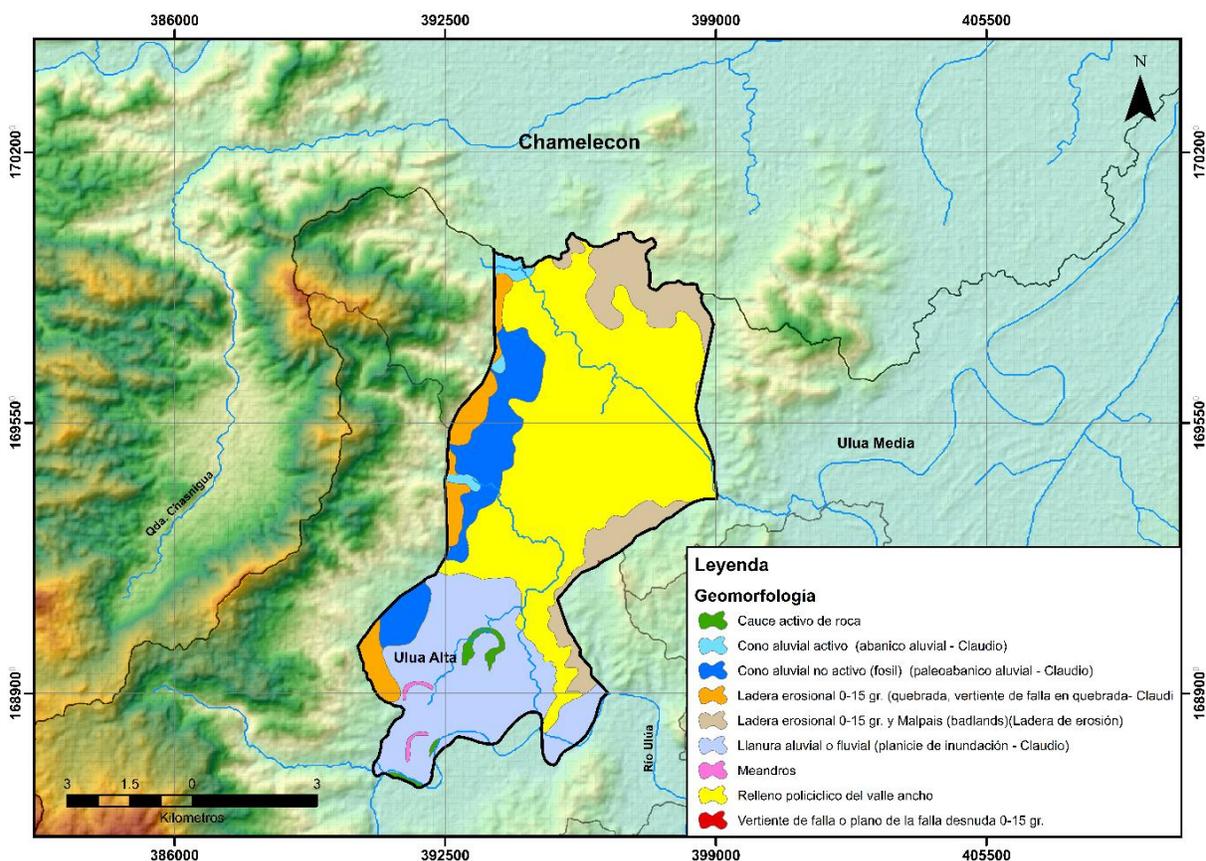


Figura 26. Unidades geomorfológicas del acuífero de Villanueva.

4.1.3.3. Suelos y cobertura vegetal

4.1.3.3.1. Suelos

Para la clasificación de los tipos de suelo se hizo uso de estudios locales y nacionales de suelo hecho por Simmons que cubren la zona de estudio. Los suelos más extensos en el área Urbana de Villanueva lo forman los Suelos de los valles cubriendo la mayor superficie de área con 54.69 km². Los Suelos de los valles son aptos para el cultivo

intensivo, presentan en la capa superficial textura franco-limoso a más fino, franco arenoso a franco arcilloso y hasta más grueso que el franco arenoso.

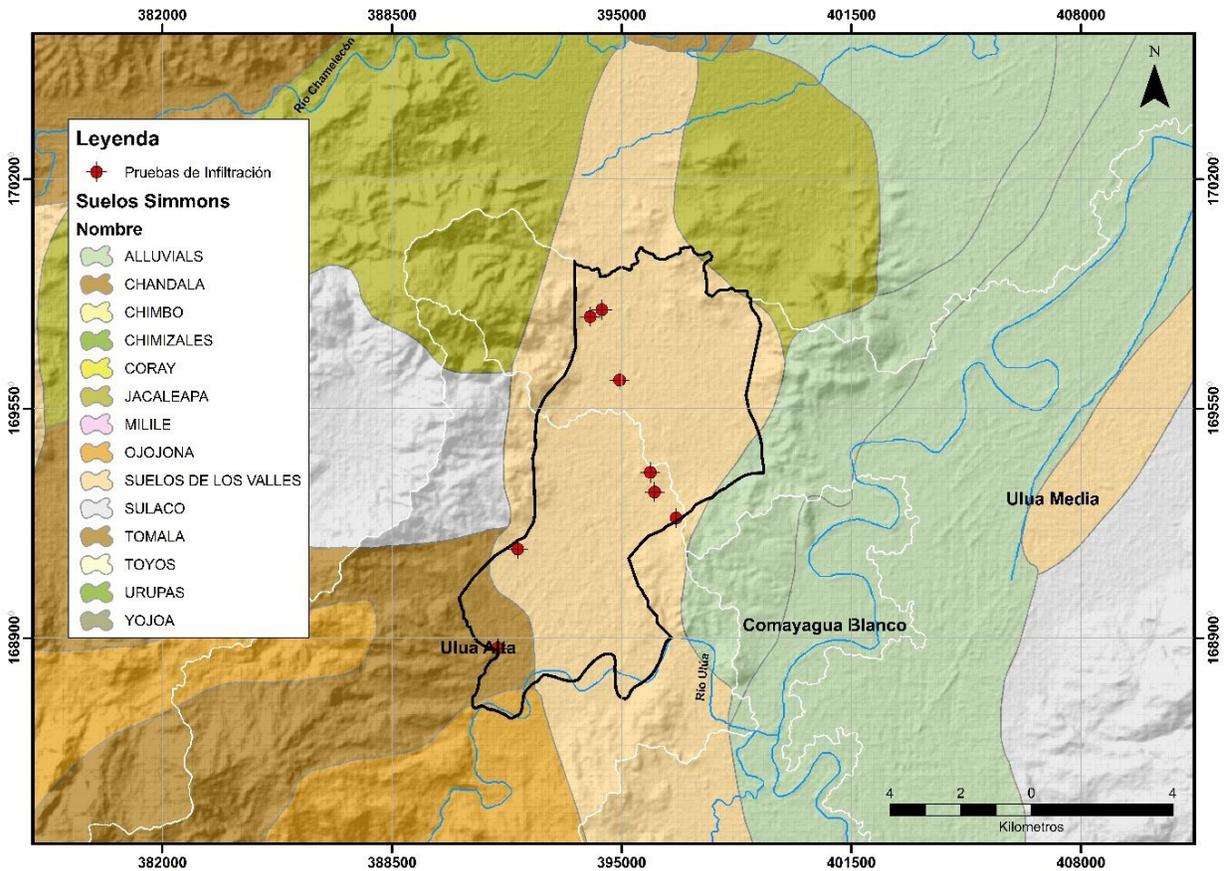


Figura 27. Clasificación de suelos. Simmons y Castellanos (1959/1968).

Existen otras áreas de suelo tipo Chandala que cubren un área 4.68 km². Los suelos tipo Chandala se forman sobre calizas y pizarras bien interestratificadas, ocupan un relieve colonizo a escarpado con muchas laderas de más de 50% de pendiente. La textura del suelo superficial oscila de franco arcilloso a franco arenoso, muchas áreas son pedregosas y son frecuentes los afloramientos rocosos.

Los suelos de tipo aluviales, Jacaleapa y Ojojona se presentan el menor porcentaje respecto al área total considerándose de muy poca presencia en el acuífero, debido que los suelos aluviales en el valle de sula se ubican en las llanuras circundantes del río Ulúa.

4.1.3.3.2. Cobertura vegetal

De acuerdo con el mapa de cobertura vegetal del ICF (2018) y a la validación de coberturas en sitios, se determinó que el mayor uso del suelo está cubierto por pastos y cultivos ocupando un área 20.65 km², en orden descendente la segunda cobertura que predomina en el acuífero corresponde a caña de azúcar con 19.69 km². El tamaño del área urbana continua representó un área de 13.09 km². Estas coberturas predominan debido que la ciudad de Villanueva el uso del suelo es utilizado con fines residenciales, industriales y agrícolas. El bosque latifoliado solo cubre 3.18 km² y vegetación secundaria decidua 1.33 km² del total del área del acuífero.

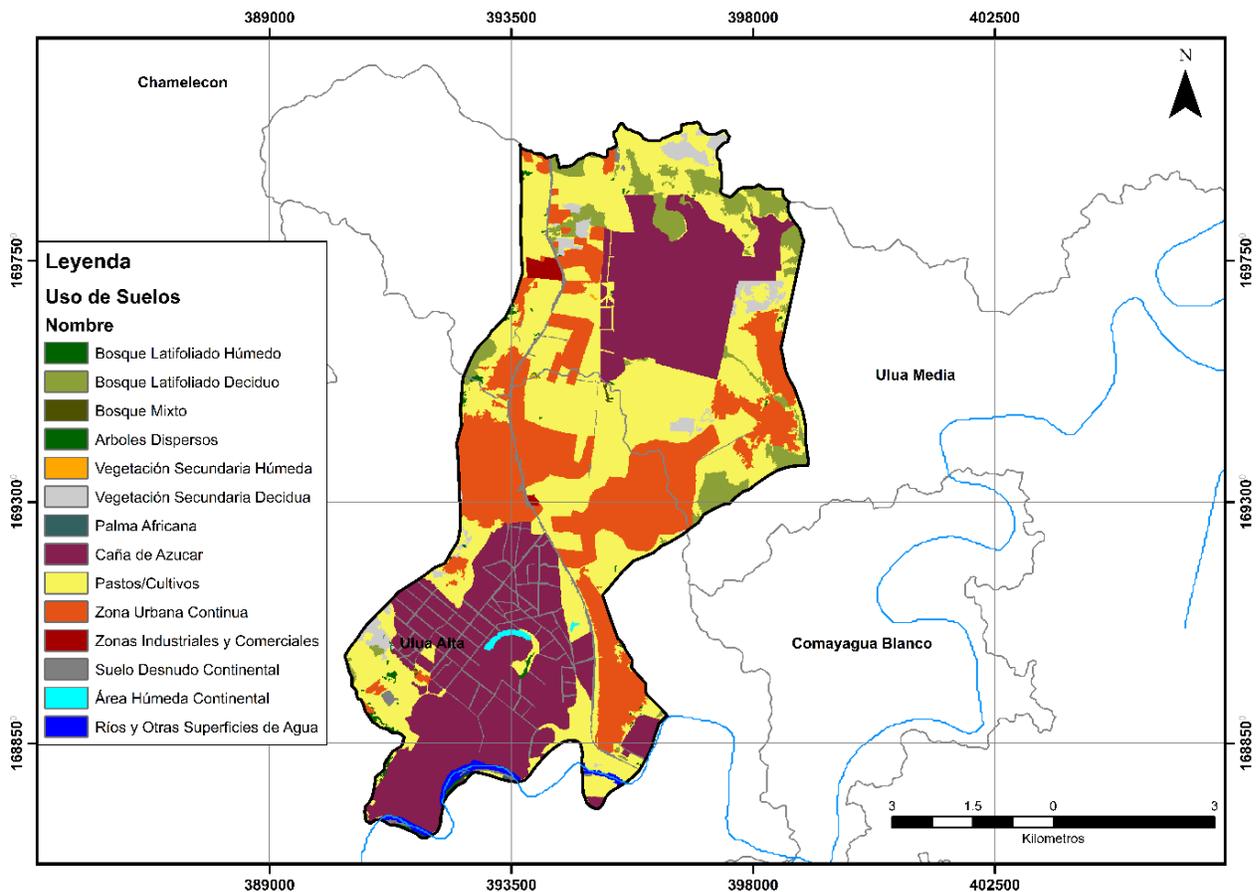


Figura 28. Uso de suelo en el área de estudio. Elaborado de la base de datos oficial: Uso de Suelos ICF (2018).

4.1.4. Componente hidrogeológico

4.1.4.1. Medio hidrogeológico

4.1.5.1.1. Niveles estáticos del agua

El nivel recuperado del acuífero o nivel estático del agua se tomó en su mayoría utilizando pozos municipales de producción, debido que no existen áreas exclusivas de investigación y en donde se empleen pozos de observación para fines investigativos.

Los pozos que presentaron mayor diferencia del nivel estático del agua subterránea entre en mínimo y el máximo observado durante el período de monitoreo fue el pozo Cañeras 4 (8.1 m) y el pozo Independencia 1 (6.2 m). Los pozos que presentaron la menor diferencia de NEA observado entre el mínimo y el máximo fueron los pozos Cañeras 5 (1.6 m) y Pozo Terraplén (1.5 m), estos pozos se ubican en la zona sur oeste del área de estudio.

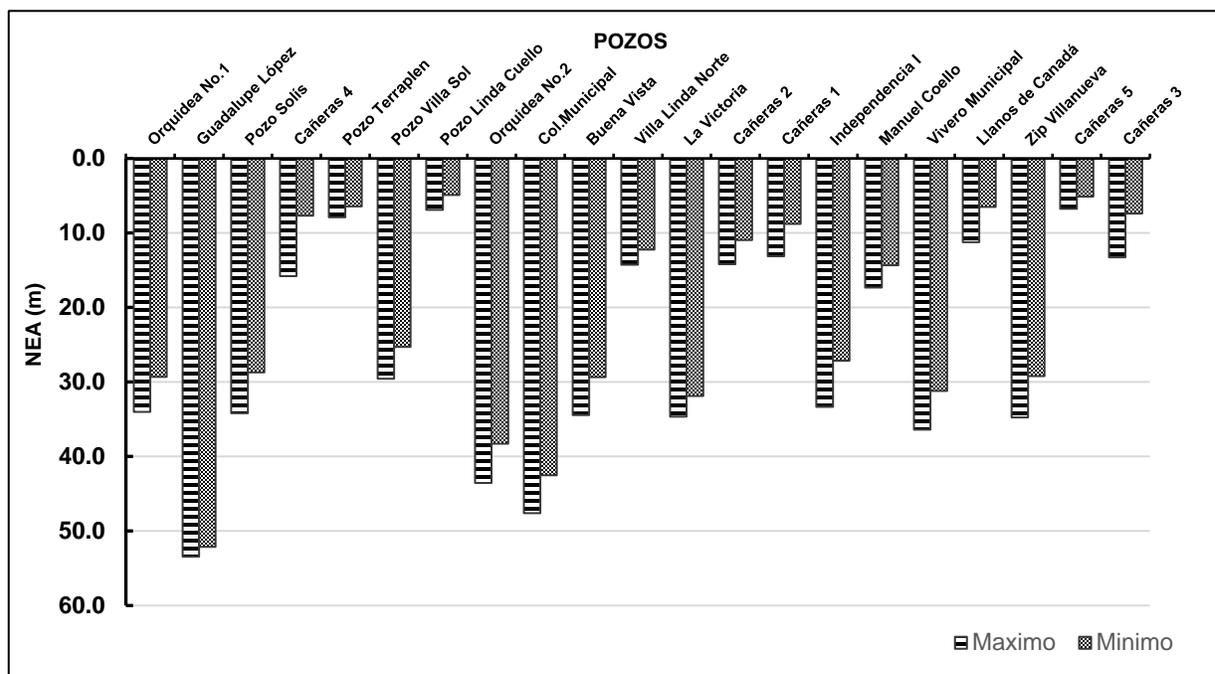


Figura 29. Fluctuaciones de NEA de pozos. Período de monitoreo mayo-octubre 2021.

4.1.5.1.2. Espesor del acuífero y profundidad de los pozos

En la figura 30 se observó una tendencia con respecto al comportamiento de la profundidad de pozos y espesor del acuífero saturado o lámina de agua atravesada en m. Este comportamiento no se reflejó en los pozos Cañeras 6, 2 y 3 por intenso bombeo al que están sometidos.

De igual manera no se observó correlación entre la profundidad y el espesor del acuífero en los pozos Manuel Cuello, Guadalupe López, Orquídea No. 2, Villasol y Col. La Victoria, esto se debe principalmente por el intenso bombeo y la carga de pozos ubicados en el área urbana de la ciudad, donde los rendimientos de agua subterránea son bajos por estar formados por materiales de actividad volcánica, arcilla y limo por lo que las mediciones podrían no reflejar el nivel recuperado del acuífero o nivel estático.

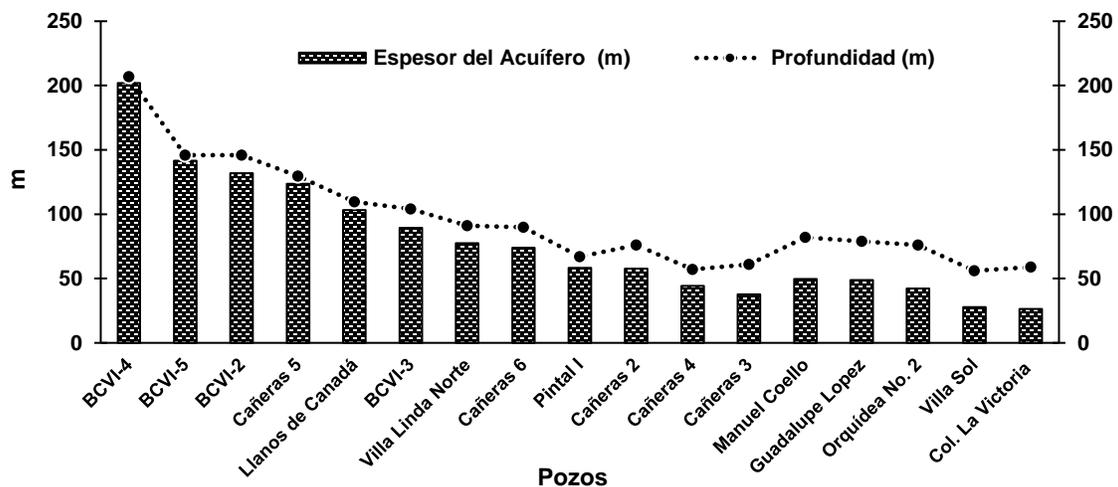


Figura 30. Correlación entre la profundidad de pozos en el valle y espesor del acuífero.

4.1.5.1.3. Unidades hidroestratigráficas

Los materiales fluviales se pueden subdividir en dos ambientes sedimentarios: Depósitos fluviales del río Ulúa (zona sur) y depósitos enterrados de mayor edad por

los materiales del margen de los valles aluviales. Estos depósitos se componen de espesores interestratificados discontinuos de origen aluvial y fluvial formados por arenas, limos, arcillas y gravas erosionadas de tierras altas circundantes.

a. Perfil hidrogeológico transversal norte-sur (B-B)

Los espesores de materiales fluviales se ubican hacia el lado sur del acuífero, con capas intercaladas de la granulometría variada desde arcilla, limo y arenas finas en la zona limitante con el río Ulúa. En la figura 31 se aprecia un espesor de arena fina intercalada con limo de 40 m y 45 m de espesor de arena fina, media y gruesa hasta una profundidad de 100 m. Estas características hidrogeológicas se relacionan a los materiales encontrados en los cortes geológicos formados por; limos, arenisca semi-sedimentada, conglomerados resistentes a la erosión observados en el sitio 102 del lado sur del acuífero.

b. Perfil hidrogeológico transversal este-oeste (A-A)

El límite oeste del acuífero está constituido por el lecho rocoso compuesto por materiales de caliza del grupo Yojoa (Ky). En dirección oeste a este los materiales litológicos se componen dentro del margen del valle aluvial por arenas, limos, superpuestas de depósitos de arenas suspendidas. Los depósitos del margen del valle son de naturaleza limitada y no pueden producir suficientes suministros de agua subterránea.

Actualmente se encuentran 7 pozos municipales dentro del margen del aluvión del valle. La producción de agua de estos pozos oscila entre 11 y 177 GPM, con un rendimiento promedio de 46.67 GPM. Tres pozos municipales que operaban en el pasado (LV, ZV, VL) junto al pozo Guadalupe López y Gran Villa I proporcionaban rendimientos promedios de 125.05 GPM.

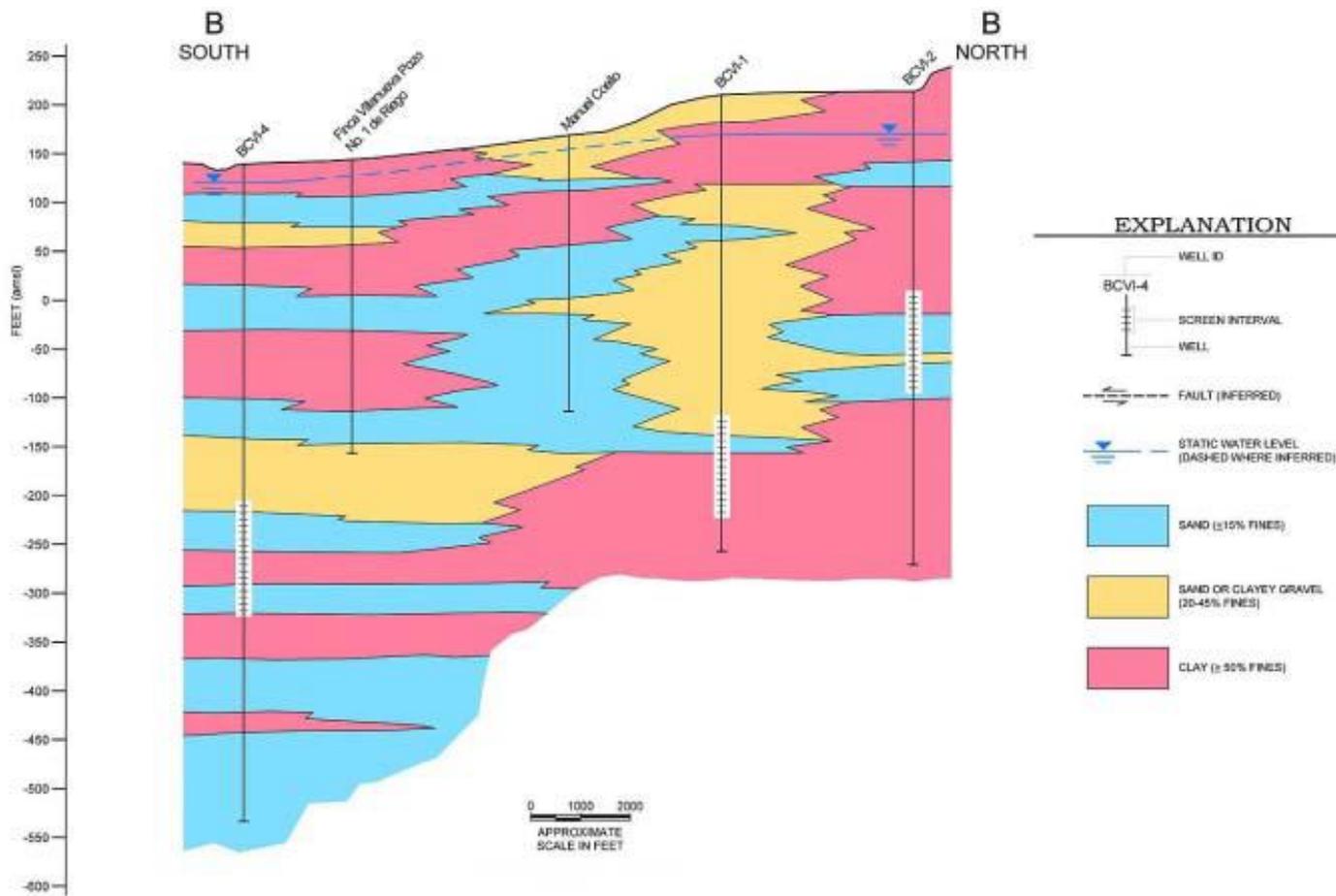


Figura 31. Perfil estratigráfico norte-sur del Acuífero de Villanueva (Brown and Caldwell, 2002).

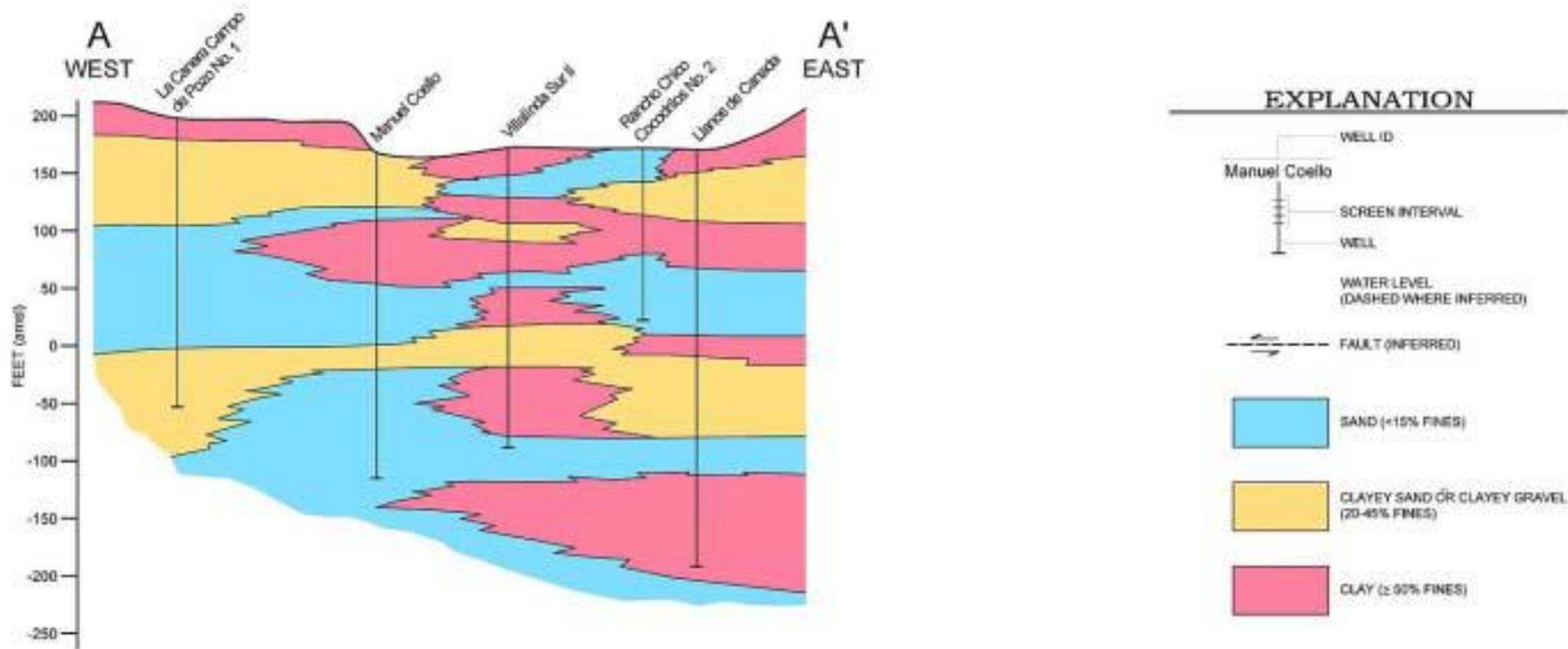


Figura 32. Perfil estratigráfico este-oeste del Acuífero de Villanueva (Brown and Caldwell, 2002).

Los materiales litológicos encontrados en el valle son de origen aluvial con capas de materiales compuestos principalmente por arcillas y arenas finas, con espesores superpuestos de arcilla con arena y grava.

Tabla 10. *Columna estratigráfica norte-sur.*

Perfil	Espesor (Ft)	Profundidad (Ft)	Formación	Litología
B-B	40	0-40	Qa	Arcillas finas – arcilla con arena y grava
B-B	100	40-140	Qa	Arcillas finas - arenas finas – arcilla con arena y grava
B-B	150	140-290	Qa	Arenas finas - arcillas finas – arcilla con arena y grava
B-B	150	290-440	Qa	Arcilla fina – arcilla con arena y grava - arenas finas
B-B	50	440-490	Qa	Arcillas finas - arenas finas
B-B	150	490-640	Qa	Arenas finas - arcillas finas

Tabla 11. *Columna estratigráfica este-oeste.*

Perfil	Espesor (Ft)	Profundidad (Ft)	Formación	Litología
A-A	20	0-20	Qa	Arcillas finas
A-A	80	20-100	Qa	Arcilla con arena y grava - arenas finas - arcillas finas
A-A	100	100-200	Qa	Arenas finas - arcillas finas - arcilla con arena y grava
A-A	100	200-300	Qa	Arenas finas – arcilla con arena y grava - arcillas finas
A-A	100	300-400	Qa	Arcillas finas - arenas finas

4.1.5.1.4. Recarga de agua subterránea

4.1.5.1.4.1. Recarga directa por precipitación según tipo de suelo

De acuerdo con los valores de cálculo por el método analítico de Schosinsky, (2006), la recarga directa por precipitación para el área de los Suelos de los Valles es de 5.54 Mm³/Anual y para el área de los suelos de tipo Chandala es de 0.15 Mm³/Anual.

Tabla 12. Valores de recarga por tipo de suelo. Método analítico Schosinsky, (2006).

Tipo de Suelo	Área cubierta (m ²)	Recarga Potencial (m)	Recarga Total (Mm ³ /Anual)
Suelo de los Valles	54,698,625.60	0.1012599531	5.54
Suelo Chandala	4,682,349.15	0.031648689	0.15
Total			5.69

4.1.5.1.4.1.1. Pruebas de infiltración

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración se determinó que los suelos de los valles presentan la mejor permeabilidad por su textura superficial franco-limoso a más fino, franco arenoso a franco arcilloso y por cubrir el 89.8% del área total de acuífero. La permeabilidad de este tipo de suelo se mantuvo en la clasificación de moderadamente rápida en cinco pruebas de infiltración realizadas, obteniendo un índice de permeabilidad promedio de 11.32 cm/h.

La composición granulométrica de los suelos tipo de los valles corresponden a arena, limo y arcilla. Estos materiales favorecen la infiltración de agua, por lo que el coeficiente de infiltración en estos suelos suele ser alto. Para el caso de los ensayos de pruebas de infiltración El Pinto presentó mayor Kfs con 14.07 cm/h, Col. 21 de Abril 12.96 cm/h y Gracias Dios 11.76 cm/h, indicando que estas áreas son más favorables para la recarga hídrica subterránea.

Tabla 13. Capacidad de infiltración en suelos de los valles.

Sitio	Tipo Prueba	Textura	Kfs (cm/h)	Kfs (mm/d)
Col. 21 abril	Cilindro	Franco Arenoso-limoso	12.96	679.05
Becamo	Cilindro	Arcilloso	1.86	
Gracias a Dios	Cilindro	Franco Arenoso-limoso	11.76	
El Pinto	Cilindro	Franco Arenoso-limoso	14.07	
La Villareal	Cilindro	Franco	6.48	
Suma			45.27	
Promedio			11.318	

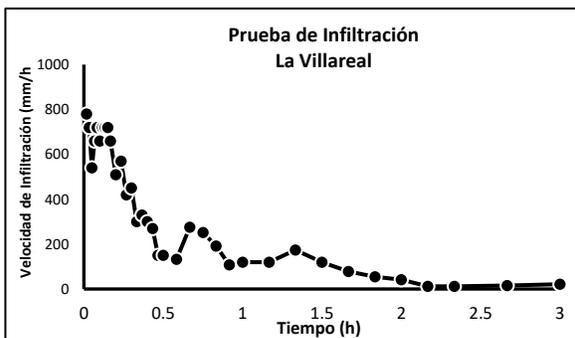
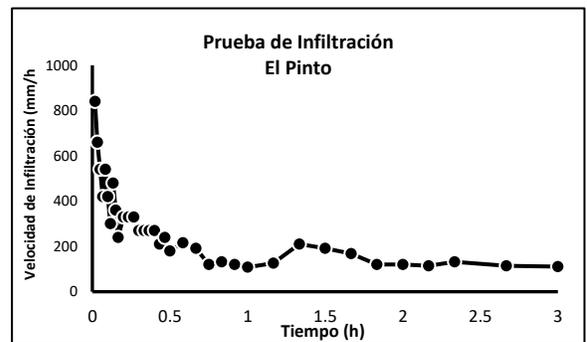
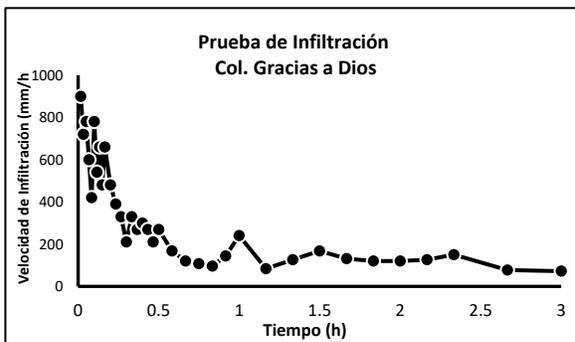
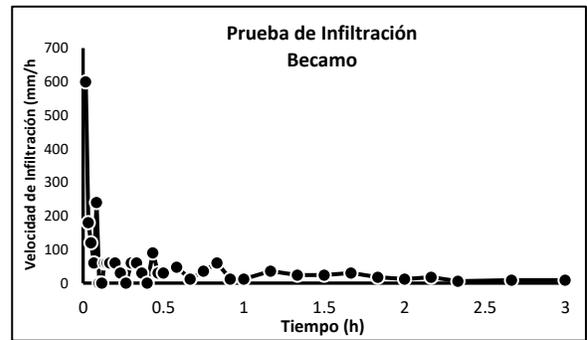
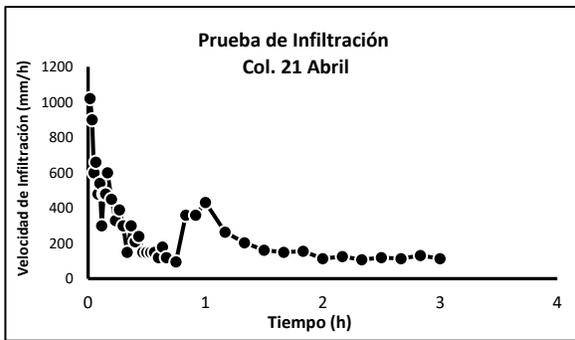


Figura 33. Prueba de infiltración en suelo tipo de los Valles.

Según los datos obtenidos de dos pruebas de infiltración que se realizaron en los suelos tipo Chandala se determinó que la infiltración de agua en estos suelos es moderada, debido que en su textura tienen bastante contenido de arcilla, por tanto, el índice de permeabilidad en las dos pruebas no superó los 2.6 cm/h de infiltración. La prueba en el sitio Zopiloco y no se empleó para el cálculo debido que esta no logró estabilizarse.

Los suelos de tipo Chandala se caracterizan por presentar altos porcentajes de arcilla en su composición granulométrica, por lo que dificulta la infiltración del agua en las áreas donde el agua se infiltra. Las pruebas de infiltración realizadas en las áreas de tipo de suelo Chandala demostraron baja capacidad de infiltración con 2.43 Kfs (cm/h) para la prueba de infiltración Cutuquito y 2.61 Kfs (cm/h) Col. La Bendición. Estas áreas no son aptas para la recarga hídrica del acuífero de Villanueva por su elevado contenido de arcilla presente en el suelo.

Tabla 14. Capacidad de infiltración con base en el factor estimado de prueba de infiltración en suelos tipo Chandala.

Sitio	Tipo Prueba	Textura	Kfs (cm/h)	Kfs (mm/d)
Col. La Bendición	Cilindro	Franco, Arcilloso	2.61	151.2
Cutuquito	Cilindro	Franco, Arcilloso	2.43	
Suma			5.04	
Promedio			2.520	

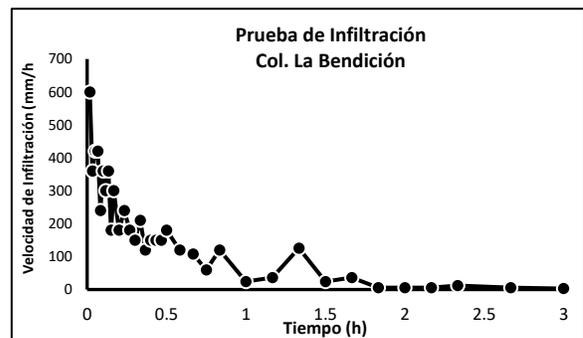
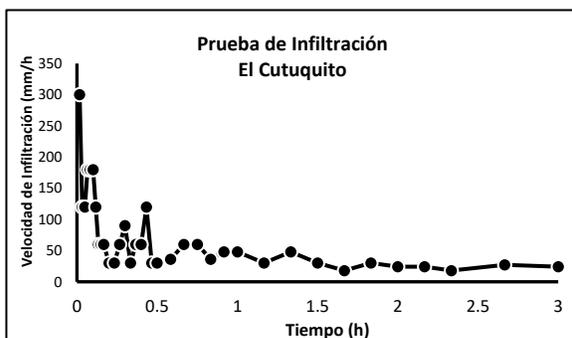


Figura 34. Prueba de infiltración en suelo tipo Chandala.

4.1.5.1.4.2. Recarga por aporte de ríos

Tomando los caudales históricos diarios del río Ulúa desde el período 1966 al 2005, se obtuvo una recarga anual de 2.78 m. Los altos valores de recarga por el cauce del río Ulúa están asociados al régimen pluvial ya que sus principales caudales se producen por aportes de intensas lluvias caídas sobre la cuenca Ulúa durante la estación de invierno, por lo que se le atribuye al río Ulúa la principal fuente de recarga hídrica al acuífero de Villanueva con un caudal anual de 169.68 Mm³. Esto significa una relación directa dependiente del agua de los pozos con relación al caudal del río Ulúa.

Tabla 15. Valores de recarga por el cauce del río Ulúa.

Años	Recarga (m)	Área (m ²)	Recarga m ³	Recarga Total (Mm ³ /Anual)
1966-2005	2.78	60,990,000	164,146,154	169.68

Método de estimación Rorabaugh (Rutledge, 2000).

4.1.5.1.5. Parámetros hidráulicos del acuífero

4.1.5.1.5.1. Transmisividad y conductividad hidráulica

Los valores de transmisividad de los sitios donde se realizaron las pruebas de bombeo están en los rangos de 100-1000 m²/d, correspondientes a una magnitud de transmisividad de clase I-II, y a su vez corresponde a una dominancia de transmisividad del acuífero o medio hidrológico de categoría Media-Alta. Krásný, (2003) estima que este valor de transmisividad al estar en un rango de 100-1000 m²/d posibilita al acuífero a aprovecharse el agua subterránea siempre y cuando las extracciones sean para cubrir un área de menor importancia regional. Para el caso de Villanueva, el acuífero abastece únicamente los usos del área urbana e irrigación de cultivo de caña de azúcar.

La zona de la parte sur del acuífero donde se localizan los pozos C2, C-3, C-5 y C-6 presentan los valores más altos de transmisividad con rangos de 424.14 hasta 680.01 m²/día, debido que presentan características hidrológicas similares y se ubican en la zona baja caracterizada geomorfológicamente como la llanura de inundación del río Ulúa. Los menores valores de transmisividad se ubican en la zona media y alta del acuífero, producto de la composición litológica, granulométrica y compactación de los materiales de los pozos MC (152 m²/día), BCVI-2 (114.01 m²/día) y BCVI-3 (123.13 m²/día).

El pozo C4 ubicado en el extremo oeste a pocos metros del límite del acuífero también presentó valores de transmisividad baja (120.8 m²/día) en relación con los pozos ubicados en la zona baja.

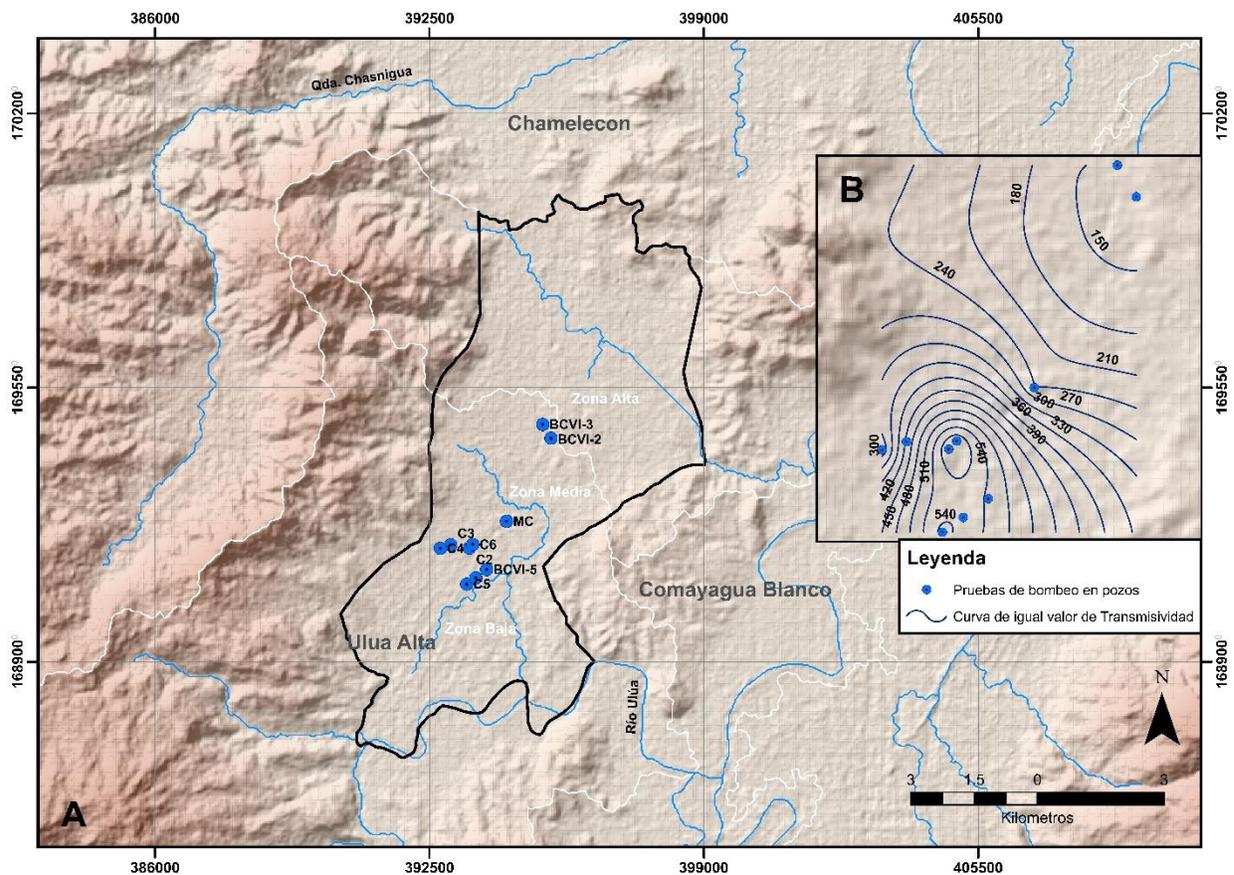


Tabla 16. Datos de transmisividad y conductividad hidráulica.

Sitio/Código	Elevación msnm.	Profundidad (m)	Espesor (m)	Tiempo de bombeo hr.	T (m ² /día)	Conductividad Hidráulica (m/día)
C2	50	60.96	50.02	24	648.3	12.96
C3	54	62.48	39.12	24	424.14	10.84
C4	62	56.9	45.3	24	120.8	2.67
C5	44	129.5	123.54	24	635	5.14
C6	62	89.9	73.89	24	680.01	9.2
MC	61	82.29	67.72	24	152	2.24
BCVI-2	62	144.65	130.66	70.5	114.01	0.87
BCVI-3	67	102.46	88.48	70.5	123.13	1.39
BCVI-4	44	204.93	199.91	70	513.62	2.57
BCVI-5	42	144.65	140.21	70	484.39	3.45

Según (Custodio & Llamas, 1983), la clasificación de terrenos por su transmisividad al acuífero le corresponde una calificación de permeable, regular a bueno, correspondiéndose con los materiales geológicos encontrados en este estudio; arenas finas, arcillas finas, gravas y calizas fracturadas de la formación Yojoa (Ky).

Tabla 17. Clasificación de terrenos por su transmisividad (m²/día). Custodio & Llamas (1983).

T	1	1 a 10	10-10 ²	10 ² -10 ³	> 10 ³
Calificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales	Arcilla compacta. Pizarra. Granito.	Limo arenoso. Limo. Arcilla limosa.	Arena fina. Arena limosa. Caliza poco fracturada. Basaltos.	Arena limpia. Grava y arena. Arena fina. Caliza fracturada.	Grava limpia Dolomías, calizas muy fracturadas.

4.1.5.1.6. Dinámica del agua subterránea

De acuerdo con el mapa de superficies piezométricas que se elaboró con datos históricos de niveles estáticos de pozos recopilados del valle de Sula el acuífero de Villanueva está conectado sobre su extensión con otros acuíferos ubicados en los municipios colindantes a Villanueva. Esto explica por qué la curva 60 desde la parte alta nor-oeste del límite norte del acuífero de Villanueva va disminuyendo su elevación de nivel estático a medida se desplazan hacia el este donde se ubican los pozos del municipio de La Lima. Indicando al río Ulúa como uno de los sitios de descarga del agua subterránea.

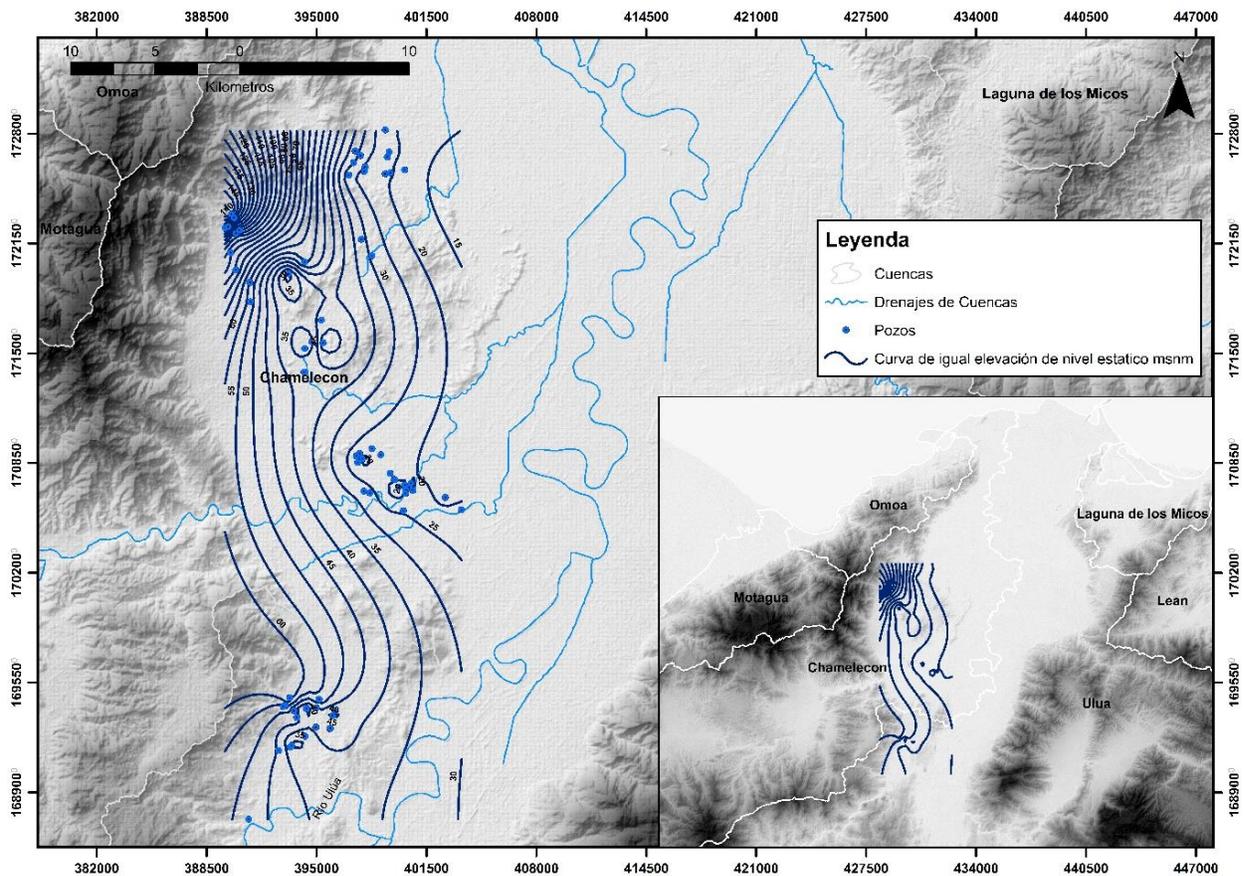


Figura 36. Superficie piezométrica en la parte nor-oeste del Valle de Sula.

Las aguas subterráneas generalmente fluyen con dirección hacia el este y parte de agua que se recarga sobre las rocas de caliza fluye hacia el nor-este. Estos flujos del

agua están asociados al relieve del área de estudio, también a los cambios de la composición geológica en el lado oeste de acuífero y a la falla del Catatao que se desplaza con dirección nor-este, afectando incluso los niveles piezómetros de esa zona.

Cuando el agua ingresa al valle, el flujo de agua subterránea drena con dirección hacia el río Ulúa, que sirve como el principal punto de descarga de agua subterránea. En las isopiezas se observó una disminución del espacio de estas en el centro del área urbana de la ciudad, ocasionada por la reducción de la permeabilidad del medio y bombeo de los pozos de agua que en su mayoría fueron perforados en esta zona. Las curvas equipotenciales disminuyen su frecuencia a medida que el escurrimiento subterráneo drena y se aproxima a la zona de descarga. Esta característica evidencia en las curvas 42 hasta la curva 37 en la zona baja del acuífero.

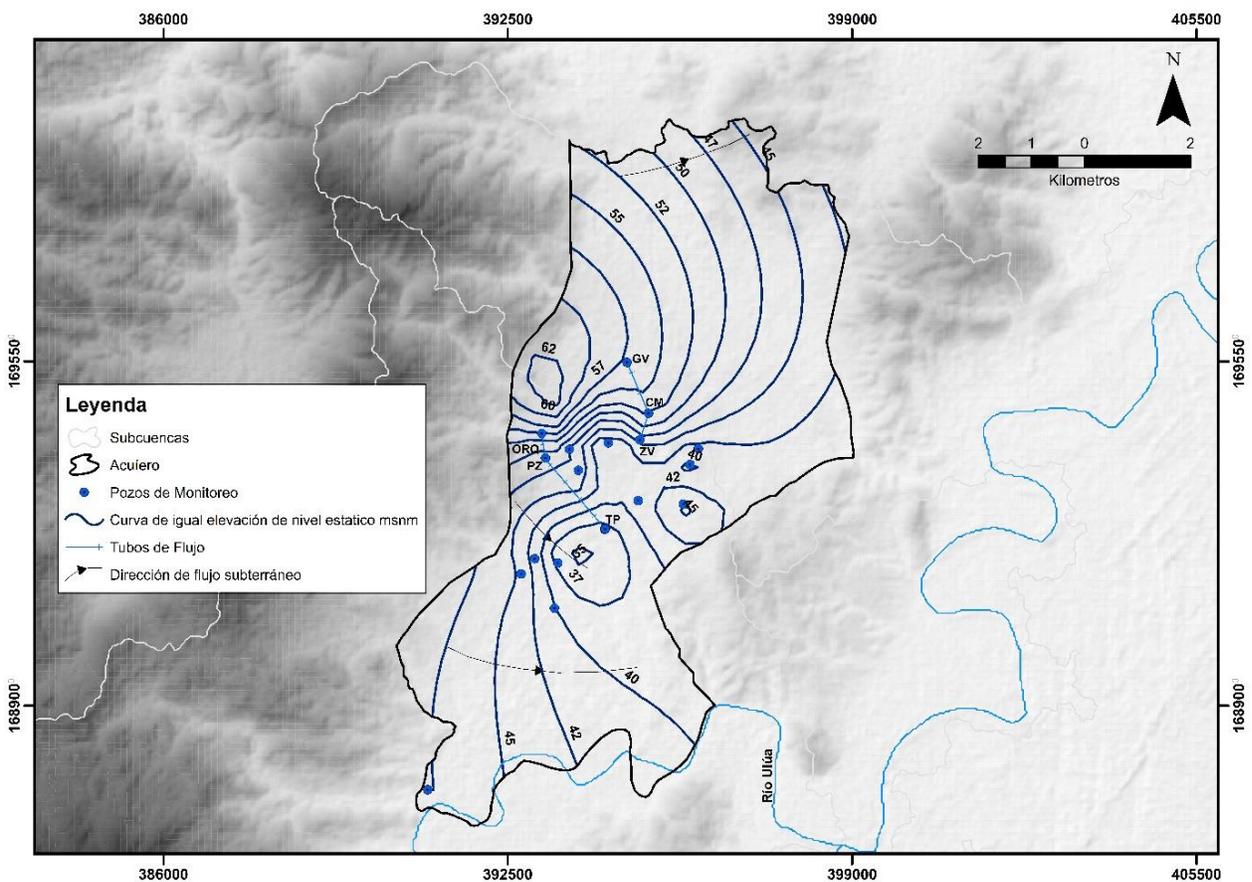


Figura 37. Superficie piezométrica del acuífero de Villanueva.

4.1.5.1.7. Esgurrimiento de agua subterránea

El total anual de caudal que esgurre subterráneamente es de 5.00 Mm³/anual. Los tubos de flujo de los pozos utilizados en el cálculo con valores de transmisividad de 152 m²/día, indican que los volúmenes de por esgurrimiento subterráneo más bajos drenan en dirección noreste con 1.95 Mm³/anual y los mayores valores de esgurrimiento de agua subterránea se presentan en los tubos de flujo donde los pozos tienen mayor transmisividad 424 m²/día, lo cual hace que se incremente la descarga de agua subterránea en esta zona que drena en dirección sureste con valores de 3.05 Mm³/anual (ver Figura 37).

Tabla 18. Valores para el cálculo del esgurrimiento subterráneo.

Tubos de Flujo	T (m ² /día)	I	B (m)	Q (m ³ /día)	Q (Mm ³ /anual)
ZV – CM	152	0.018686478	673	1911.55	0.688158
CM – GV-II	152	0.023788284	973	3518.19	1.2665484
ORQ-II. – PZ	424	0.029371069	477	5940.23	2.1384828
PZ – TP-II	424	0.003483607	1708	2522.80	0.908208
SUMA					5.0013972

4.1.5.1.8. Relación agua superficial y subterránea

Los niveles piezométricos de los pozos de observación mostraron valores menores con relación al nivel del agua del río Ulúa, permitiendo clasificar a la corriente superficial del agua como influente. Esto se comprueba con la dirección del flujo subterráneo y los cambios de conductividad eléctrica que se mostraran en la figura 40 y tabla 28 que se presentan a medida que se desplaza el agua subterráneamente.

Los pozos cercanos al río presentan una diferencia de pocos metros pozo Cañeras 3 (30.34 msnm) y pozo Cañeras 4 (32.61 msnm) en relación con la carga hidráulica del río y los niveles piezométricos de los pozos de observación simulados (ver Tabla 19). La identificación de las zonas donde el acuífero tiene conexión con las aguas

superficiales presenta los niveles más someros en toda el área de estudio, por lo que estas unidades hidrogeológicas podrían estar conectadas a la red del drenaje del cauce permanente del río Ulúa.

Tabla 19. Valores piezométricos.

Mini piezómetro 1:	UND (m)	Mini piezómetro 2:	UND (m)
Altura de terreno (msnm) (a)	53.02	Altura de terreno (msnm) (a)	54
NEA (b)	1.85	NEA (b)	1.69
Altura del brocal (c)	1.58	Altura del brocal (c)	1.58
Profundidad de rejilla	0.60	Profundidad de rejilla	0.60
Nivel Piezométrico (a-b-c)	49.59	Nivel Piezométrico (a-b-c)	50.13
Altura de lámina de agua (d)	0.13	Altura de lámina de agua (d)	0.18
Altura de terreno (msnm) (e)	53.02	Altura de terreno (msnm) (e)	54
Nivel del río (msnm) (d-e)	52.89	Nivel del río (msnm) (d-e)	53.82

4.1.6. Componente hidrogeoquímico

Mediante el diagrama de Piper y evaluando los resultados de la Tabla 20, se logró evidenciar que las aguas subterráneas presentaron dos tipos de composición química de las diferentes muestras de agua de pozos. Los tipos de agua más importantes presentan la siguiente distribución: Ca-Na- Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄ (75%) y Na- Ca-Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄ (15%).

Los resultados de los análisis de laboratorio para los cationes mayoritarios mostraron los siguientes rangos de concentraciones: Sodio entre 40.7 y 113.54 mg.l⁻¹ (mediana: 47.57 mg.l⁻¹); calcio entre 65.2 y 95.6 mg.l⁻¹ (mediana: 76 mg.l⁻¹); magnesio 16.5 y 29.3 mg.l⁻¹ (mediana: 20.65 mg.l⁻¹) y potasio entre 3.78 y 10.0 mg.l⁻¹ (mediana: 5.48 mg.l⁻¹). Con respecto a los aniones mayoritarios los rangos de concentraciones variaron de la siguiente manera: Bicarbonato entre 382.32 y 437.95 mg.l⁻¹ (mediana: 396.75 mg.l⁻¹); cloruro entre 28.66 y 51.92 mg.l⁻¹ (mediana: 39.84 mg.l⁻¹); Sulfatos entre 8.35 y 107.46 mg.l⁻¹ (mediana: 42.72 mg.l⁻¹).

El anión predominante en el acuífero de Villanueva fue el bicarbonato con concentraciones de 382.32 en sitio Pozo Solís y hasta 437.95 mg.l⁻¹ en sitio pozo Cañeras 1. Se observó cómo catión dominante el calcio en el 75% de los sitios muestreados con concentraciones que oscilaron entre 65.2 mg.l⁻¹ en el pozo Guadalupe López y 95.6 mg.l⁻¹ en pozo Cañeras 1, seguidamente el catión de segunda importancia fue el sodio con valores que superaron al calcio en dos sitios de aprovechamiento muestreados alcanzando concentraciones de 113.54 mg.l⁻¹ en el pozo Llanos de Canadá No. 1 y Guadalupe López.

DIAGRAMA DE PIPER

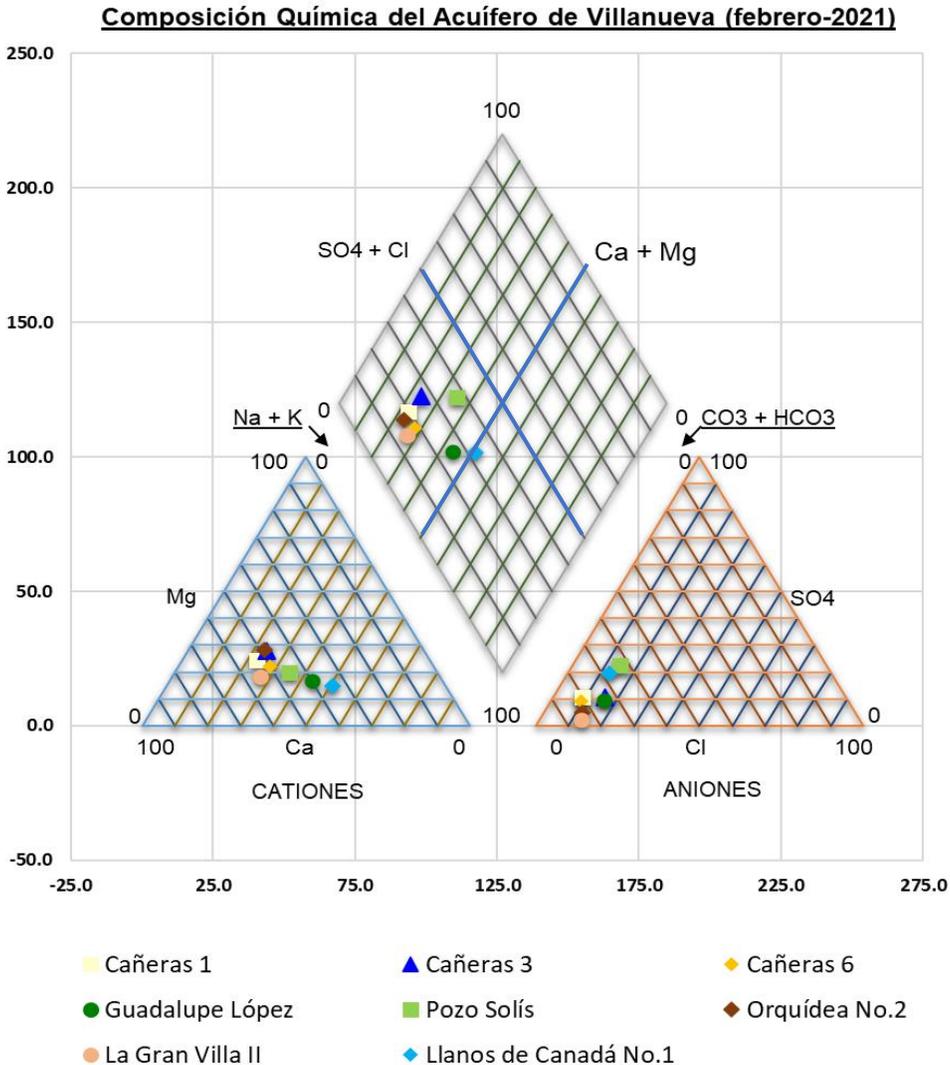


Figura 38. Composición química del Acuífero de Villanueva, feb.2021.

El anión predominante en las muestras de agua fue el bicarbonato, debido a la geología del área de estudio (presencia masiva de rocas con carbonatos, lutitas calcáreas, calizas y dolomitas). Las aguas de tipo bicarbonatada-cálcica (Orquídea No.2, La Gran Villa II y Cañeras 1, 3 y 6), se consideraron aguas de recarga de las tierras altas de la formación Yojoa, las cuales han tenido mayor tiempo en su recorrido.

En los sitios Llanos de Canadá No.1 y Guadalupe López se observó la evolución del tipo de agua a bicarbonatadas-sódicas-cálcicas atribuyéndose a las diferentes reacciones que se producen a medida que el agua se desplaza a través de la roca, adquiriendo diferentes composiciones, debido a los minerales presentes en el terreno y al intercambio catiónico. Para el sitio Pozo Solís la composición química del agua es de tipo bicarbonatada-cálcica-sódica, interpretándose como agua que recibe importantes cantidades de sal contenida en las aguas residuales de la población.

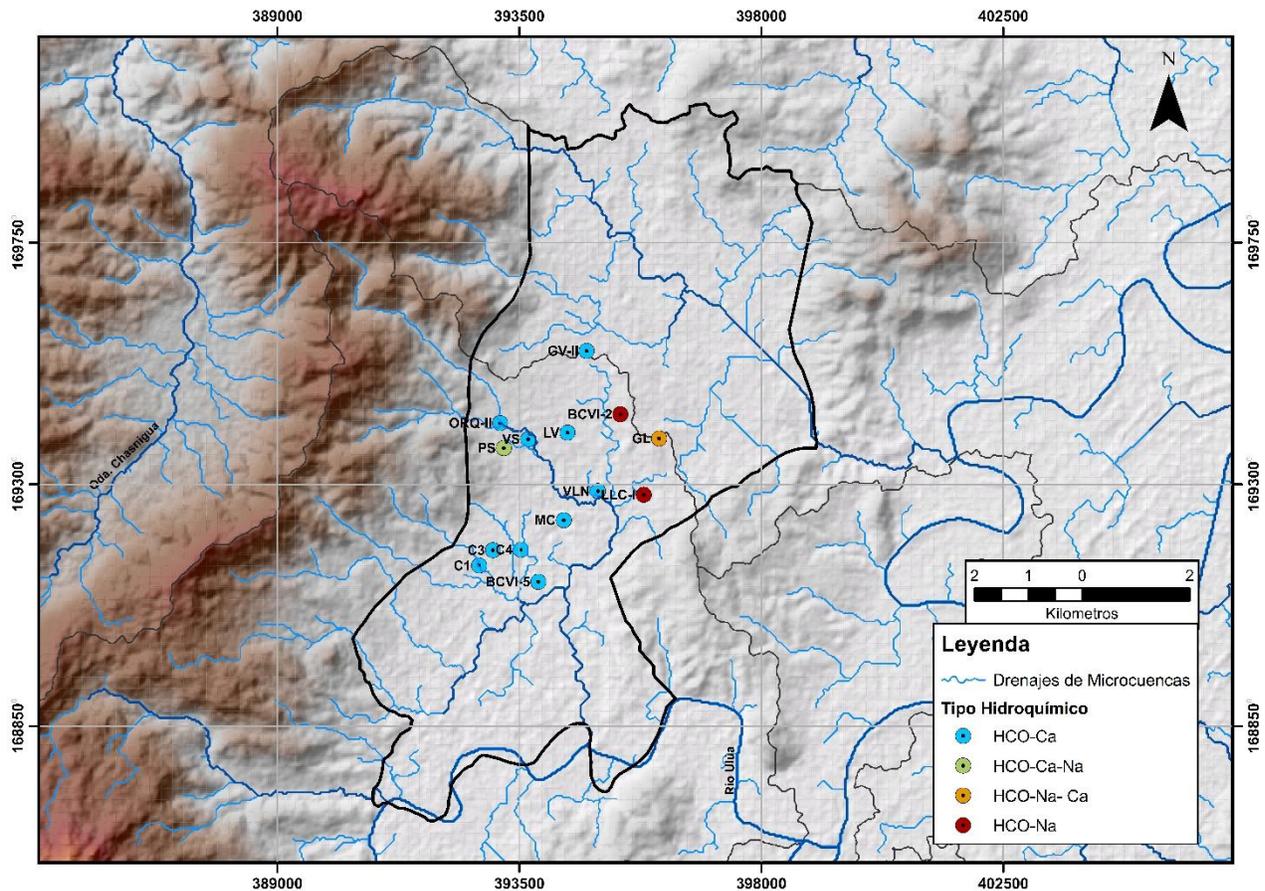


Figura 39. Mapa hidroquímico del acuífero de Villanueva.

Tomando en consideración los resultados obtenidos de la conductividad del agua estos se relacionan a los dos tipos hidroquímicos del agua encontrados en ambas zonas espaciales. En este caso se puede clasificar el comportamiento del curso del agua como una mineralización importante (valores de 800-1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) en la zona de composición bicarbonatada-cálcica, a medida que el flujo del agua hace su recorrido hacia la zona de descarga el agua adquiere una mineralización elevada por lo que cambia a tipo bicarbonatadas-sódicas-cálcicas ($>1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Rodier et al., 2010).

Tabla 20. *Hidroquímica del agua del acuífero de Villanueva.*

Sitios de muestreo	Época de muestreo	Tipo Hidroquímico	Nombre Hidroquímico
Cañeras 1	Seca	HCO_3^- -Ca	Bicarbonatada cálcica
Cañeras 3	Seca	HCO_3^- -Ca	Bicarbonatada cálcica
Cañeras 6	Seca	HCO_3^- -Ca	Bicarbonatada cálcica
Guadalupe López	Seca	HCO_3^- -Na- Ca	Bicarbonatadas-sódicas-cálcicas
Pozo Solís	Seca	HCO_3^- -Ca-Na	Bicarbonatada- cálcica-sódica
Orquídea No.2	Seca	HCO_3^- -Ca	Bicarbonatada cálcica
La Gran Villa II	Seca	HCO_3^- -Ca	Bicarbonatada cálcica
Llanos de Canadá No.1	Seca	HCO_3^- -Na- Ca	Bicarbonatadas-sódicas-cálcicas

4.1.7. Componente demanda hídrica subterránea y superficial

4.1.7.1. Usos del agua subterránea

Los principales usos del agua subterránea en el municipio de Villanueva están dirigidos al abastecimiento a la población para uso doméstico y riego en cultivos de plantaciones de caña de azúcar.

4.1.7.1.1. Uso doméstico

Se contó 19 pozos para abastecimiento de agua al área urbana de Villanueva. Se midió su caudal aprovechable para uso doméstico e irrigación en los campos agrícolas del valle. Los pozos de mayor productividad hídrica se ubican en la zona de cultivo de

caña de azúcar. Estos pozos abastecen directamente al sistema de abastecimiento de agua potable. El agua de los pozos es bombeada a la estación del tanque de almacenamiento con capacidad de 300,000.00 galones hasta la red alta del Cerro Canfilo para posteriormente distribuir el agua por gravedad a la red municipal.

Tabla 21. Explotación del campo de pozos con el caudal recomendado por el tipo de bomba por 24 horas de bombeo.

No.	Nombre del pozo	Simbología	Caudal de Explotación (m ³ /h)	Horas de Bombeo /día	Extracción Diaria (m ³ /día)	Extracción Anual (Mm ³ /Anuales)
1	VillaSol	VS*	2.50	24	59.96	0.0219
2	Pozo Solís	PS*	4.54	24	109.02	0.0398
3	Rastro Municipal	RM	10.22	24	245.29	0.0895
4	Pozo La Victoria	PLV	3.41	24	81.76	0.0298
5	Guadalupe López	GL	17.08	24	409.91	0.1496
6	Llanos de Canadá No. 1	LLC-I	40.20	24	964.83	0.3522
7	Llanos de Canadá No. 2	LLC- II	29.53	24	708.63	0.2586
8	La Gran Villa I	GV-I	45.42	24	1090.20	0.3979
9	La Gran Villa II	GV-II	61.32	24	1471.77	0.5372
10	Terraplén II	TP-II*	34.07	24	817.65	0.2984
11	Orquídea No.2	ORQ II*	3.11	24	74.68	0.0273
12	Cañeras 4	C6*	83.47	24	2003.24	0.7312
13	Cañeras 5	C5*	113.56	24	2725.50	0.9948
14	Cañeras 3	C3*	79.49	24	1907.85	0.6964
15	Cañeras 2	C2*	113.56	24	2725.50	0.9948
16	Cañeras 1	C1*	90.85	24	2180.40	0.7958
Total			732.34		17576.17	6.4153

4.1.7.1.2. Uso para irrigación

El riego representa una demanda de agua de 4.80 Mm³/anual. El 87.77% del total del agua se utiliza bajo el método de riego por aspersión. El 8.80% por el método de gravedad y el 3.17 % por el método de pivote. Según la Ley General del agua, Decreto 181-2009 y tomando como base el Estándar de Producción de Bonsucro, (2015), especialmente para el cultivo de caña se debe controlar y prevenir la sobreexplotación del recurso hídrico procurando un consumo < 130 kg de agua/Kg de caña producido en áreas regadas y tomando como base el cuadro consolidado de la Agroindustria Hondureña APAH (Período de Zafra de 1979/1980 a 2018/2019, el rendimiento

promedio de la caña de azúcar fue de 94.77 tonelada por hectárea en el territorio hondureño (Meneses & Galiego, 2019).

Con base en los criterios de huella hídrica de cultivo de caña de azúcar que expone Restrepo (2015), se puede decir que el agua utilizada para riego en el Valle de Villanueva se emplea de una manera eficiente y sostenible, correspondiendo una huella hídrica unitaria verde o por tonelada (cantidad de agua utilizada para producción de una tonelada de caña de azúcar) para el método de riego por Aspersión de 31.04 m³/Ton. Para el método de gravedad se obtuvo el menor valor de huella hídrica unitaria con 9.75 m³/Ton y 90.41 m³/Ton para el método de riego tipo Pivote.

Tabla 22. Aprovechamiento de caudal de agua de pozos para irrigación en campos agrícolas.

Tipo de Riego	Área (ha)	Agua Regada (m ³ /anual)	Agua Regada (Mm ³ /Anual)
Aspersión	1434.41	4220084	4.2201
Gravedad	147.87	136649.9	0.1366
Pivote	51.86	444330.8	0.4443
Total	1634.14	4801064.70	4.8011

4.1.7.2. Usos del agua superficial

Tabla 23. Aprovechamiento de caudal de agua de río Ulúa para irrigación en campos agrícolas.

Tipo de Riego	Área (ha)	Agua Regada (m ³ /anual)	Agua Regada (Mm ³ /Anual)
Aspersión	858.47	2861021.9	2.86
Gravedad	58.96	111724	0.11
Total	917.43	2972745.90	2.9727

Se midió una extracción de agua de 2.97 Mm³/anual para irrigar 917.43 ha de cultivo de caña de azúcar. Se determinó que los campos de cultivos son irrigados por el tipo de riego aspersión casi en su totalidad ya que el 3.75% de riego por el método gravedad se emplea en 58.96 ha.

4.1.8. Balance hídrico del acuífero

Se estableció la ecuación del balance volumétrico del acuífero de Villanueva, explicando que las entradas de agua subterránea (E), menos las salidas (S) son iguales al cambio de almacenamiento o volumen aprovechable. Las entradas corresponden a la infiltración del agua en el suelo por la precipitación directa y por el aporte de caudal del cauce del río Ulúa y las salidas de agua se clasificaron según su demanda en uso doméstico y riego agrícola que se demanda a través de los pozos.

Tabla 24. Balance hídrico del acuífero de Villanueva.

Sitio	Área (m ²)	Recarga Directa por Precipitación (m/mes)	Recarga por Aporte de río Ulúa (m/mes)	Recarga por Precipitación al Acuífero (m ³ /mes)	Recarga por Aporte de río Ulúa al Acuífero (m ³ /mes)	Recarga Total de agua al Acuífero (m ³ /mes)	Escorrentamiento subterráneo (m ³ /mes)	Disponibilidad Potencial (m ³ /mes)	Disponibilidad Mm ³ mensual	Demanda Mm ³ mensual	Volumen aprovechable Mm ³
Enero	59380974.75	0.00264903	0.0109982	157301.84	653083.84	810385.68	416783.10	1227168.78	1.23	0.93	0.29
Febrero	59380974.75	0.00000000	0.0061341	0.00	364248.84	364248.84	416783.10	781031.94	0.78	0.93	-0.15
Marzo	59380974.75	0.00000000	0.0014923	0.00	88611.26	88611.26	416783.10	505394.36	0.51	0.93	-0.43
Abril	59380974.75	0.00000000	0.0112649	0.00	668920.74	668920.74	416783.10	1085703.84	1.09	0.93	0.15
Mayo	59380974.75	0.00000000	0.0991172	0.00	5885672.98	5885672.98	416783.10	6302456.08	6.30	0.93	5.37
Junio	59380974.75	0.00000000	0.6390069	0.00	37944849.62	37944849.62	416783.10	38361632.72	38.36	0.93	37.43
Julio	59380974.75	0.00867771	0.2914968	515290.60	17309361.15	17824651.75	416783.10	18241434.85	18.24	0.93	17.31
Agosto	59380974.75	0.00033752	0.4361434	20042.55	25898620.22	25918662.77	416783.10	26335445.87	26.34	0.93	25.40
Septiembre	59380974.75	0.03058838	0.9261094	1816367.68	54993278.90	56809646.57	416783.10	57226429.67	57.23	0.93	56.29
Octubre	59380974.75	0.04194507	0.3058795	2490738.86	18163422.87	20654161.73	416783.10	21070944.83	21.07	0.93	20.14
Noviembre	59380974.75	0.01300799	0.0203073	772427.02	1205867.27	1978294.29	416783.10	2395077.39	2.40	0.93	1.46
Diciembre	59380974.75	0.03570253	0.0341884	2120051.11	2030140.52	4150191.63	416783.10	4566974.73	4.57	0.93	3.63
Total/año		0.13290822	2.78	7892219.66	165206078.21	173098297.87	5001397.20	178099695.07	178.10	11.22	166.88

De acuerdo con el balance hídrico, la disponibilidad hídrica y volumen de agua aprovechable varían según la recarga que se almacena en el acuífero en los diferentes meses del año. Debido a la falta de información con respecto a la distribución de la demanda hídrica de agua de manera mensual, se dividió el registro de consumo total anual de igual manera para todos los meses. Se observó que la mayor disponibilidad hídrica se da en la época lluviosa a partir de mayo con un volumen de 5.37 Mm³, en el mes de junio la disponibilidad del agua se incrementó hasta 37.43 Mm³ y el valor más alto de disponibilidad se presentó en el mes de septiembre con 56.29 Mm³.

Se demostró que la disponibilidad hídrica del acuífero de Villanueva está influenciada por el aporte de caudal del río Ulúa que ingresa en la zona sur del acuífero con un valor de recarga anual de 165.20 Mm³. La recarga por precipitación directa en fue de 7.89 Mm³, obteniendo una recarga total de 173.09 Mm³.

4.1.9. Proyección de demanda del agua subterránea

En esta sección se proporciona la base para dimensionar y organizar futuras instalaciones de agua con base en las proyecciones de la población. La demanda de agua en el área urbana de Villanueva se estimó en función de la población año 2020 y una dotación de agua de 50 gal/hab/día.

4.1.9.1. Cálculo de la demanda de agua

Se realizaron los cálculos de los caudales tomando en cuenta una población para el año 2020 de 100,399.00 habitantes. Se tomó la tasa de crecimiento de 2.5% hasta el año 2040. Para determinar la población futura se utilizó la siguiente fórmula:

$$PF = PA (1 + t)^n,$$

donde:

PF = población futura, PA = población actual, t = tasa de crecimiento poblacional (2.5%), n = período (cada 5 años).

La dotación de agua se tomó de la siguiente tabla, la cual depende del número de habitantes de la comunidad:

Tabla 25. Dotaciones de agua (Norma NTON 09 003-99).

Rango de población	Dotación	
	gal/hab/día	lt/hab/día
0- 5.000	20	75
5.000- 10.000	25	95
10.000- 15.000	30	113
15.000- 20.000	35	132
20.000- 30.000	40	151
30.000- 50.000	45	170
50.000 100.000 y más	50	189

El consumo se calcula: multiplicando la dotación por el número de habitantes

Consumo = dotación x habitante

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud, (2017) el uso de agua diario por persona tanto para consumo como para higiene personal debe rondar los 100 litros. Para el año 2025 el sistema de abastecimiento de agua deberá proporcionar 248.8 L/s (litros por segundo), lo que indica que se necesitaría 1.29 Mm³/año más de agua con respecto a la demanda hídrica actual que alcanza los 6.42 Mm³.

Tabla 26. Dotación de agua según el número de habitantes.

Consumo Doméstico (CD)				
Año	Población Conectada (100%)		Consumo Doméstico (CD)	
	Habitantes	Dotación	gpd	L/s
2020	100399	50	5019950.0	219.9
2025	113592	50	5679612.7	248.8
2030	128519	50	6425960.4	281.5
2035	145407	50	7270384.4	318.5
2040	164515	50	8225772.6	360.4

4.1.10. Acciones de manejo del acuífero de Villanueva

- a. Realizar y llevar a cabo un programa que contemple el monitoreo de agua subterránea a través de la medición de niveles y profundidad del agua subterránea, uso del agua subterránea, y calidad del agua en los pozos seleccionados cada tres meses haciendo uso de la base de datos de esta tesis para almacenar y analizar los datos que se recojan para posteriormente hacer una evaluación de los recursos hídricos subterráneos cada 10 o 15 años

- b. Promover la conservación y cosecha del agua y reducción de pérdidas en el sistema de distribución de agua, mediante la realización de un estudio que permita definir las pérdidas de agua en el sistema y recomendar las áreas de reparación de fugas

- c. Tener un control de construcción de pozos a través de la regulación municipal que proporcione las normas de construcción y perforación de pozos y requisitos de información para su aprobación

- d. Trabajar con otros municipios del Valle de Sula para ayudar a formar un organismo regional de gestión de las aguas subterráneas y protección de la cuenca del río Ulúa que permita mejorar la gestión y manejo de los recursos hídricos

- e. Realizar el modelo hidrogeológico numérico para futuras decisiones.

4.2. Calidad de agua

4.2.1. Calidad de agua para consumo humano

4.2.1.1. Evaluación de parámetros in situ

Los valores obtenidos de pH variaron entre 5.98 (sitio Cañeras 3) a 7.54 unidades de pH (sitio Terraplén II), con una media de 6.78 unidades de pH y una desviación de 0.32. El promedio de conductividad eléctrica en el acuífero de Villanueva se reportó en $848.97 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, variando entre $592 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, (sitio Cañeras 5) a $1220 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ (sitio Llanos de Canadá) y una desviación estándar de $133.40 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, coincidiendo con los valores mínimos y máximos de pH en ambas zonas. Probablemente esto se deba a la cantidad de minerales con las que estas aguas drenan.

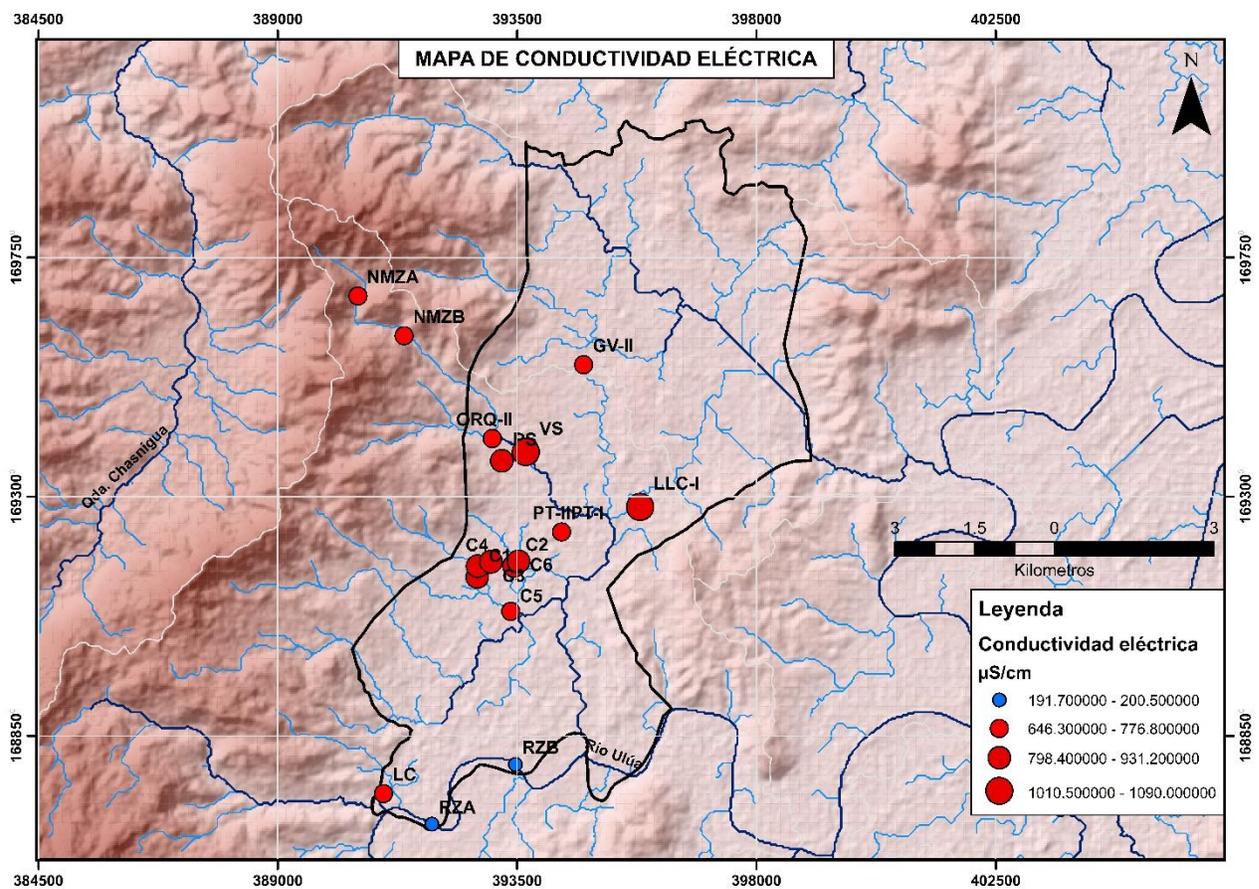


Figura 40. Ubicación de pozos donde se evaluó CE, pH, Temperatura, OD y Eh.

La temperatura del agua subterránea varió entre 28.10 °C (sitio Cañeras 3 y 5) y 35 °C (Sitio La Gran Villa I), con un promedio de 30.62 °C. Los sitios con valores más altos de temperatura podrían estar relacionados con la estructura geológica. Las concentraciones de oxígeno variaron entre 1.79 mg.l⁻¹ (sitio Cañeras 5 y 6) a 5.37 mg.l⁻¹ (sitio Terraplén II y La Gran Villa). Los valores de Eh variaron entre 103 mV (sitio Las Cañeras) y 472 mV (sitio Villasol y La Gran Villa), estableciendo una correlación positiva con los valores de oxígeno disuelto.

Tabla 27. Estadísticos básicos de parámetros in situ de muestras tomadas en el Acuífero de Villanueva (mayo-octubre 2021).

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación
pH. [Und de pH]	5.98	7.54	6.78	0.32
CE. [$\mu\text{S.cm}^{-1}$]	592.00	1220.00	848.97	133.40
Temp. Agua [° C]	28.10	35.00	30.62	1.73
OD [mg. l ⁻¹]	1.79	5.37	3.59	1.01
Eh [mV]	103.00	472	316.45	86.32

El comportamiento de la variable fisicoquímica pH cumple en un 100% en los sitios de aprovechamiento subterráneo según las directrices nacionales de valores guías de 6.5 - 8.5 Und de pH (Norma Técnica para la Calidad de Agua Potable, 1995). Por otra parte, los Pozos Cañeras 1, 5 y 6 presentaron las más bajas concentraciones de oxígeno disuelto de 2.6, 1.8 y 2.3 mg.l⁻¹ por debajo del límite o rango establecido de > 4.0 mg.l⁻¹ y > 50.0 % de saturación de oxígeno en comparación a los otros objetos hidrológicos indicativo que el cultivo de caña de azúcar está aportando materia orgánica y demanda oxígeno para su degradación.

Tabla 28. Valores medios de parámetros in situ de muestras tomadas en el Acuífero de Villanueva (mayo-octubre 2021).

Sitios de Muestreo	pH. Und de pH	CE. $\mu\text{S.cm}^{-1}$	T ° C	OD mg.l ⁻¹
Río Ulúa Zona Baja	5.8	191.7	29.0	4.6
Río Ulúa Zona Alta	5.7	200.5	30.2	4.7
Naciente La Mina Zona Baja	7.0	646.3	27.6	4.3
Naciente La Mina Zona Media	7.3	685.0	27.3	4.2
La Gran Villa II	6.9	693.6	32.1	4.7
Linda Coello	7.0	725.5	29.4	4.2
Terraplén II	6.8	741.0	30.1	4.0
Naciente La Mina Zona Alta	6.8	742.0	26.6	3.4
Cañeras 5	6.6	757.0	29.0	1.8
Orquídea No. 2	7.1	763.2	28.8	4.5
Pozo Terraplén I	6.9	776.8	30.0	4.1
Cañeras 6	6.6	798.4	31.6	2.3
Cañeras 3	6.7	812.0	29.3	3.5
Cañeras 2	6.5	814.6	31.0	3.1
Cañeras 4	6.6	844.4	29.5	4.2
La Gran Villa I	6.9	872.0	34.5	3.6
Pozo Solís	6.7	901.4	30.6	3.1
Cañeras 1	6.5	931.2	32.0	2.6
Llanos de Canadá No. 2	7.0	1010.5	30.1	3.8
Llanos de Canadá No.1	7.0	1027.5	29.8	3.8
Villa Sol	6.8	1090.0	31.0	3.9

4.2.1.2. Diagramas redox

La comprensión del diagrama descrito por Meek & Chesworth (citado por (Apello & Postma, 2005) establece la estabilidad de especies disueltas y minerales en función de pe (o Eh) y pH para condiciones de oxido/reducción, donde los valores de pe se calculan con base en Eh, que indican que los valores de pe altos o positivos predomina la reacción oxidante y el pe bajos o negativos condiciones reductoras de mayor riesgo, puesto que permiten la presencia de especies en su forma más tóxica de su estado de oxidación.

Se encontraron valores promedio de pH entre 5.62 y 7.24 y valores de Eh en rangos de 0.16-0.41 V en los sitios de aprovechamientos muestreados, indicando que el Mn^{2+} es estable en un amplio rango con la hematita (Fe_2O_3), mientras que el hierro (Fe^{2+}) es inversamente inestable en contacto con MnO_2 . Además, la rodocrosita ($MnCO_3$) es estable en un amplio rango de pe, mientras que la presencia de siderita ($FeCO_3$) indica condiciones fuertemente reductoras (Apello & Postma, 2005).

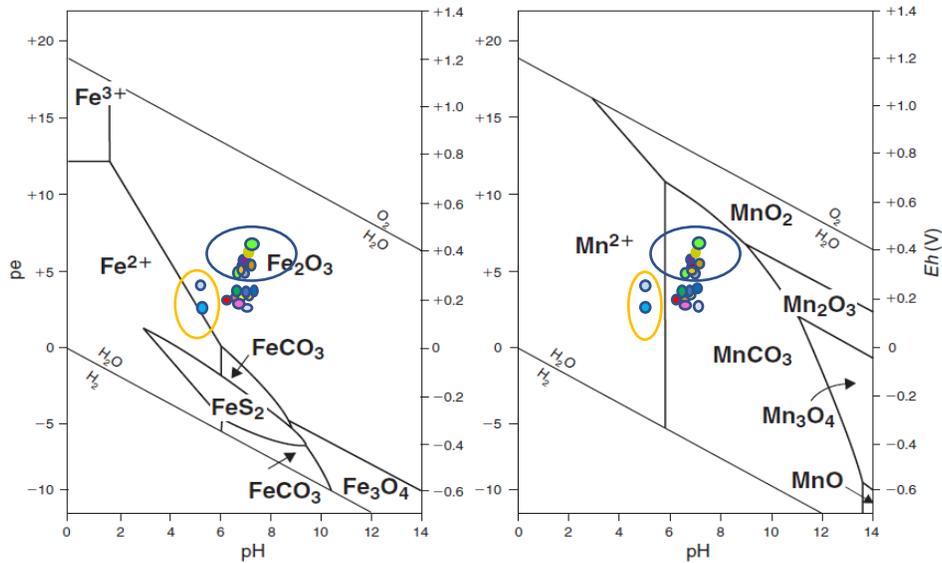


Figura 41. Relaciones de estabilidad para hierro y manganeso (Modificado de Krauskopf, 1979).

Los valores de pH y Eh encontrados en los sitios muestreados están influenciados por los materiales geológicos de la zona que conforman el Acuífero de Villanueva. Esto se demuestra en sitio de reconocimiento geológico 105, donde se encontró que el relleno de la falla geológica Catatao estaba compuesta por óxidos de hierro y óxido férrico (limolitas y hematitas). Las concentraciones de estos compuestos químicos pueden verse reflejados en la evaluación de metales en el agua subterránea en el mes de febrero 2021.

4.2.1.3. Parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con la Norma Técnica para la calidad del Agua Potable, (1995) y norma internacional de la Organización Mundial de la Salud, (2017) se determinó que el Cl-,

SO_4^{2-} y Na no cumplen con el valor límites recomendados (LR) pero si con el valor de referencia limite permisible (LP).

Las conductividades eléctricas en todas las muestras analizadas en ambas épocas se encuentran en concentraciones entre 887 a $1328.1 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, excediendo los valores guías para aguas destinadas al consumo humano. Hacia el este del acuífero los aprovechamientos Guadalupe López (10.28 mg.l^{-1}) y Llanos de Canadá No.1 (10.8 mg.l^{-1}) sobrepasan el valor LP (10 mg.l^{-1}) de potasio. Estas concentraciones de K^+ que superan ligeramente los valores guías se relacionan con las cargas de STD debido que el K^+ es una sal inorgánica de mucha solubilidad en el agua, pero difícil de precipitar y se elimina por el intercambio iónico por lo que sus concentraciones variaron de zonas geológicas a otras en el acuífero.

Tabla 29. Valores máximos admisibles estipulados en norma OMS para parámetros fisicoquímicos evaluados en el Acuífero de Villanueva (oct. 2020 y feb. 2021).

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Sitios de muestreo														Valor máximo Admisible
			Cañeras 1		Cañeras 3		Cañeras 6		Guadalupe López		La Gran Villa II		Llanos de Canadá No.1		Pozo Solís	Orquídea No.2	
			feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	oct-20	feb-21	feb-21	
Temperatura	°C	18 a 30	23.4	24.3	23.1	24.5	23.4	24.2	23.5	24.3	23.5	24.3	23.2	24.1	23.1	23.1	
pH	Valor pH	6.5 a 8.5 (a)	7.56	6.38	7.28	6.33	7.29	6.23	7.48	7.14	7.31	6.98	7.37	7.8	7.23	7.23	
Cloro Residual	mg.l ⁻¹	0.5 a 1.0 (b)															(c)
Cloruros	mg.l ⁻¹	25	28.66	39.35	49.07	19.43	26.23	20.89	51.92	69	33.52	27.78	46.15	29	51.01	33.52	250
Conductividad	µS/cm ⁻¹	400	1218.4	989	1089.3	899	1024.7	910	1201.3	890	997.87	877	1328.1	823.0	1230.6	1027.11	
Dureza	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	400	353.99	366.16	362.18	295.3	322.1	295.5	263.9	196	244.79	256.4	257.53	251	294.84	313.95	
Sulfatos	mg.l ⁻¹	25	45.71		44.22		33.4		41.22		8.35		93.93		107.46	18.94	250
Aluminio	mg.l ⁻¹																0.2
Calcio	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	100	95.6	88	83.4	61	74.3	72	65.2	55	72.2	60.75	66.7	56	81	77.7	
Cobre	mg.l ⁻¹	1	0.01	<0.015	0.02	<0.015	0.04	<0.015	0.02	<0.016	0.01	<0.015	0.01	<0.015	0.06	0.01	2
Magnesio	mg.l ⁻¹ CaCO ₃	30	26.8	25	29.3	24.9	19.9	19	16.5	14	14.4	15.08	17.5	27	21.4	27.1	50
Sodio	mg.l ⁻¹	25	47.45	43	47.66	42.8	47.48	42	82.52	130	40.7	79.48	113.54	85	71.86	42.65	200
Potasio	mg.l ⁻¹		4.85	3.4	4.2	3.7	3.78	3.3	8.26	10.28	6.9	9.37	10	10.8	5.37	5.6	10
Sólidos Disueltos Totales	mg.l ⁻¹		779.78	633	697.12	575	665.7	583	768.8	556	638.64	561	849.96	707.3	787.57	657.35	1000
Zinc	mg.l ⁻¹		0.09	0.01	0.06	<0.005	0.06	0.005	0.02	<0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.03	3

4.2.1.4. Parámetros bacteriológicos

La Organización Mundial de la Salud establece que los Coliformes Fecales (CF) y *E. Coli* no deben ser detectadas en 100 ml de muestra agua analizada, por tanto, ninguno de los sitios evaluados en el acuífero cumple con el valor máximo admisible para consumo humano. Los coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) se detectaron en altas concentraciones en la muestra recolectada en el mes de febrero con 39.9 UFC/100 ml de CT y 6.0 UFC/100 ml de CF en el pozo Orquídea No.2. Los mayores hallazgos de contaminación por contaminación fecal se detectaron en el pozo Llanos de Canadá No.1 con concentraciones de 816.4 UFC/100 ml de CT y 160 UFC/100 ml de CF.

Tabla 24. Valores máximos admisibles estipulados en norma OMS para los parámetros bacteriológicos (oct. 2020 y feb. 2021).

Sitios de muestreo	Símbolo	Colif. T (oct-20)	Colif. T (feb-21)	Valor máximo admisible	Colif. F (oct-20)	Colif. F (feb-21)	Valor máximo admisible	<i>E. Coli</i> (feb-21)
Cañeras 1	C3	<1	0.99	≤ 4	<1	0.99	Neg.	0.99
Guadalupe López	GL	0	0.99	≤ 4	0	0.99	Neg.	0.99
La Gran Villa II	GV-II	<1	0.99	≤ 4	<1	0.99	Neg.	0.99
Cañeras 6	C6	<1	1	≤ 4	<1	0.99	Neg.	0.99
Cañeras 3	C3	13	3.00	≤ 4	2	1.00	Neg.	1.00
Pozo Solís	PS		4.1	≤ 4		0.99	Neg.	0.99
Orquídea No.2.	ORQ-II		39.9	≤ 4		6	Neg.	0.99
Llanos de Canadá No.1	LLC-I	32	816.4	≤ 4	2	160	Neg.	0.99

Las concentraciones encontradas en el pozo Orquídea No. 2 puede estar influenciada por la descarga directa de agua del Naciente La Mina, donde se desarrollan actividades recreativas como el senderismo y balneario que como consecuencia pueden producir fuentes dispersas de fecalismo a cielo abierto.

Las altas concentraciones identificadas en el sitio Llanos de Canadá No.1 se vinculan directamente por el vertido de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento. Muchas de las zonas residenciales en la parte sureste del acuífero donde se ubica el pozo Llanos de Canadá No.1 poseen instalaciones sanitarias inadecuadas

ya que la mayoría dependen de letrinas que descargan desechos directamente al suelo.

Estos desechos sanitarios probablemente migren a las zonas del acuífero poco profundo contaminando al agua subterránea con coliformes totales y fecales. Otro aspecto relevante se atribuye a la cercanía del sistema de tratamiento municipal de fosas sépticas ubicadas en un radio de influencia no mayor a 30 m del pozo. Huallpara et al., (2017) determinó que las concentraciones de bacterias coliformes totales son utilizadas como indicador de la presencia de excrementos o desechos de alcantarillas como potencial fuente de contaminación por microorganismos patógenos entéricos en el agua.

En tal sentido, las fuentes de agua del presente estudio demuestran concentraciones de coliformes totales, deberían ser sujetas a un proceso de desinfección previa su utilización por la población, aunque estas aguas no vayan a ser consumidas para ingesta doméstica.

4.2.1.5. Iones mayoritarios

a. Dureza del agua

Las concentraciones de dureza no difieren significativamente en ambas estaciones climáticas a excepción del pozo Cañeras 3 (295.34 a 362.18 mg.l⁻¹) y Guadalupe López (196-263.90 mg.l⁻¹). Basado en la clasificación de la OMS, el acuífero de Villanueva tiene aguas muy duras, los valores encontrados en los sitios de aprovechamiento de agua en ambas estaciones climáticas oscilan entre 196 y 366 mg.l⁻¹. Estos altos valores de dureza total se relacionan con la composición mineralógica de la roca, (basaltos, ricas en Ca²⁺ y Mg⁺²) predominante en la zona del acuífero de Villanueva (Appelo & Postma, 2005).

Las aguas duras a muy duras representan peligro para la salud, otros estudios han demostrado que el consumo de aguas con valores de durezas superior a 120 mg.l⁻¹ CaCO₃ podría aumentar el riesgo de padecer de cálculo en las vías urinarias (Mora et al., 2015). Otra consecuencia de utilizar aguas de duras a muy duras es el uso excesivo de jabón, por ende, un mayor consumo de agua; además, puede provocar incrustaciones en las tuberías metálicas (Organización Mundial de la Salud, 2017).

En octubre de 2020 el valor mínimo de Alcalinidad encontrado fue de 334.7 mg.l⁻¹; y el máximo de 379.7 mg.l⁻¹. Mientras que febrero presentó menores valores 315.2 a 358.9 mg.l⁻¹. Por la heterogeneidad encontrada en los datos para ambas épocas de muestreo, el agua de Villanueva es altamente alcalina (valores de referencia > 150 mg.l⁻¹; Kevern, (1989). Los altos valores de alcalinidad están relacionados con la presencia del HCO₃⁻, que es el anión predominante en las rocas basálticas, a valores de pH entre 6,0 y 8,5 unidades de pH (Appelo & Postma, 2005); que se corresponden con los valores de pH y las concentraciones de HCO₃⁻ encontrados en los sitios de aprovechamientos de agua muestreados.

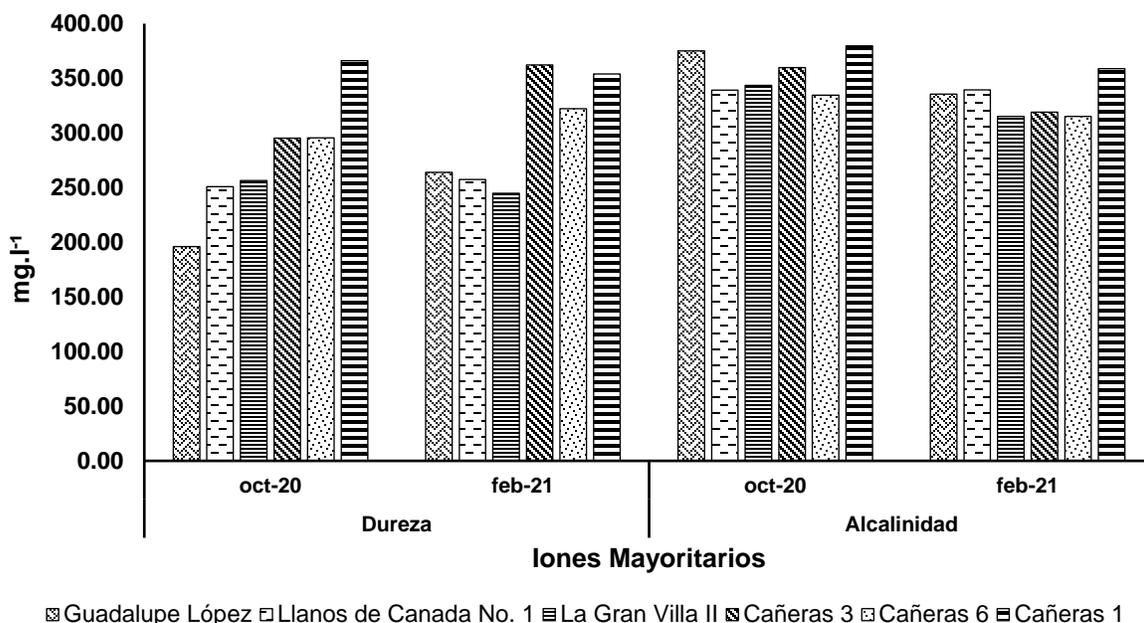


Figura 42. Concentraciones de dureza y alcalinidad total mg.l⁻¹ de pozos muestreados en febrero 2021 y octubre 2020.

b. Conductividad eléctrica del agua

Para la época de verano los valores de conductividad eléctrica se presentaron entre los rangos de 997.87 y 1328.06 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. En época invierno los valores se redujeron a intervalos de 887-989 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. Estas variaciones podrían estar influenciadas por las fuertes lluvias, favoreciendo una mayor disolución de iones en sus concentraciones.

Los valores de conductividad eléctrica evaluados en los sitios de aprovechamiento para ambas épocas de muestreo exceden más del 100% del valor máximo permisible según norma CAPRE $> 400 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, alcanzando valores mayores a $1000 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ en los pozos Llanos de Canadá No.1 ($1328.06 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) y Guadalupe López ($1201.34 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$).

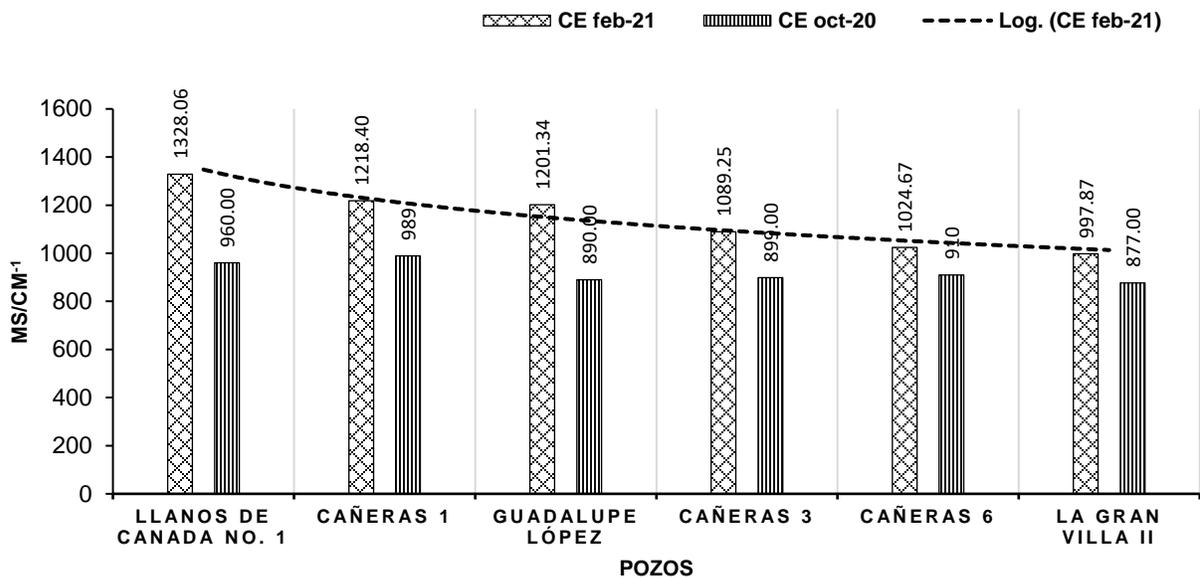


Figura 43. Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ de pozos muestreados en febrero 2021 y octubre 2020.

4.2.1.6. Metales evaluados en aguas subterráneas

Se observó que el hierro es el metal con las concentraciones más altas, seguido en el orden descendente por el Zinc. El manganeso y el cobre no tienen un patrón definido respecto al comportamiento en los sitios de muestreo evaluados. Las concentraciones

de hierro en época de verano fueron de 0.05 a 0.83 mg.l⁻¹. En el caso del zinc se encontraron concentraciones entre rangos de 0.01 y 0.9 mg.l⁻¹. La predominancia del hierro puede estar asociada a la disolución de las rocas y minerales como el feldespato y cuarzo que en superficies muy alteradas producen liberación de óxidos de hierro. El hierro es muy utilizado en la industria, por lo que existe la posibilidad de vertidos industriales ferrosos al agua. Las altas concentraciones de iones disueltos en el agua pueden favorecer que el hierro no se oxide rápidamente ya que la materia orgánica absorbe gran parte del oxígeno disuelto en el agua.

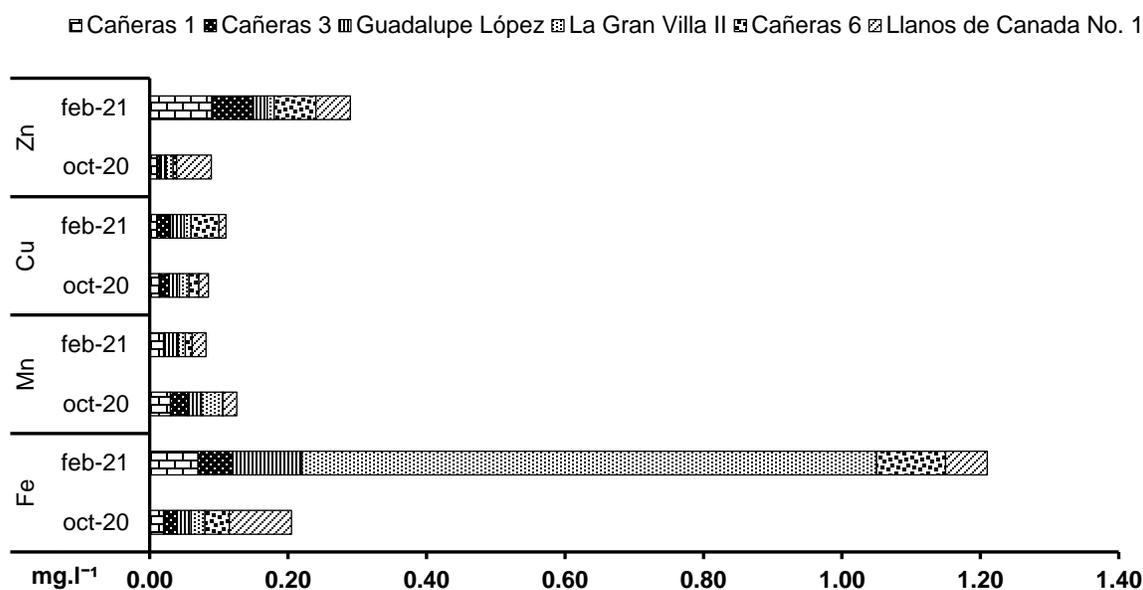


Figura 44. Prevalencia de metales en aguas subterráneas de Villanueva. Muestreo realizado en febrero 2021.

Grandes cantidades de hierro en el agua potable pueden darle un sabor metálico desagradable. No obstante, el hierro es un elemento fundamental en la nutrición humana y los efectos sobre la salud del hierro en el agua potable pueden incluir evitar o disminuir la fatiga y la anemia (McFarland & Dozier, 2016). No es muy probable que el manganeso cause un riesgo para la salud en las cantidades que se encuentran en el agua cruda y potable, sin embargo, puede tener efectos como que el agua se torne turbia y se altere su sabor, así como puede hacer que el agua manche la ropa (Pradillo, 2016).

4.2.2. Calidad de agua para riego

4.2.2.1. Norma U.S. Salinity Laboratory (USLS)

De acuerdo con el diagrama de salinidad realizado a través de la aplicación EASY-QUIM, las concentraciones salinas con respecto a los valores de conductividad eléctrica encontrados en el Acuífero de Villanueva clasifican al agua con riesgo de alta salinidad C3-S₁.

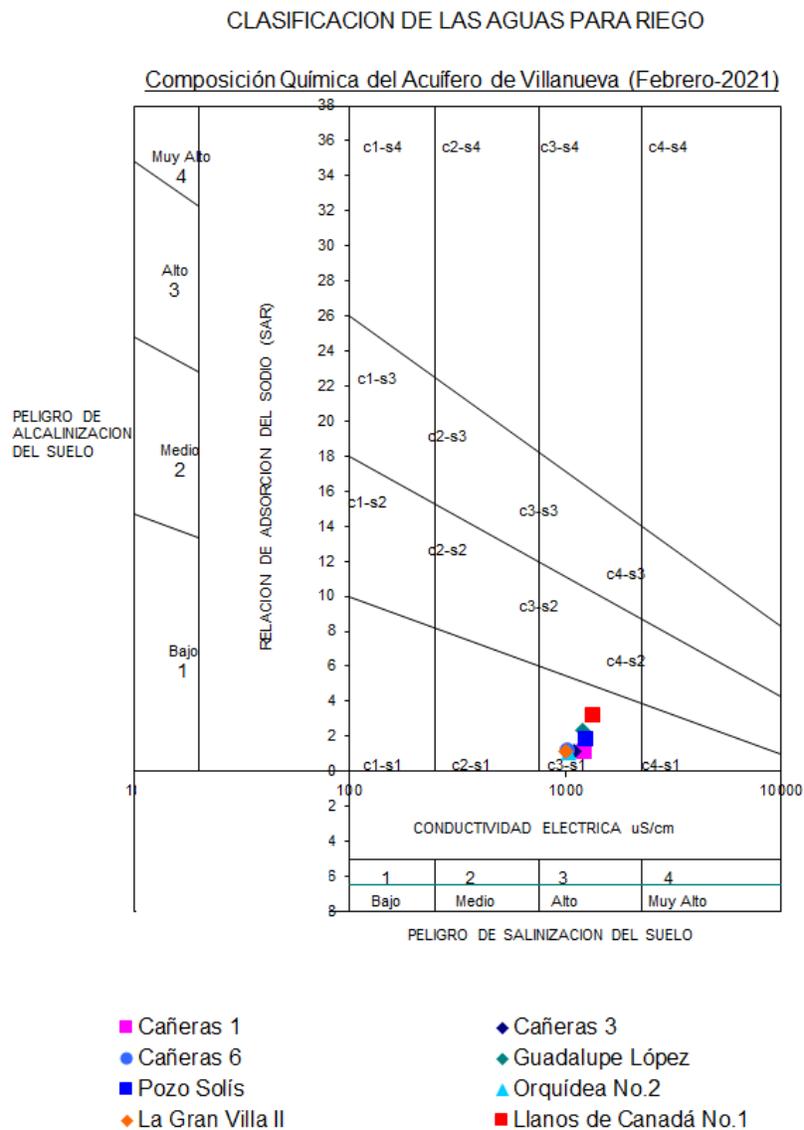


Figura 45. Diagrama de salinidad para clasificación del agua de riego.

La clasificación de las aguas para riego según diagrama de salinidad indica:

- C3: Agua de salinidad alta, que puede utilizarse para el riego de suelo con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos muy tolerantes a la salinidad.
- S₁: Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.

4.2.2.2. Coeficiente salino K. Índice de Scott

Según el índice de Scott del coeficiente salino K, se empleó el segundo criterio para los sitios de muestreo Cañeras 1, 3 y 6, Pozo Solís, Orquídea No.2 y La Gran Villa II en base a las condiciones planteadas obteniendo un valor de k de 35.55 (Cañeras 1), 37.78 (Cañeras 3), 26.78 (Cañeras 6), 32.37 (Pozo Solís), 27.84 (Orquídea No.2) y 25.09 para el sitio La Gran Villa II. Con base en estos coeficientes, en ambos sitios se obtiene una calificación de agua buena, la cual puede ser utilizada para irrigación por muchos años sin tomar precauciones para impedir la acumulación de sales.

Sin embargo, en los sitios de aprovechamiento hídrico Guadalupe López y Llanos de Canadá No.1 se empleó el tercer criterio del índice de Scott para su calificación. Para el sitio Guadalupe López se obtuvo un índice de k de 13.74 y 11.34 para el sitio Llanos de Canadá No.1. Con base en estos índices el agua se clasifica como agua tolerable para irrigación, pero se deberá tomar precauciones para impedir acumulación de sales, excepto en los suelos de drenaje artificial.

Tabla 30. Coeficiente salino K. Índice de Scott (Custodio & Llamas, 2001).

Coeficiente Salino K, a partir de Na ⁺ , Cl ⁻ y SO ₄ ²⁻ en mg.l ⁻¹		
Criterio	Condiciones	Coeficiente K
1°	Na-0.65Cl ≤ 0	2040
2°	0.48SO ₄ > Na-0.65Cl > 0	Cl 6620
3°	Na-0.65Cl-0.48SO ₄ > 0	Na+2.6Cl 662
		Na-0.32Cl-0.43 SO ₄

4.2.2.3. Índice del carbonato sódico residual (RSC)

El principal efecto de la aplicación de agua en riego complementario es la dispersión de los coloides del suelo. Ésta se produce cuando las aguas son sódicas o presentan índices de CSR elevados. Para el cálculo del carbonato sódico residual se empleó la fórmula:

CSR = (CO₃²⁻ + CO₃ H⁻) - (Ca²⁺ + Mg²⁺) en unidades de meq.l⁻¹. Para el cálculo de la adsorción del sodio se empleó la ecuación en unidades de meq.l⁻¹.

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}{2}}$$

Según el RSC se obtuvo valores entre los rangos de 0,10 a 0.50 menores al criterio de aceptación de 1,25, por lo cual clasifica al agua como recomendable para la irrigación en los sitios Cañeras 1, 6, Pozo Solís y Orquídea No.2. Los mayores índices de carbonatos sódico residual (RSC) y adsorción de sodio (RAS), se encontraron en los sitios Guadalupe López y Llanos de Canadá No.1 clasificando al agua poco recomendable para irrigación, lo que puede representar problemas en los cultivos, pérdida de porosidad del suelo, disminución de infiltración de agua al suelo y por lo tanto una mayor susceptibilidad a la erosión de los suelos.

Tabla 31. Índices de carbonato de sodio residual en sitios de aprovechamiento hídrico.

Sitios	Índice CSR	Criterio		RAS
Cañeras 1	0.18	< 1.25	Recomendable	1.10
Cañeras 3	-0.21	Negativo	No existe CSR	1.14
Cañeras 6	0.94	< 1.25	Recomendable	1.26
Guadalupe López	2.09	1.25-2.5	Poco Recomendable	2.36
Pozo Solís	0.45	< 1.25	Recomendable	1.83
Orquídea No. 2	0.50	< 1.25	Recomendable	1.06
La Gran Villa II	1.51	1.25-2.5	Poco Recomendable	1.14
Llanos de Canadá No.1	2.01	1.25-2.5	Poco Recomendable	3.19

4.2.3. Acciones de manejo sostenible

Establecer un programa de protección de pozos para reducir la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas que afectan pozos de abastecimiento de agua.

Realizar mantenimiento regular a través de limpieza mecánica y química a las rejillas de los pozos que presentaron presencia de coliformes totales y coliformes fecales para posteriormente evaluar su calidad a través de análisis bacteriológicos para su uso.

4.3. Modelo hidrogeológico conceptual

La precipitación promedio anual en el municipio de Villanueva es de 1045 mm. Las lluvias que caen sobre las rocas de basaltos (Tm) y calizas (Ky) se infiltran hasta las profundidades y drenan hacia valle de Villanueva que recargan el material geológico compuesto por depósitos aluviales cuaternarios de la formación aluvial (Qa), estos materiales son sedimentos muy permeables compuestos por arena fina y arena gruesa con arcilla que facilita el desarrollo extenso de aguas subterráneas a lo largo del valle.

El acuífero de Villanueva se conformó por el 89.8 % de suelos Tipo de los Valles y sobre este tipo de suelo se da el 97.36 % de su recarga directa por precipitación. La suma de la recarga total directa por precipitación según los tipos de suelos evaluados en el acuífero de Villanueva fue de 5.69 Mm³/año.

El mayor aporte a la recarga hídrica del área total del acuífero de Villanueva está influenciado por el río Ulúa con un caudal de recarga de 169.68 Mm³/año, el cual se le atribuye al régimen pluvial por las intensas lluvias caídas sobre la cuenca Ulúa. El río Ulúa escurre con caudales que van desde los 29.96 m³/s hasta los 424.12 m³/s. Las principales crecidas del río Ulúa se presentan a partir de junio, mismo mes en que se incrementan las precipitaciones. El río Ulúa tiene un caudal medio anual de 196.4 m³/s.

En la zona sureste o zona baja el acuífero tiene conexión con las aguas superficiales del río Ulúa, por tanto, los niveles piezométricos identificados en los pozos de esta zona fueron los más someros del acuífero y presentaron una diferencia de pocos metros 30.34 msnm (Cañeras 3) y 32.61 msnm (Cañeras 4) con relación a la carga hidráulica del río Ulúa (52.89 msnm). En esta misma zona los pozos Cañeras 2, Cañeras 3, Cañeras 5 y Cañeras 6 presentaron los valores más altos de transmisividad con rangos de 424.14 hasta 680 m²/día con respecto a los valores de transmisividad de pozos ubicados en la zona media y alta del acuífero.

Debido a la presencia masiva de rocas con carbonatos, calizas y dolomitas que se identificaron en la zona suroeste del área de estudio, las aguas que predominaron en el acuífero de Villanueva son de tipo bicarbonatada-cálcica. Hacia la zona de descarga en la parte noreste del acuífero el agua cambió su composición química de tipo bicarbonatadas-sódicas-cálcicas atribuyéndose a las diferentes reacciones que se producen a medida el agua se desplaza a través de la roca. Este comportamiento está asociado al movimiento del agua de forma tanto superficial como subterránea, el cual se desplaza con dirección hacia el este y noreste indicado en la piezometría del acuífero y desplazamiento de las aguas superficiales.

Los volúmenes de escurrimientos del flujo subterráneo están influenciados por la composición de materiales que forman los estratos litológicos del acuífero y por la conexión de las aguas superficiales en la zona sureste, donde las unidades hidrogeológicas podrían estar conectadas a la red del drenaje del río Ulúa. Los volúmenes por escurrimiento subterráneo más bajos drenan en dirección noreste con 1.95 Mm³/anual y los mayores valores de escurrimiento de agua subterránea drena en dirección sureste con valores de 3.05 Mm³/anual.

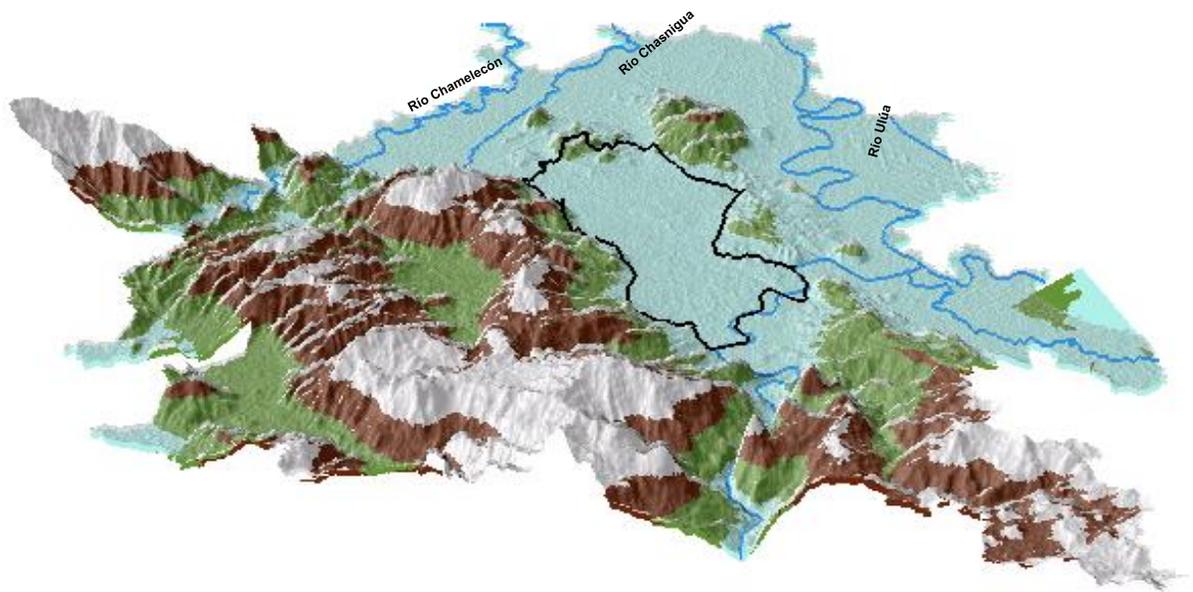


Figura 46. Geomorfología del acuífero de Villanueva.

El aprovechamiento del agua subterránea en el acuífero de Villanueva es para uso doméstico y riego agrícola. Estos usos representaron una demanda de 11.22 Mm³/anuales. Ambos aprovechamientos se dan de manera sostenible según estándares de consumo. El caudal aprovechable que ofertó el acuífero fue de 166.88 Mm³/anual. Aunque, en los meses de febrero y marzo la producción hídrica en acuífero representó la época más crítica con respecto a su oferta con rangos entre 0.78 a 0.51 Mm³. A partir del mes de mayo la disponibilidad hídrica aumentó con volúmenes aprovechables de 5.37 Mm³ hasta 56.29 Mm³ en el mes de septiembre, lo que indicó que la disminución o el incremento del caudal aprovechable del acuífero está dependiendo del aporte de caudal que ingresa al acuífero por la conexión de las aguas del río Ulúa.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de La Norma Técnica para la calidad del Agua Potable, (1995) indicó que el principal parámetro que no cumple con los valores guías para aguas destinadas para consumo humano en todas las muestras analizadas en ambas épocas estacionales del año fue la de conductividad eléctrica encontrando concentraciones entre 887 y 1328.1 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ debido a la gran cantidad de minerales con las que estas aguas drenan (basaltos y rocas de calizas predominantes en las áreas circundantes al área de estudio).

La evaluación de coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y *E. Colí*, indicó que las aguas del acuífero de Villanueva no son aptas para ingerir debido que ninguno de los parámetros evaluados en los sitios cumplió con el valor máximo admisible para aguas de consumo humano. Se detectaron concentraciones de 816.4 UFC/100 ml de CT y 160 UFC/100 ml de CF en el pozo Llanos de Canadá No.1 que se le atribuyó al vertido de aguas residuales domesticas sin previo tratamiento.

La calidad de agua para irrigación con respecto a los valores de conductividad eléctrica encontrados en el Acuífero de Villanueva clasificó al agua con riesgo de alta salinidad C3-S₁.

La evaluación de la calidad de agua para irrigación usando el índice de Scott determinó al agua como clasificación de buena, la cual puede ser utilizada para irrigación por muchos años sin tomar precauciones. El índice de Scott y carbonato sódico residual (RSC) clasificó al agua poco recomendable para irrigación en los sitios Guadalupe López y Llanos de Canadá No.1, indicando que el uso de agua para irrigación de estos sitios representa problemas en los cultivos, pérdida de porosidad del suelo, disminución de infiltración de agua al suelo y por lo tanto una mayor susceptibilidad a la erosión de los suelos.

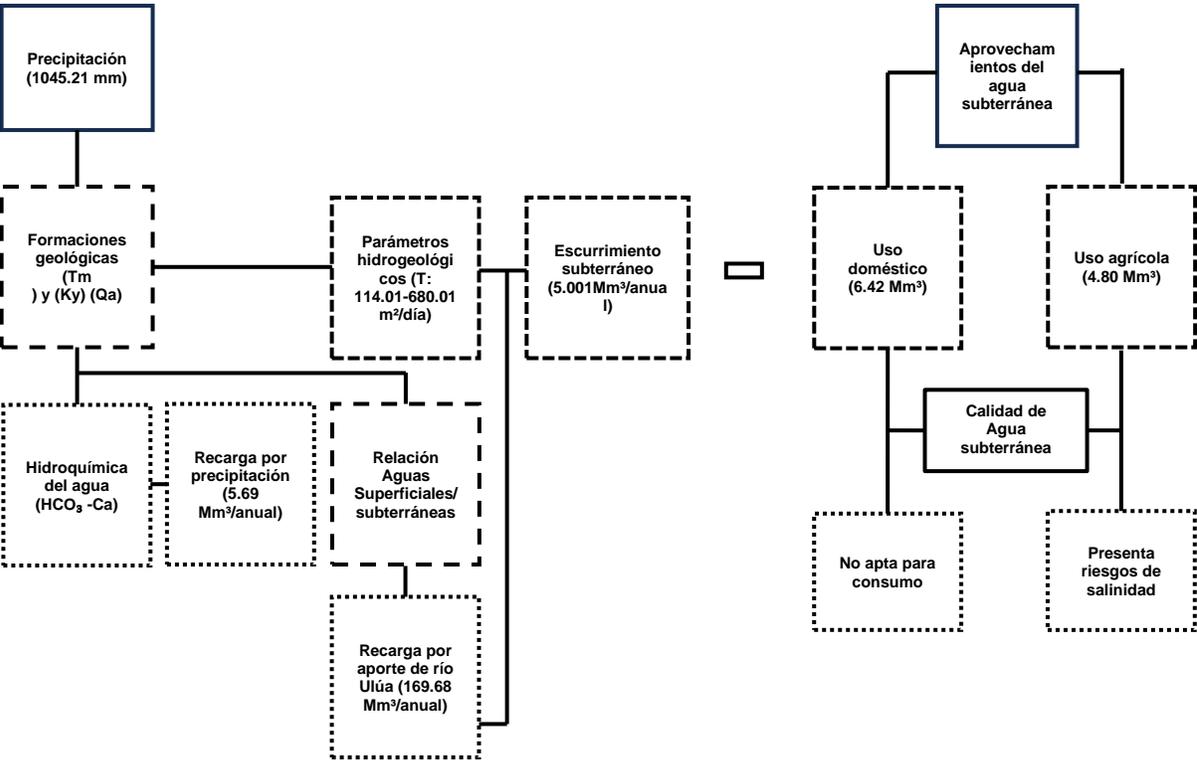


Figura 47. Flujograma del Modelo Hidrogeológico conceptual del acuífero de Villanueva.

V. CONCLUSIONES

5.1. Objetivo específico 1.

El modelo utilizado para evaluar la oferta hídrica superficial determinó que los meses de octubre y noviembre presentan la mayor productividad hídrica generando almacenamientos más excedentes en el valle de Villanueva.

Los métodos utilizados para cuantificar la evapotranspiración en el acuífero de Villanueva indicaron que los valores más altos se presentan en los meses de marzo y abril de la época seca provocando déficit en la humedad del suelo.

La época lluviosa marca un acontecimiento importante para la cuenca ya que los elevados escurrimientos del río Ulúa están asociados únicamente a los regímenes pluviales.

Se demostró que existe un aporte directo del río Ulúa hacia la recarga del acuífero de Villanueva que beneficia la productividad hídrica de los pozos.

Las fracturas de rocas ígneas plutónicas ocasionada por la falla geológica Catatao en el sitio 107 crea fisuras y conductos de transmisión de agua que drenan hacia el valle de Villanueva favoreciendo la recarga hídrica del acuífero.

Las aguas del acuífero de Villanueva son de tipo hidroquímico bicarbonato-cálcico debido que el material geológico de las rocas de calizas ha sufrido procesos de disolución.

Los espesores litológicos que componen las capas granulométricas estratigráficas del acuífero de Villanueva influyen en su desarrollo extenso de agua subterránea.

El acuífero de Villanueva no presentó fluctuaciones significativas en los niveles estáticos de los pozos monitoreados.

5.2. Objetivo específico 2

El modelo utilizado para evaluar la disponibilidad hídrica subterránea determinó que el acuífero de Villanueva es capaz de producir 14 veces la demanda actual, siendo junio y septiembre los meses con mayor oferta hídrica.

5.3. Objetivo específico 3

La calidad de agua para consumo humano del acuífero de Villanueva se ve alterado por las altas concentraciones de conductividad eléctrica encontradas en todos los sitios de muestreo, esto se debe a la disolución de las rocas de caliza y la abundancia de minerales que arrastra el río Ulúa desde la parte alta de la cuenca hasta su deposición en el valle de Villanueva.

La calidad bacteriológica del agua del acuífero no es apta para consumo humano, ya que se detectó coliformes fecales en todos los sitios evaluados.

Se detectaron concentraciones de hierro que superan ligeramente la norma de agua potable y están asociadas a la composición geológica de la zona y disolución de rocas en superficies muy alteradas.

La evaluación de agua para riego determinó que los sitios de aprovechamiento hídrico Guadalupe López y Llanos de Canadá son poco recomendables para irrigación.

VI. RECOMENDACIONES

Deberá tomarse en consideración la relación de las aguas subterráneas con respecto a las aguas superficiales en el desarrollo de proyectos agrícolas y de generación de energía, ya que estos pueden disminuir la recarga inducida por el río Ulúa al Acuífero de Villanueva y por ende no suplir la demanda de agua a la población.

Se recomienda realizar análisis de agua a mayor número de sitios, mínimo cada tres veces al año, que permita el diseño de un sistema de tratamiento de agua antes de su distribución.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, I. (2013). *Metodología para desarrollar balances de aguas subterráneas: Caso estudio acuífero allende-piedras negras coahuila* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000696395>.
- Apello, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry Groundwater and Pollution* (2nd Edition).
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- ATICA S. de R.L. (2002). *Recursos de agua subterránea*.
- Balairón, L., Álvarez, J., Borrell, E., & Delgado, M. (2003). *Balance hídrico en Honduras. Ingeniería*.
- Barry, D., Rosa, H., Artiga, R., & Molina, H. (1998). *El desafío del agua en Centroamérica*. 4, 101-126.
- Brown And Caldwell. (2002). *Groundwater Resources Monitoring Report And Management Plan. Villanueva, Republic of Honduras, C.A.*
- Canadian Council of Ministers of the Environment, C. (2008). *Canadian Water Quality Guidelines (CWQG)*.
- Centro de Formación de la Cooperación Española. (2017). *La importancia de las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos: Aplicaciones prácticas en proyectos de cooperación internacional para el desarrollo*.
- Cifuentes, B. M. G. (2004). *Determinación De La Calidad Del Agua Para Consumo Humano Y Uso Industrial, Obtenida De Pozos Mecánicos En La Zona 11, Mixco, Guatemala*. 69.
- Cordain & Eaton Sebastian. (2005). *Indicadores del agua parámetro radioactivas, físicas, químicos y organolépticas*.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea* (Segunda Edición).

- Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea: Vol. II* (Segunda Edición).
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología Subterránea: Vol. Vol. I* (2da. Edición ed.,). Omega.
- Delleur, Jacques. W. (1999). *The Handbook of Groundwater Engineering* (Editor-in-Chief).
- Estándar de Producción de Bonsucro, N. (2015). *Estándar de Producción de Bonsucro*.
- Esteves, F. de A. (1998). *Fundamentos de Limnología. Río de Janeiro* (2ª Ed.).
- Estrela, T. (1992). *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos.- Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España*.
- FAO AQUASTAT. (2015). *Perfil de País-Honduras. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia*. <https://www.fao.org/3/ca0420es/CA0420ES.pdf>.
- Fawell, J., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2003). Contaminants in drinking water. *British Medical Bulletin*, 68(1), 199-208. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg027>.
- Fetter, C. W. (1988). *Applied Hydrogeology* (Fourth Edition).
- Geyh, M. (2000). *Groundwater Saturated and unsaturated zone. Environmental isotopes in the hydrological cycle* (1-IV). https://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/Mook_IV.pdf
- Guillén, R., & Tabora, F. (2015). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica, Honduras*. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_honduras_2016.pdf.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. In Agric.*, 1(2), 96-99.
- Hill, D. D., Owens, W. E., & Tchounwou, P. B. (2005). Comparative Assessment of the Physico-Chemical and Bacteriological Qualities of Selected Streams in Louisiana. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7.

- Huallpara, L., Ormachea, M., & García, M. (2017). *Evaluación de la Calidad de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas residuales de la ciudad de La Paz, Bolivia*. 34(4), 104-111.
- Jiménez, F. (2005). *Metodologías de investigación en sistemas agroforestales: Medición de los componentes del balance hídrico en saf*.
- Kevern, R. (1989). *Alkalinity water, classification systems*.
- Krásný, J. (2003). *Distribución espacial de los parámetros hidráulicos en diversos medios hidrogeológicos*. 2(114), 171-182.
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu-Álvarez, B., Rojas, N., & Heydrich-Pérez, M. (2013). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: Revisión de la literatura*. Vol. 44(No. 3), 24-34.
- Latin Consult. (2011). *Informe final de línea base, Balance hídrico y Plan de acción inmediata* (Vol. 2).
- Livingston, D. A. (1963). *Chemical composition of Rivers and Lakes*. (Data of geochemistry 6th ed). In M. Fleischer Ed.
- McFarland, M. L., & Dozier, M. C. (2016). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. *El Sistema Universitario Texas A&M*.
- Méndez, F. (2017). *Análisis comparativo de modelos agregados de balance hídrico en la España peninsular y su sensibilidad a la incertidumbre climática*. Universidad de Murcia.
- Meneses, A., & Galiego, M. (2019). *Comparación de productividad de las principales Agroindustrias Azucareras de Latinoamérica período 1979/1980 A 2018/2019*. 515-529.
- Mora, D., Alfaro, N., Portuguez, C., & Peinador, M. (2000). *Cálculos en las vías urinarias y su relación con el consumo de calcio en el agua de bebida en Costa Rica*. *Rev. Costarica. salud pública*, 61-70.
- Mora, Portuguez, C. F., Alfaro, N., & Hernández, M. (2015). *Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de nicoya y los otros distritos de Guanacaste*. Vol. 28 (No. 3), 28(3):3.

Murillo Álvarez, M. (s. f.). *Vulnerabilidad de los acuíferos en Honduras a la sobreexplotación y los cambios climáticos.*

Norma NTON 09 003-99. (s. f.).

Norma Regional CAPRE. (1994). *Normas de Calidad del Agua para Consumo Humano* (Primera Edición).

Norma Técnica para la calidad del Agua Potable. (1995). *Norma Técnica Nacional para la calidad del Agua Potable.*

O.P.S (1988). Guías para la calidad del agua potable: Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. *OPS. Publicación Científica;(508), 1988.*

Ordóñez Gálvez, J. J. (2012). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas-acuíferos.* Sociedad Geográfica de Lima : Foro Peruano para el Agua.

Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (fourth edition).

Organización Panamericana de la Salud. (1988). Guías para la calidad del agua potable: Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. *Publicación Científica;508, 132.*

Peralta, A., & López Sardi, E. M. (2012). Los Acuíferos de nuestro país: Un tesoro para las generaciones venideras. *Ciencia y Tecnología, 1(12), 73.* [https://doi.org/10.18682/cyt.v1i12.648.](https://doi.org/10.18682/cyt.v1i12.648)

Pradillo, A. (2016). *Calidad del agua, contaminación y toxicidad.* [http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat_calidad_agua.pdf.](http://www.ub.edu/fem/docs/divulgacio/NPrat_calidad_agua.pdf)

Rebollo, L. F. (s. f.). *Tema 3 Clasificación hidrogeológica de las formaciones rocosas.* 17.

Reconco, D. (2019). *Geomorfología, espeología y geositios del territorio hondureño.* 112.

Restrepo, S. (2015). *El uso del agua en el cultivo de caña de azúcar. Una mirada desde la huella hídrica.* Universidad del Valle.

- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2010). *Análisis del agua*. (Ed. Omega).
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2ª edición).
- Rutledge, A. T. (2000). *Considerations for use of the Rora program to estimate Ground-Water Recharge from Streamflow Records*.
- Saenz. (1999). *Evaluación de la Calidad del Agua dese un Enfoque Multidisciplinario*.
- Samani, Z. (2015). *Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 126, (No. 4), 265-267.
- Samper, F. J. (1997). *Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua: Utilización, calibración y errores (Evaluations methods of rain water recharge from water balance: Utility, calibration and errors)*. En: *La Evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica*. 41-81.
- Santa Cruz, J. N. (1988). *Caracterización del recurso hídrico subterráneo con miras al riego complementario en la región NNE-Maicera típica-de la Provincia de Buenos Aires*.
- Schosinsky, G. (2006). *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos*. 13-30.
- Schulz, C., & García, R. (2018). *Balance Hídrico y Recarga de Acuíferos*.
- Standard Methods for the examination of water and wastewater. (2017). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (23nd. Edition). APHA.
- Touhami, I., Chirino, E., Andreu, J., Sanchez, J., Pulido, A., García, E., & Bellot, J. (2014). *Efecto del cambio climático en la recarga del acuífero del Ventós (Alicante)*. 56, 87-90.
- Vargas, A. (1998). *Balance hídrico en la cuenca del Río Reventazón, Costa Rica*.
- Wetzel, R. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems* (Third Edition ed).
- Zhen, B. Y. (2009). *Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008*. 183. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3397.0807>

ANEXOS

Anexo 1. Niveles piezométricos de pozos del acuífero de Villanueva

ID	x	y	NP
Orquídea No.2	393142	1694141	61.96
Orquídea No.1	393034	1694095	57.04
Col. Municipal	395157	1694522	56.006
Buena Vista	395939	1693554	44.3
Villa Linda Norte	394962	1692873	44.41
Guadalupe López	396098	1693853	49.47
La Victoria	394395	1693962	39.94
Cañeras 2	393445	1691699	35.83
Cañeras 1	392752	1691490	47.96
Independencia I	393832	1693445	52.91
Manuel Coello	394328	1692334	46.05
Vivero Municipal	393415	1694607	72.41
Llanos de Canadá No.2	395814	1692807	50.45
Zip Villanueva	394991	1694016	43.43
Pozo Solís	393212	1693676	47.95
Cañeras 4	392758	1691692	50.1
Cañeras 5	393381	1690843	37.64
Terraplén	394338	1692337	53.9
Pozo Villa Sol	393665	1693841	47.91
Pozo Linda Cuello	390989	1687415	47.08
La Gran Villa II	394751	1695483	32.86
Cañeras 3	393009	1691776	30.34
Pozo Cañeras 6	393528	1691783	32.61

Anexo 2. Niveles piezométricos de pozos del Valle de Sula

ID	x	y	NP
Colonia Fraternidad	399855	1707090	13.38
El Maestro	400224	1707203	20.83
El Mixto	400700	1706883	22.75
Cruz Roja	400469	1707065	15.49
Materno	400587	1707306	19.45
Martínez Rivera	400135	1705691	24.51
Gabriela Mistral	400294	1706908	23.47
Zapote No.1	398158	1706728	26.8
Zapote No.2	397798	1706836	27.82
Planeta No.1	398803	1708994	22.42
Planeta No.3	398284	1709356	21.7
FHA No.1	399594	1707531	22.48
FHA No.2	399624	1707517	23.51
Aeropuerto	399349	1707894	20
Jerusalén No.1	397548	1709059	23.26
Jerusalén No.2	397368	1708923	21.5
Guymuras	397437	1708534	21.14
San Cristóbal	397715	1708758	17.85
La Paz No.2	400263	1706706	19.2
Oro verde	403573	1705732	21.7
Villa Esther	402604	1706467	17.86
San Francisco	397287	1726970	31.69
San Antonio	397599	1726708	29.25
Primavera	397194	1726282	30.94
Prado I	399065	1728223	20.57
Prado II	399065	1725620	20.45
Residencial el Japón	400206	1725865	17.5
Inez carranza Barnica	398277	1720762	28.88
Bomberos I	397867	1726032	23.71
Residencial San Carlos	399179	1726619	21.38
Residencial América	399292	1726913	23.28
Victoria # 1	397645	1721746	31.62
Residencial Europa	399366	1725680	20.82
Canadá	397831	1725769	24.26
La Mora No. 1	396909	1725541	25.19
Pozo #5 Inversiones MPG	390117	1723014	134.69
Pozo # 4 Inversiones MPG	389589	1722432	129.69

Pozo # 2 Inmobiliaria El Activo	390225	1722095	94.91
Pozo Colvisula	391063	1719195	58.59
Pozo Res. Girona	395282	1716961	42.25
Pozo Residencial Salamanca	394732	1715674	30.78
Pozo Residencial Mallorca	394305	1715287	31.97
Pozo # 1 Inversiones MPG	389772	1722491	122.65
Pozo # 6 Inversiones MPG	389970	1723242	152.27
Pozo. Hacienda San Francisco	389927	1720957	85.25
Pozo. Hacienda Tara	390224	1719932	80.65
Pozo Hospital del Valle	391099	1718049	57.98
Pozo Hacienda Tara 2	393344	1719700	26.1
Duracreto	394302	1720403	57.65
Pozo # 7 Inversiones MPG	390437	1722275	108.01
Valencia # 3	395388	1715618	50.35
Villa	394264	1713879	38.01

Anexo 3. Valores de pruebas de infiltración

Prueba de infiltración Col. 21 Abril

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (min) 2	lectura h (cm)	Dh (cm) 1	Tiempo 2 (min)	Dh (cm) 2	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	24.3	1.7	1	1.7	1.7	1.7	0.01666667	1020
1	2	2	22.8	1.5	1	1.5	3.2	1.5	0.03333333	900
1	3	3	21.8	1	1	1	4.2	1	0.05	600
1	4	4	20.7	1.1	1	1.1	5.3	1.1	0.06666667	660
1	5	5	19.9	0.8	1	0.8	6.1	0.8	0.08333333	480
1	6	6	19	0.9	1	0.9	7	0.9	0.1	540
1	7	7	18.5	0.5	1	0.5	7.5	0.5	0.11666667	300
1	8	8	17.7	0.8	1	0.8	8.3	0.8	0.13333333	480
1	9	9	16.9	0.8	1	0.8	9.1	0.8	0.15	480
1	10	10	15.9	1	1	1	10.1	1	0.16666667	600
2	12	12	14.4	1.5	2	1.5	11.6	0.75	0.2	450
2	14	14	13.3	1.1	2	1.1	12.7	0.55	0.23333333	330
2	16	16	12	1.3	2	1.3	14	0.65	0.26666667	390
2	18	18	11	1	2	1	15	0.5	0.3	300
2	20	20	10.5	0.5	2	0.5	15.5	0.25	0.33333333	150
2	22	22	9.5	1	2	1	16.5	0.5	0.36666667	300
2	24	24	8.8	0.7	2	0.7	17.2	0.35	0.4	210
2	26	26	8	0.8	2	0.8	18	0.4	0.43333333	240
2	28	28	7.5	0.5	2	0.5	18.5	0.25	0.46666667	150
2	30	30	7	0.5	2	0.5	19	0.25	0.5	150
2	32	32	6.5	0.5	2	0.5	19.5	0.25	0.53333333	150
2	34	34	6	0.5	2	0.5	20	0.25	0.56666667	150
2	36	36	5.6	0.4	2	0.4	20.4	0.2	0.6	120
2	38	38	5	0.6	2	0.6	21	0.3	0.63333333	180
2	40	40	4.6	0.4	2	0.4	21.4	0.2	0.66666667	120
5	45	45	3.8	0.8	5	0.8	22.2	0.16	0.75	96
0	45	50	28	0	5	3	25.2	0.6	0.83333333	360

5	50	55	25	3	5	3	28.2	0.6	0.91666667	360
5	55	60	22	3	5	3.6	31.8	0.72	1	432
5	60	70	18.4	3.6	10	4.4	36.2	0.44	1.16666667	264
10	70	80	14	4.4	10	3.4	39.6	0.34	1.33333333	204
10	80	90	10.6	3.4	10	2.7	42.3	0.27	1.5	162
10	90	100	7.9	2.7	10	2.5	44.8	0.25	1.66666667	150
0	90	110	28	0	10	2.6	47.4	0.26	1.83333333	156
10	100	120	25.5	2.5	10	1.9	49.3	0.19	2	114
10	110	130	22.9	2.6	10	2.1	51.4	0.21	2.16666667	126
10	120	140	21	1.9	10	1.8	53.2	0.18	2.33333333	108
10	130	150	18.9	2.1	10	2	55.2	0.2	2.5	120
10	140	160	17.1	1.8	10	1.9	57.1	0.19	2.66666667	114
10	150	170	15.1	2	10	2.2	59.3	0.22	2.83333333	132
10	160	180	13.2	1.9	10	1.9	61.2	0.19	3	114
10	170		11	2.2						
10	180		9.1	1.9						

Prueba de infiltración Col. La Bendición

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)1	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	28	0	0	0	0	0
1	1	27	1	1	1	0.01666667	600
1	2	26.4	0.6	1.6	0.6	0.03333333	360
1	3	25.7	0.7	2.3	0.7	0.05	420
1	4	25	0.7	3	0.7	0.06666667	420
1	5	24.6	0.4	3.4	0.4	0.08333333	240
1	6	24	0.6	4	0.6	0.1	360
1	7	23.5	0.5	4.5	0.5	0.11666667	300
1	8	22.9	0.6	5.1	0.6	0.13333333	360
1	9	22.6	0.3	5.4	0.3	0.15	180
1	10	22.1	0.5	5.9	0.5	0.16666667	300
2	12	21.5	0.6	6.5	0.3	0.2	180
2	14	20.7	0.8	7.3	0.4	0.23333333	240
2	16	20.1	0.6	7.9	0.3	0.26666667	180
2	18	19.6	0.5	8.4	0.25	0.3	150
2	20	18.9	0.7	9.1	0.35	0.33333333	210
2	22	18.5	0.4	9.5	0.2	0.36666667	120
2	24	18	0.5	10	0.25	0.4	150

2	26	17.5	0.5	10.5	0.25	0.43333333	150
2	28	17	0.5	11	0.25	0.46666667	150
2	30	16.4	0.6	11.6	0.3	0.5	180
5	35	15.4	1	12.6	0.2	0.58333333	120
5	40	14.5	0.9	13.5	0.18	0.66666667	108
5	45	14	0.5	14	0.1	0.75	60
5	50	13	1	15	0.2	0.83333333	120
10	60	12.6	0.4	15.4	0.04	1	24
10	70	12	0.6	16	0.06	1.16666667	36
10	80	9.9	2.1	18.1	0.21	1.33333333	126
10	90	9.5	0.4	18.5	0.04	1.5	24
10	100	8.9	0.6	19.1	0.06	1.66666667	36
10	110	8.8	0.1	19.2	0.01	1.83333333	6
10	120	8.7	0.1	19.3	0.01	2	6
10	130	8.6	0.1	19.4	0.01	2.16666667	6
10	140	8.4	0.2	19.6	0.02	2.33333333	12
20	160	8.2	0.2	19.8	0.01	2.66666667	6
20	180	8.1	0.1	19.9	0.005	3	3

Prueba de Infiltración Becamo

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)1	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	29	0	0	0	0	0
1	1	28	1	1	1	0.01666667	600
1	2	27.7	0.3	1.3	0.3	0.03333333	180
1	3	27.5	0.2	1.5	0.2	0.05	120
1	4	27.4	0.1	1.6	0.1	0.06666667	60
1	5	27	0.4	2	0.4	0.08333333	240
1	6	27	0	2	0	0.1	0
1	7	27	0	2	0	0.11666667	0
1	8	26.9	0.1	2.1	0.1	0.13333333	60
1	9	26.8	0.1	2.2	0.1	0.15	60
1	10	26.7	0.1	2.3	0.1	0.16666667	60
2	12	26.5	0.2	2.5	0.1	0.2	60
2	14	26.4	0.1	2.6	0.05	0.23333333	30
2	16	26.4	0	2.6	0	0.26666667	0
2	18	26.2	0.2	2.8	0.1	0.3	60
2	20	26	0.2	3	0.1	0.33333333	60
2	22	25.9	0.1	3.1	0.05	0.36666667	30
2	24	25.9	0	3.1	0	0.4	0
2	26	25.6	0.3	3.4	0.15	0.43333333	90

2	28	25.5	0.1	3.5	0.05	0.46666667	30
2	30	25.4	0.1	3.6	0.05	0.5	30
5	35	25	0.4	4	0.08	0.58333333	48
5	40	24.9	0.1	4.1	0.02	0.66666667	12
5	45	24.6	0.3	4.4	0.06	0.75	36
5	50	24.1	0.5	4.9	0.1	0.83333333	60
5	55	24	0.1	5	0.02	0.91666667	12
5	60	23.9	0.1	5.1	0.02	1	12
10	70	23.3	0.6	5.7	0.06	1.16666667	36
10	80	22.9	0.4	6.1	0.04	1.33333333	24
10	90	22.5	0.4	6.5	0.04	1.5	24
10	100	22	0.5	7	0.05	1.66666667	30
10	110	21.7	0.3	7.3	0.03	1.83333333	18
10	120	21.5	0.2	7.5	0.02	2	12
10	130	21.2	0.3	7.8	0.03	2.16666667	18
10	140	21.1	0.1	7.9	0.01	2.33333333	6
20	160	20.8	0.3	8.2	0.015	2.66666667	9
20	180	20.5	0.3	8.5	0.015	3	9

Prueba de infiltración Col. Gracias a Dios

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (min) 2	lectura h (cm)	Dh (cm)1	Tiempo 2 (min)	Dh (cm) 2	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	28.5	1.5	1	1.5	1.5	1.5	0.01666667	900
1	2	2	27.3	1.2	1	1.2	2.7	1.2	0.03333333	720
1	3	3	26	1.3	1	1.3	4	1.3	0.05	780
1	4	4	25	1	1	1	5	1	0.06666667	600
1	5	5	24.3	0.7	1	0.7	5.7	0.7	0.08333333	420
1	6	6	23	1.3	1	1.3	7	1.3	0.1	780
1	7	7	22.1	0.9	1	0.9	7.9	0.9	0.11666667	540
1	8	8	21	1.1	1	1.1	9	1.1	0.13333333	660
1	9	9	20.2	0.8	1	0.8	9.8	0.8	0.15	480
1	10	10	19.1	1.1	1	1.1	10.9	1.1	0.16666667	660
2	12	12	17.5	1.6	2	1.6	12.5	0.8	0.2	480
2	14	14	16.2	1.3	2	1.3	13.8	0.65	0.23333333	390
2	16	16	15.1	1.1	2	1.1	14.9	0.55	0.26666667	330
2	18	18	14.4	0.7	2	0.7	15.6	0.35	0.3	210

2	20	20	13.3	1.1	2	1.1	16.7	0.55	0.33333333	330
2	22	22	12.4	0.9	2	0.9	17.6	0.45	0.36666667	270
2	24	24	11.4	1	2	1	18.6	0.5	0.4	300
2	26	26	10.5	0.9	2	0.9	19.5	0.45	0.43333333	270
2	28	28	9.8	0.7	2	0.7	20.2	0.35	0.46666667	210
2	30	30	8.9	0.9	2	0.9	21.1	0.45	0.5	270
5	35	35	7.5	1.4	5	1.4	22.5	0.28	0.58333333	168
5	40	40	6.5	1	5	1	23.5	0.2	0.66666667	120
5	45	45	5.6	0.9	5	0.9	24.4	0.18	0.75	108
0	45	50	28	0	5	0.8	25.2	0.16	0.83333333	96
5	50	55	27.2	0.8	5	1.2	26.4	0.24	0.91666667	144
5	55	60	26	1.2	5	2	28.4	0.4	1	240
5	60	70	24	2	10	1.4	29.8	0.14	1.16666667	84
10	70	80	22.6	1.4	10	2.1	31.9	0.21	1.33333333	126
10	80	90	20.5	2.1	10	2.8	34.7	0.28	1.5	168
10	90	100	17.7	2.8	10	2.2	36.9	0.22	1.66666667	132
10	100	110	15.5	2.2	10	2	38.9	0.2	1.83333333	120
10	110	120	13.5	2	10	2	40.9	0.2	2	120
10	120	130	11.5	2	10	2.1	43	0.21	2.16666667	126
10	130	140	9.4	2.1	10	2.5	45.5	0.25	2.33333333	150
10	140	160	6.9	2.5	20	2.6	48.1	0.13	2.66666667	78
20	160	180	4.3	2.6	20	2.4	50.5	0.12	3	72
20	180		1.9	2.4						

Prueba de infiltración El Cutuquito

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	lectura h (cm)	Dh (cm)1	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	30	0	0	0	0	0
1	1	29.5	0.5	0.5	0.5	0.01666667	300
1	2	29.3	0.2	0.7	0.2	0.03333333	120
1	3	29.1	0.2	0.9	0.2	0.05	120
1	4	28.8	0.3	1.2	0.3	0.06666667	180
1	5	28.5	0.3	1.5	0.3	0.08333333	180
1	6	28.2	0.3	1.8	0.3	0.1	180
1	7	28	0.2	2	0.2	0.11666667	120

1	8	27.9	0.1	2.1	0.1	0.13333333	60
1	9	27.8	0.1	2.2	0.1	0.15	60
1	10	27.7	0.1	2.3	0.1	0.16666667	60
2	12	27.6	0.1	2.4	0.05	0.2	30
2	14	27.5	0.1	2.5	0.05	0.23333333	30
2	16	27.3	0.2	2.7	0.1	0.26666667	60
2	18	27	0.3	3	0.15	0.3	90
2	20	26.9	0.1	3.1	0.05	0.33333333	30
2	22	26.7	0.2	3.3	0.1	0.36666667	60
2	24	26.5	0.2	3.5	0.1	0.4	60
2	26	26.1	0.4	3.9	0.2	0.43333333	120
2	28	26	0.1	4	0.05	0.46666667	30
2	30	25.9	0.1	4.1	0.05	0.5	30
5	35	25.6	0.3	4.4	0.06	0.58333333	36
5	40	25.1	0.5	4.9	0.1	0.66666667	60
5	45	24.6	0.5	5.4	0.1	0.75	60
5	50	24.3	0.3	5.7	0.06	0.83333333	36
5	55	23.9	0.4	6.1	0.08	0.91666667	48
5	60	23.5	0.4	6.5	0.08	1	48
10	70	23	0.5	7	0.05	1.16666667	30
10	80	22.2	0.8	7.8	0.08	1.33333333	48
10	90	21.7	0.5	8.3	0.05	1.5	30
10	100	21.4	0.3	8.6	0.03	1.66666667	18
10	110	20.9	0.5	9.1	0.05	1.83333333	30
10	120	20.5	0.4	9.5	0.04	2	24
10	130	20.1	0.4	9.9	0.04	2.16666667	24
10	140	19.8	0.3	10.2	0.03	2.33333333	18
20	160	18.9	0.9	11.1	0.045	2.66666667	27
20	180	18.1	0.8	11.9	0.04	3	24

Prueba de Infiltración El Pinto

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado 2 (min)	lectura h (cm)	Dh (cm) 1	Tiempo 2 (min)	Dh (cm) 2	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	28.6	1.4	1	1.4	1.4	1.4	0.01666667	840
1	2	2	27.5	1.1	1	1.1	2.5	1.1	0.03333333	660
1	3	3	26.6	0.9	1	0.9	3.4	0.9	0.05	540
1	4	4	25.9	0.7	1	0.7	4.1	0.7	0.06666667	420

1	5	5	25	0.9	1	0.9	5	0.9	0.08333333	540
1	6	6	24.3	0.7	1	0.7	5.7	0.7	0.1	420
1	7	7	23.8	0.5	1	0.5	6.2	0.5	0.11666667	300
1	8	8	23	0.8	1	0.8	7	0.8	0.13333333	480
1	9	9	22.4	0.6	1	0.6	7.6	0.6	0.15	360
1	10	10	22	0.4	1	0.4	8	0.4	0.16666667	240
2	12	12	20.9	1.1	2	1.1	9.1	0.55	0.2	330
2	14	14	19.8	1.1	2	1.1	10.2	0.55	0.23333333	330
2	16	16	18.7	1.1	2	1.1	11.3	0.55	0.26666667	330
2	18	18	17.8	0.9	2	0.9	12.2	0.45	0.3	270
2	20	20	16.9	0.9	2	0.9	13.1	0.45	0.33333333	270
2	22	22	16	0.9	2	0.9	14	0.45	0.36666667	270
2	24	24	15.1	0.9	2	0.9	14.9	0.45	0.4	270
2	26	26	14.4	0.7	2	0.7	15.6	0.35	0.43333333	210
2	28	28	13.6	0.8	2	0.8	16.4	0.4	0.46666667	240
2	30	30	13	0.6	2	0.6	17	0.3	0.5	180
5	35	35	11.2	1.8	5	1.8	18.8	0.36	0.58333333	216
5	40	40	9.6	1.6	5	1.6	20.4	0.32	0.66666667	192
5	45	45	8.6	1	5	1	21.4	0.2	0.75	120
5	50	50	7.5	1.1	5	1.1	22.5	0.22	0.83333333	132
5	55	55	6.5	1	5	1	23.5	0.2	0.91666667	120
5	60	60	5.6	0.9	5	0.9	24.4	0.18	1	108
10	70	70	3.5	2.1	10	2.1	26.5	0.21	1.16666667	126
0	70	80	28	0	10	3.5	30	0.35	1.33333333	210
10	80	90	24.5	3.5	10	3.2	33.2	0.32	1.5	192
10	90	100	21.3	3.2	10	2.8	36	0.28	1.66666667	168
10	100	110	18.5	2.8	10	2	38	0.2	1.83333333	120
10	110	120	16.5	2	10	2	40	0.2	2	120
10	120	130	14.5	2	10	1.9	41.9	0.19	2.16666667	114
10	130	140	12.6	1.9	10	2.2	44.1	0.22	2.33333333	132
10	140	160	10.4	2.2	20	3.8	47.9	0.19	2.66666667	114
20	160	180	6.6	3.8	20	3.7	51.6	0.185	3	111
20	180		2.9	3.7						

Prueba de infiltración La Villareal

Tiempo 1 (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo acumulado (min) 2	lectura h (cm)	Dh (cm) 1	Tiempo 2 (min)	Dh (cm) 2	Infiltración acumulada (cm)	Velocidad de infiltración (cm/min)	Tiempo (h)	Infiltración (mm/h)
0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	26.7	1.3	1	1.3	1.3	1.3	0.01666667	780
1	2	2	25.5	1.2	1	1.2	2.5	1.2	0.03333333	720
1	3	3	24.6	0.9	1	0.9	3.4	0.9	0.05	540
1	4	4	23.5	1.1	1	1.1	4.5	1.1	0.06666667	660
1	5	5	22.3	1.2	1	1.2	5.7	1.2	0.08333333	720
1	6	6	21.2	1.1	1	1.1	6.8	1.1	0.1	660
1	7	7	20	1.2	1	1.2	8	1.2	0.11666667	720
1	8	8	18.8	1.2	1	1.2	9.2	1.2	0.13333333	720
1	9	9	17.6	1.2	1	1.2	10.4	1.2	0.15	720
1	10	10	16.5	1.1	1	1.1	11.5	1.1	0.16666667	660
2	12	12	14.8	1.7	2	1.7	13.2	0.85	0.2	510
2	14	14	12.9	1.9	2	1.9	15.1	0.95	0.23333333	570
2	16	16	11.5	1.4	2	1.4	16.5	0.7	0.26666667	420
2	18	18	10	1.5	2	1.5	18	0.75	0.3	450
2	20	20	9	1	2	1	19	0.5	0.33333333	300
2	22	22	7.9	1.1	2	1.1	20.1	0.55	0.36666667	330
2	24	24	6.9	1	2	1	21.1	0.5	0.4	300
2	26	26	6	0.9	2	0.9	22	0.45	0.43333333	270
2	28	28	5.5	0.5	2	0.5	22.5	0.25	0.46666667	150
2	30	30	5	0.5	2	0.5	23	0.25	0.5	150
0	30	35	28	0	5	1.1	24.1	0.22	0.58333333	132
5	35	40	26.9	1.1	5	2.3	26.4	0.46	0.66666667	276
5	40	45	24.6	2.3	5	2.1	28.5	0.42	0.75	252
5	45	50	22.5	2.1	5	1.6	30.1	0.32	0.83333333	192
5	50	55	20.9	1.6	5	0.9	31	0.18	0.91666667	108
5	55	60	20	0.9	5	1	32	0.2	1	120
5	60	70	19	1	10	2	34	0.2	1.16666667	120
10	70	80	17	2	10	2.9	36.9	0.29	1.33333333	174
10	80	90	14.1	2.9	10	2	38.9	0.2	1.5	120
10	90	100	12.1	2	10	1.3	40.2	0.13	1.66666667	78
10	100	110	10.8	1.3	10	0.9	41.1	0.09	1.83333333	54
10	110	120	9.9	0.9	10	0.7	41.8	0.07	2	42
10	120	130	9.2	0.7	10	0.2	42	0.02	2.16666667	12
10	130	140	9	0.2	10	0.2	42.2	0.02	2.33333333	12
10	140	160	8.8	0.2	20	0.5	42.7	0.025	2.66666667	15
20	160	180	8.3	0.5	20	0.7	43.4	0.035	3	21
20	180		7.6	0.7						

Anexo 4. Balance hídrico para suelos de los Valles de textura franco-arenosa

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Acuífero de Villanueva, Municipio de Villanueva, Departameto de Córdés, HND

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arenosa

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

679.00

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.18

Kfc [0.01%]

0.91344

I [0.01%] =

1

DS (g/cm³):

1.40

PR (mm)

300.00

HSi (mm)

80.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

10

Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC

14.00

58.80

PM

8.00

33.60

(CC-PM)

6.00

25.20

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	66.80	59.79	36.91	21.40	52.52	117.10	100.04	91.55	120.92	150.17	136.88	91.13	1045.21
Ret [mm]	8.02	7.17	5.00	5.00	6.30	14.05	12.01	10.99	14.51	18.02	16.43	10.94	128.43
Pi (mm)	58.79	52.62	31.91	16.40	46.21	103.05	88.04	80.57	106.41	132.15	120.45	80.19	916.78
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	112.28	120.51	152.32	166.18	172.47	156.46	157.96	160.46	151.65	133.60	108.23	106.32	1698.42
HSi (mm)	58.80	58.80	51.16	33.60	33.60	33.60	58.42	58.80	58.80	80.00	58.80	58.80	
C1	1.00	1.00	1.00	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	
HD (mm)	83.99	77.82	49.47	16.40	46.21	103.05	112.86	105.77	131.61	178.55	145.65	105.39	
ETR (mm)	56.14	60.25	49.47	16.40	46.21	78.23	78.98	80.23	75.82	133.60	108.23	53.16	836.72
HSf (mm)	58.80	51.16	33.60	33.60	33.60	58.42	58.80	58.80	58.80	58.80	58.80	58.80	
DCC (mm)	0.00	7.64	25.20	25.20	25.20	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.68	0.34	30.59	19.75	12.23	27.03	101.26
NR (mm)	56.14	67.89	128.05	174.98	151.46	78.61	78.98	80.23	75.82	0.00	0.00	53.16	945.32

Anexo 5. Balance hídrico para suelos Chandala de textura franco-arcillosa

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Acuífero de Villanueva, Municipio de Villanueva, Departameto de Córdés, HND

Fecha:

Textura de Suelo: Franco Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

151.20

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.18

Kfc [0.01%]

0.59368

I [0.01%] =

0.87368

DS (g/cm³):

1.30

PR (mm)

300.00

HSi (mm)

68.00

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

10

Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC 23.00 89.70

PM 12.00 46.80

(CC-PM) 11.00 42.90

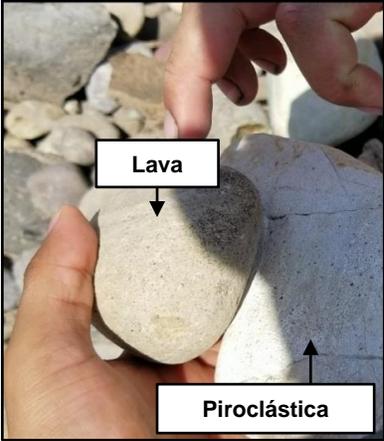
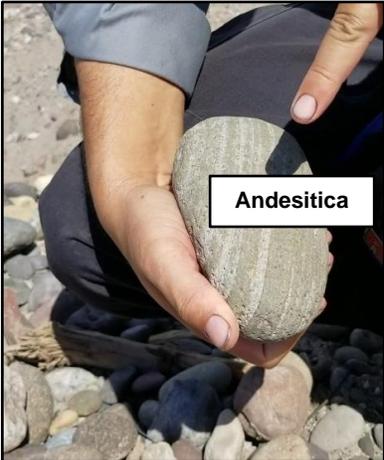
Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	66.80	59.79	36.91	21.40	52.52	117.10	100.04	91.55	120.92	150.17	136.88	91.13	1045.21
Ret [mm]	8.02	7.17	5.00	5.00	6.30	14.05	12.01	10.99	14.51	18.02	16.43	10.94	128.43
Pi (mm)	51.36	45.97	27.87	14.33	40.38	90.03	76.92	70.39	92.97	115.45	105.24	70.06	800.98
ESC (mm)	7.43	6.65	4.03	2.07	5.84	13.02	11.12	10.18	13.44	16.69	15.22	10.13	115.81
ETP (mm)	112.28	120.51	152.32	166.18	172.47	156.46	157.96	160.46	151.65	133.60	108.23	106.32	1698.42
HSi (mm)	89.70	84.92	70.64	46.80	46.80	46.80	58.60	56.54	46.80	68.00	89.70	89.70	
C1	1.00	1.00	1.00	0.33	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.93	0.15	
HD (mm)	94.26	84.09	51.71	14.33	40.38	90.03	88.72	80.13	92.97	136.65	148.14	112.96	
ETR (mm)	56.14	60.25	51.71	14.33	40.38	78.23	78.98	80.13	75.82	71.56	104.46	61.39	773.38
HSf (mm)	84.92	70.64	46.80	46.80	46.80	58.60	56.54	46.80	63.95	89.70	89.70	89.70	
DCC (mm)	4.78	19.06	42.90	42.90	42.90	31.10	33.16	42.90	25.75	0.00	0.00	0.00	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.19	0.78	8.67	31.65
NR (mm)	60.92	79.32	143.50	194.75	174.99	109.33	112.14	123.23	101.58	62.03	3.77	44.94	1210.49

Anexo 6. Valores de recarga por aporte de río Ulúa

Año	Recarga mensual en pulgadas												Total	Recarga (m)	Área (m ²)	M ³	MM ³ /año
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.					
	Meses																
1966	0.00	0.00	0.00	0.00	8.12	31.94	31.56	0.00	32.97	0.00	0.00	0.00	104.59	2.656586	60990000	162025180.1	162.02518
1967	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.32	7.38	9.69	27.09	0.00	0.00	0.00	56.48	1.434592	60990000	87495766.08	87.4957661
1968	0.00	0.00	0.00	0.00	6.53	48.79	0.00	0.00	44.39	33.03	0.00	0.00	132.74	3.371596	60990000	205633640	205.63364
1969	0.00	0.00	0.00	0.00	6.94	29.12	23.80	38.89	55.38	0.00	0.00	0.00	154.13	3.914902	60990000	238769873	238.769873
1970	0.00	0.00	0.00	0.00	4.75	13.63	46.27	0.00	60.10	0.00	0.00	0.00	124.75	3.16865	60990000	193255963.5	193.255964
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	4.23	4.87	12.66	28.45	21.68	25.31	0.00	0.00	97.20	2.46888	60990000	150576991.2	150.576991
1972	0.00	2.91	0.00	0.00	3.36	7.58	6.30	15.07	13.06	0.00	0.00	0.00	48.28	1.226312	60990000	74792768.88	74.7927689
1973	0.00	3.20	0.00	1.15	3.04	16.72	0.00	34.79	0.00	48.63	0.00	0.00	107.53	2.731262	60990000	166579669.4	166.579669
1974	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	32.83	0.00	0.00	69.81	0.00	0.00	0.00	104.53	2.655062	60990000	161932231.4	161.932231
1975	0.00	0.00	0.00	0.00	3.52	5.46	0.00	7.13	69.80	44.51	0.00	0.00	130.42	3.312668	60990000	202039621.3	202.039621
1976	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	85.43	0.00	0.00	0.00	26.31	0.00	18.48	135.78	3.448812	60990000	210343043.9	210.343044
1977	0.00	0.00	0.00	3.29	0.00	35.07	0.00	15.76	17.86	0.00	0.00	0.00	71.98	1.828292	60990000	111507529.1	111.507529
1978	0.00	0.00	0.00	0.00	3.16	16.25	38.21	0.00	37.77	0.00	0.00	0.00	95.39	2.422906	60990000	147773036.9	147.773037
1979	0.00	0.00	0.00	3.78	5.26	35.67	0.00	36.85	28.49	26.77	0.00	0.00	136.82	3.475228	60990000	211954155.7	211.954156
1980	0.00	0.00	0.00	4.08	3.87	28.62	0.00	36.49	29.74	0.00	0.00	0.00	102.80	2.61112	60990000	159252208.8	159.252209
1981	0.00	0.00	0.00	0.00	4.01	37.72	23.18	27.50	30.35	0.00	0.00	0.00	122.76	3.118104	60990000	190173163	190.173163
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	36.60	0.00	11.11	37.89	0.00	0.00	0.00	90.20	2.29108	60990000	139732969.2	139.732969
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	5.66	41.77	0.00	53.00	64.95	0.00	0.00	167.59	4.256786	60990000	259621378.1	259.621378
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	6.39	42.62	0.00	53.49	65.24	0.00	0.00	0.00	167.74	4.260596	60990000	259853750	259.85375
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	16.34	23.83	0.00	46.75	0.00	0.00	0.00	89.52	2.273808	60990000	138679549.9	138.67955
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.92	17.61	18.56	37.24	0.00	0.00	0.00	84.33	2.141982	60990000	130639482.2	130.639482
1987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.37	34.69	0.00	35.99	0.00	0.00	0.00	86.05	2.18567	60990000	133304013.3	133.304013
1988	8.06	0.00	0.00	0.00	2.37	35.65	39.26	37.68	38.51	0.00	0.00	6.75	168.28	4.274312	60990000	260690288.9	260.690289
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	6.89	18.81	0.00	41.95	60.79	0.00	0.00	0.00	128.44	3.262376	60990000	198972312.2	198.972312
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58	33.64	0.00	26.56	45.46	0.00	31.98	0.00	141.22	3.586988	60990000	218770398.1	218.770398

1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.11	15.37	0.00	12.01	35.36	0.00	7.64	93.49	2.374646	60990000	144829659.5	144.82966
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.62	0.00	0.00	49.36	0.00	0.00	0.00	107.98	2.742692	60990000	167276785.1	167.276785
1993	0.00	0.00	0.00	0.00	2.77	33.35	0.00	33.43	50.24	0.00	0.00	0.00	119.79	3.042666	60990000	185572199.3	185.572199
1994	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58	12.24	0.00	28.72	44.17	0.00	0.00	0.00	88.71	2.253234	60990000	137424741.7	137.424742
1995	0.00	0.00	0.00	0.00	4.25	21.33	0.00	83.80	70.76	0.00	0.00	0.00	180.14	4.575556	60990000	279063160.4	279.06316
1996	0.00	0.00	0.00	3.00	9.12	27.24	24.64	49.35	0.00	55.76	0.00	0.00	169.11	4.295394	60990000	261976080.1	261.97608
1997	0.00	3.55	0.00	0.00	0.00	38.19	0.00	0.00	60.92	0.00	0.00	0.00	102.66	2.607564	60990000	159035328.4	159.035328
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	2.94	11.64	10.90	16.20	0.00	98.39	0.00	0.00	140.07	3.557778	60990000	216988880.2	216.98888
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46	12.05	22.15	0.00	67.16	0.00	0.00	0.00	104.82	2.662428	60990000	162381483.7	162.381484
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	18.50	36.22	0.00	15.39	32.40	0.00	0.00	10.03	112.54	2.858516	60990000	174340890.8	174.340891
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	4.03	3.85	4.69	19.98	28.62	0.00	0.00	0.00	61.17	1.553718	60990000	94761260.82	94.7612608
2002	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13	12.61	0.00	0.00	25.12	0.00	0.00	0.00	40.86	1.037844	60990000	63298105.56	63.2981056
2003	9.26	0.00	0.00	0.00	3.71	17.15	0.00	0.00	36.90	0.00	0.00	10.94	77.96	1.980184	60990000	120771422.2	120.771422
2004	0.00	0.00	0.00	2.44	4.02	8.01	7.32	0.00	21.42	22.68	0.00	0.00	65.89	1.673606	60990000	102073229.9	102.07323
2005	0.00	0.00	2.35	0.00	3.70	33.07	27.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.58	1.691132	60990000	103142140.7	103.142141
Promedio	0.43	0.24	0.06	0.44	3.90	25.16	11.48	17.17	36.46	12.04	0.80	1.35	109.53	2.78	60990000.00	169682608.82	169.68

Anexo 7. Materiales arrastrados por el río Ulúa encontrados en el límite sur del acuífero de Villanueva



Anexo 8. Datos de pruebas de bombeo

Cañeras 2

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA																	
POZO		Cañeras 2				UBICACIÓN				Villanueva, Cortés							
PROFUNDIDAD TOTAL				196		pies											
PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				160		pies		NIVEL ESTÁTICO				17.71		m		BOMBA 40 Hp	
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa					
205 gpm		12.93 L/S		330 gpm		20.82 L/s		451 gpm		28.45 L/s		650 gpm		41.01 L/s			
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)		
0	0	17.71	0.00	0	120	18.00	0.00	0	240.00	17.98	0.00	0	360.00	18.40	0.00		
1	1	18.81	1.10	1	121	19.41	1.70	1	241.00	19.72	2.01	1	361.00	21.00	3.29		
2	2	18.83	1.12	2	122	19.50	1.79	2	242.00	19.88	2.17	2	362.00	21.24	3.53		
3	3	18.84	1.13	3	123	19.57	1.86	3	243.00	19.96	2.25	3	363.00	21.43	3.72		
4	4	18.86	1.15	4	124	19.61	1.90	4	244.00	20.03	2.32	4	364.00	21.53	3.82		
5	5	18.92	1.21	5	125	19.62	1.91	5	245.00	20.08	2.37	5	365.00	21.66	3.95		
10	10	18.99	1.28	10	130	19.80	2.09	10	250.00	20.76	3.05	10	370.00	21.92	4.21		
15	15	19.04	1.33	15	135	19.85	2.14	15	255.00	20.90	3.19	15	375.00	22.09	4.38		
20	20	19.08	1.37	20	140	19.87	2.16	20	260.00	21.03	3.32	20	380.00	22.20	4.49		
25	25	19.11	1.40	25	145	19.89	2.18	25	265.00	21.11	3.40	25	385.00	22.29	4.58		
30	30	19.13	1.42	30	150	19.92	2.21	30	270.00	21.18	3.47	30	390.00	22.37	4.66		
35	35	19.15	1.44	35	155	19.96	2.25	35	275.00	21.25	3.54	35	395.00	22.44	4.73		
40	40	19.17	1.46	40	160	20.00	2.29	40	280.00	21.30	3.59	40	400.00	22.48	4.77		
45	45	19.19	1.48	45	165	20.06	2.35	45	285.00	21.37	3.66	45	405.00	22.53	4.82		
50	50	19.20	1.49	50	170	20.15	2.44	50	290.00	21.39	3.68	50	410.00	22.59	4.88		
55	55	19.21	1.50	55	175	20.19	2.48	55	295.00	21.44	3.73	55	415.00	22.63	4.92		
60	60	19.22	1.51	60	180	20.22	2.51	60	300.00	21.47	3.76	60	420.00	22.67	4.96		
90	90	19.23	1.52	90	210	20.25	2.54	90	330.00	21.65	3.94	90	450.00	22.84	5.13		
120	120	19.24	1.53	120	240	20.26	2.55	120	360.00	21.76	4.08	120	480.00	22.96	5.25		

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)															
	POZO		Cañeras 2						UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
	PROFUNDIDAD TOTAL		196		pies										
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN		160		pies			NIVEL ESTÁTICO	17.71		m	BOMBA	40 Hp		
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	
0	0	19.24		0	120	20.26		0	240.00	21.79		0	360.00	22.96	
1	1	19.00		1	121	18.70		1	241.00	19.58		1	361.00	20.13	
2	2	18.54		2	122	18.60		2	242.00	19.44		2	362.00	19.95	
3	3	18.25		3	123	18.52		3	243.00	19.33		3	363.00	19.82	
4	4	18.18		4	124	18.47		4	244.00	19.25		4	364.00	19.71	
5	5	18.15		5	125	18.43		5	245.00	19.17		5	365.00	19.63	
10	10	18.12		10	130	18.29		10	250.00	19.00		10	370.00	19.34	
15	15	18.11		15	135	18.22		15	255.00	18.87		15	375.00	19.20	
20	20	18.10		20	140	18.16		20	260.00	18.79		20	380.00	19.09	
25	25	18.09		25	145	18.11		25	265.00	18.71		25	385.00	19.00	
30	30	18.09		30	150	18.08		30	270.00	18.63		30	390.00	18.93	
35	35	18.08		35	155	18.06		35	275.00	18.58		35	395.00	18.84	
40	40	18.07		40	160	18.04		40	280.00	18.53		40	400.00	18.81	
45	45	18.06		45	165	18.01		45	285.00	18.48		45	405.00	18.76	
50	50	18.05		50	170	18.00		50	290.00	18.43		50	410.00	18.71	
55	55	18.04		55	175	17.99		55	295.00	18.42		55	415.00	18.67	
60	60	18.00		60	180	17.98		60	300.00	18.40		60	420.00	18.63	
90	90			90	210			90	330.00			90	450.00	18.48	
120	120			120	240			120	360.00			120	480.00	18.34	
												150	510.00	18.22	
												180	540.00	18.18	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE											
POZO	Cañeras 2				UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL	196		pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	160		pies		
NIVEL ESTÁTICO	17.71		pies	NIVEL DINÁMICO	24.21	m	CAUDAL	650		gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)			
0		0	17.71	0.00	650.00	3		180	23.26	5.55	650
		1	21.00	3.29				200	23.44	5.73	
		2	21.28	3.57				220	23.60	5.89	
		3	21.43	3.72		4		240	23.65	5.94	
		4	21.57	3.86				260	23.70	5.99	
		5	21.66	3.95				280	23.74	6.03	
		6	21.72	4.01		5		300	23.78	6.07	
		7	21.77	4.06		5.5		330	23.82	6.11	
		8	21.82	4.11		6		360	23.86	6.15	
		9	21.86	4.15		7		420	23.91	6.20	
		10	21.93	4.22		8		480	23.98	6.27	
		15	22.08	4.37		9		540	23.99	6.28	
		20	22.19	4.48		10		600	24.01	6.30	
		25	22.30	4.59		11		660	24.01	6.30	
0.5		30	22.39	4.68		12		720	24.01	6.30	
		40	22.51	4.80		13		780	24.01	6.30	
		50	22.61	4.90		14		840	24.01	6.30	
1		60	22.69	4.98		15		900	24.01	6.30	
		70	22.76	5.05		16		960	24.05	6.34	
		80	22.82	5.11		17		1020	24.07	6.36	
		90	22.87	5.16		18		1080	24.10	6.39	
		100	22.91	5.20		19		1140	24.13	6.42	

		110	22.97	5.26		20		1200	24.15	6.44	
2		120	23.03	5.32		21		1260	24.17	6.46	
		130	23.06	5.35		22		1320	24.18	6.47	
		140	23.11	5.40		23		1380	24.21	6.50	
		160	23.18	5.47		24		1440	24.21	6.50	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Cañeras 2				UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL	195.3		pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	160		pies		
NIVEL ESTÁTICO	17.71		pies	NIVEL DINÁMICO		m	CAUDAL	650		gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	24.21	6.50		3	180	1620	19.00	1.29	
	1	1441	21.33	3.62			200	1640	18.93	1.22	
	2	1442	21.15	3.44			220	1660	18.86	1.15	
	3	1443	21.02	3.31		4	240	1680	18.80	1.09	
	4	1444	20.93	3.22			260	1700	18.74	1.03	
	5	1445	20.83	3.12			280	1720	18.69	0.98	
	6	1446	20.77	3.06		5	300	1740	18.64	0.93	
	7	1447	20.72	3.01		5.5	330	1770	18.56	0.85	
	8	1448	20.66	2.95		6	360	1800	18.51	0.80	
	9	1449	20.61	2.90		7	420	1860	18.40	0.69	
	10	1450	20.57	2.86		8	480	1920	18.32	0.61	
	15	1455	20.39	2.68		9	540	1980	18.26	0.55	
	20	1460	20.27	2.56		10	600	2040	18.23	0.52	
	25	1465	20.14	2.43		11	660	2100	18.18	0.47	
0.5	30	1470	20.05	2.34		12	720	2160	18.13	0.42	
	40	1480	19.91	2.20		13	780	2220	18.09	0.38	

	50	1490	19.79	2.08		14	840	2280			
1	60	1500	19.70	1.99		15	900	2340			
	70	1510	19.61	1.90		16	960	2400			
	80	1520	19.53	1.82		17	1020	2460			
	90	1530	19.40	1.69		18	1080	2520			
	100	1540	19.36	1.65		19	1140	2580			
	110	1550	19.33	1.62		20	1200	2640			
2	120	1560	19.27	1.56		21	1260	2700			
	130	1570	19.22	1.51		22	1320	2760			
	140	1580	19.17	1.46		23	1380	2820			
	160	1600	19.08	1.37		24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s':	abatimiento residual										

Cañeras 3

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA															
	POZO	Cañeras 3							UBICACIÓ N		Villanueva, Cortés				
	PROFUNDIDAD TOTAL			205	pies										
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN			160	pies			NIVEL ESTÁTICO		22.73		m	BOMBA	40 Hp	
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
175 gpm		11.04 L/S		250 gpm		15.77 L/s		336 gpm		21.20 L/s		404 gpm		25.49 L/s	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)
0	0	22.73	0.00	0	120	24.68	0.00	0	240.00	24.98	0.00	0	360.00	25.24	0.00
1	1	25.00	2.27	1	121	26.00	3.27	1	241.00	26.69	3.96	1	361.00	27.82	5.09
2	2	25.10	2.37	2	122	26.14	3.41	2	242.00	27.47	4.74	2	362.00	28.14	5.41
3	3	25.52	2.79	3	123	26.35	3.62	3	243.00	27.65	4.92	3	363.00	28.38	5.65
4	4	25.78	3.05	4	124	26.60	3.87	4	244.00	27.77	5.04	4	364.00	28.54	5.81
5	5	26.00	3.27	5	125	26.68	3.95	5	245.00	27.85	5.12	5	365.00	28.63	5.90
10	10	26.44	3.71	10	130	27.30	4.57	10	250.00	28.17	5.44	10	370.00	29.14	6.41
15	15	26.47	3.74	15	135	27.41	4.68	15	255.00	28.30	5.57	15	375.00	29.33	6.60
20	20	26.50	3.77	20	140	27.51	4.78	20	260.00	28.44	5.71	20	380.00	29.48	6.75
25	25	26.53	3.80	25	145	27.59	4.86	25	265.00	28.50	5.77	25	385.00	29.57	6.84
30	30	26.56	3.83	30	150	27.64	4.91	30	270.00	28.58	5.85	30	390.00	29.66	6.93
35	35	26.58	3.85	35	155	27.70	4.97	35	275.00	28.65	5.92	35	395.00	29.73	7.00
40	40	26.59	3.86	40	160	27.74	5.01	40	280.00	28.68	5.95	40	400.00	29.81	7.08
45	45	26.60	3.87	45	165	27.77	5.04	45	285.00	28.73	6.00	45	405.00	29.84	7.11
50	50	26.61	3.88	50	170	27.81	5.08	50	290.00	28.77	6.04	50	410.00	29.89	7.16
55	55	26.62	3.89	55	175	27.84	5.11	55	295.00	28.80	6.07	55	415.00	29.93	7.20
60	60	26.64	3.91	60	180	27.87	5.14	60	300.00	28.83	6.10	60	420.00	29.96	7.23
90	90	26.70	3.97	90	210	28.00	5.27	90	330.00	28.98	6.25	90	450.00	30.12	7.39
120	120	26.75	4.02	120	240	28.08	5.35	120	360.00	29.09	6.34	120	480.00	30.22	7.49

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)														
	POZO	Cañeras 3						UBICACIÓN		Villanueva, Cortés				
	PROFUNDIDAD TOTAL				205	pies								
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				160	pies		NIVEL ESTÁTICO		22.73		m	BOMBA	40 Hp
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa		
Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)
0	0	26.75		0	120	28.08		0	240.00	29.07		0	360.00	30.22
1	1	25.35		1	121	25.91		1	241.00	26.60		1	361.00	27.16
2	2	25.35		2	122	25.91		2	242.00	26.49		2	362.00	27.10
3	3	25.28		3	123	25.82		3	243.00	26.35		3	363.00	26.92
4	4	25.23		4	124	25.77		4	244.00	26.22		4	364.00	26.75
5	5	25.18		5	125	25.71		5	245.00	26.15		5	365.00	26.64
10	10	25.04		10	130	25.46		10	250.00	25.88		10	370.00	26.30
15	15	24.95		15	135	25.34		15	255.00	25.74		15	375.00	26.12
20	20	24.91		20	140	25.27		20	260.00	25.63		20	380.00	25.85
25	25	24.86		25	145	25.21		25	265.00	25.54		25	385.00	25.82
30	30	24.82		30	150	25.13		30	270.00	25.47		30	390.00	25.73
35	35	24.78		35	155	25.11		35	275.00	25.42		35	395.00	25.62
40	40	24.76		40	160	25.07		40	280.00	25.36		40	400.00	25.53
45	45	24.74		45	165	25.04		45	285.00	25.33		45	405.00	25.46
50	50	24.72		50	170	25.02		50	290.00	25.29		50	410.00	25.39
55	55	24.71		55	175	25.00		55	295.00	25.25		55	415.00	25.32
60	60	24.68		60	180	24.98		60	300.00	25.24		60	420.00	25.24
90	90			90	210			90	330.00			90	450.00	24.89
120	120			120	240			120	360.00			120	480.00	24.63
												150	510.00	24.5
												180	540.00	24.37

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE											
POZO	Cañeras 3			UBICACIÓN	Villanueva, Cortés						
PROFUNDIDAD TOTAL	205	pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	160	pies				
NIVEL ESTÁTICO	22.73	pies	NIVEL DINÁMICO	30.67	m	CAUDAL	404	gpm			
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)			
0		0	22.73	0.00	404.00	3		180	29.94	7.21	404
		1	27.64	4.91				200	30.02	7.29	
		2	27.83	5.10				220	30.09	7.36	
		3	28.04	5.31		4		240	30.15	7.42	
		4	28.18	5.45				260	30.21	7.48	
		5	28.29	5.56				280	30.25	7.52	
		6	28.39	5.66		5		300	30.30	7.57	
		7	28.44	5.71		5.5		330	30.37	7.64	
		8	28.49	5.76		6		360	30.34	7.71	
		9	28.54	5.81		7		420	30.54	7.81	
		10	28.58	5.85		8		480	30.66	7.93	
		15	28.76	6.03		9		540	30.66	7.93	
		20	28.83	6.10		10		600	30.67	7.94	
		25	28.89	6.16		11		660	30.67	7.94	
0.5		30	28.97	6.24		12		720	30.67	7.94	
		40	29.09	6.36		13		780	30.67	7.94	
		50	29.20	6.47		14		840	30.67	7.94	
1		60	29.28	6.55		15		900	30.67	7.94	
		70	29.36	6.63		16		960	30.67	7.94	
		80	29.44	6.71		17		1020	30.67	7.94	
		90	29.51	6.78		18		1080	30.67	7.94	

		100	29.56	6.83		19		1140	30.67	7.94	
		110	29.61	6.88		20		1200	30.67	7.94	
2		120	29.67	6.94		21		1260	30.67	7.94	
		130	29.72	6.99		22		1320	30.67	7.94	
		140	29.77	7.04		23		1380	30.67	7.94	
		160	29.85	7.12		24		1440	30.67	7.94	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Cañeras 3					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés				
PROFUNDIDAD TOTAL	205		pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	160		pies		
NIVEL ESTÁTICO	22.73		pies	NIVEL DINÁMICO	30.67		m	CAUDAL	404		gpm
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	30.67	7.94		3	180	1620	22.73	0.00	
	1	1441	24.83	2.10			200	1640			
	2	1442	24.62	1.89			220	1660			
	3	1443	24.46	1.73		4	240	1680			
	4	1444	24.30	1.57			260	1700			
	5	1445	24.23	1.50			280	1720			
	6	1446	24.14	1.41		5	300	1740			
	7	1447	24.08	1.35		5.5	330	1770			
	8	1448	23.99	1.26		6	360	1800			
	9	1449	23.96	1.23		7	420	1860			
	10	1450	23.91	1.18		8	480	1920			
	15	1455	23.69	0.96		9	540	1980			
	20	1460	23.56	0.83		10	600	2040			
	25	1465	23.44	0.71		11	660	2100			
0.5	30	1470	23.37	0.64		12	720	2160			

	40	1480	23.23	0.50		13	780	2220			
	50	1490	23.20	0.47		14	840	2280			
1	60	1500	23.00	0.27		15	900	2340			
	70	1510	22.93	0.20		16	960	2400			
	80	1520	22.86	0.13		17	1020	2460			
	90	1530	22.80	0.07		18	1080	2520			
	100	1540	22.78	0.05		19	1140	2580			
	110	1550	22.75	0.02		20	1200	2640			
2	120	1560	22.74	0.01		21	1260	2700			
	130	1570	22.74	0.01		22	1320	2760			
	140	1580	22.74	0.01		23	1380	2820			
	160	1600	22.74	0.01		24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s:	abatimiento residual										

Cañeras 4

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA															
POZO		Cañeras 4				UBICACIÓN		Villanueva, Cortés							
PROFUNDIDAD TOTAL				187		pies		NIVEL ESTÁTICO				12.78		m	
PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				160		pies <th colspan="4">BOMBA</th> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td>		BOMBA							
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Q= 160 gpm		L/S		Q= 225 gpm		L/s		Q= 292 gpm		L/s		Q= 315 gpm		L/s	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)
0	0	12.78	0.00	0	120	13.86	0.00	0	240.00	14.02	0.00	0	360.00	14.22	0.00
1	1	14.03	1.25	1	121	19.70	6.92	1	241.00	20.66	7.88	1	361.00	20.23	7.45
2	2	19.89	7.11	2	122	20.38	7.60	2	242.00	22.52	9.74	2	362.00	22.63	9.85
3	3	19.70	6.92	3	123	20.74	7.96	3	243.00	23.22	10.44	3	363.00	24.22	11.44
4	4	19.76	6.98	4	124	20.92	8.14	4	244.00	23.61	10.83	4	364.00	25.11	12.33
5	5	19.80	7.02	5	125	21.00	8.22	5	245.00	23.87	11.09	5	365.00	25.61	12.83
10	10	19.62	6.84	10	130	21.36	8.58	10	250.00	24.35	11.57	10	370.00	27.66	14.88
15	15	19.72	6.94	15	135	21.56	8.78	15	255.00	24.75	11.97	15	375.00	28.86	16.08
20	20	19.77	6.99	20	140	21.66	8.88	20	260.00	24.87	12.09	20	380.00	29.26	16.48
25	25	19.82	7.04	25	145	21.75	8.97	25	265.00	25.62	12.84	25	385.00	29.77	16.99
30	30	19.87	7.09	30	150	21.86	9.08	30	270.00	25.19	12.41	30	390.00	30.03	17.25
35	35	19.90	7.12	35	155	21.93	9.15	35	275.00	25.33	12.55	35	395.00	30.25	17.47
40	40	19.92	7.14	40	160	22.00	9.22	40	280.00	25.43	12.65	40	400.00	30.43	17.65
45	45	19.93	7.15	45	165	22.05	9.27	45	285.00	25.55	12.77	45	405.00	30.53	17.75
50	50	19.95	7.17	50	170	22.10	9.32	50	290.00	25.63	12.85	50	410.00	30.69	17.91
55	55	19.97	7.19	55	175	22.16	9.38	55	295.00	25.71	12.93	55	415.00	30.80	18.02
60	60	19.98	7.20	60	180	22.21	9.43	60	300.00	25.76	12.98	60	420.00	30.90	18.12
90	90	20.06	7.28	90	210	22.43	9.65	90	330.00	26.10	13.32	90	450.00	31.50	18.72
120	120	20.12	7.34	120	240	22.59	9.85	120	360.00	26.38	13.60	120	480.00	32.15	19.37

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)															
	POZO	Cañeras 4							UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
	PROFUNDIDAD TOTAL		186.8		pies										
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN		160		pies			NIVEL ESTÁTICO	12.78		m		BOMBA 40 Hp		
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	
0	0	20.12		0	120	22.59		0	240.00	26.38		0	360.00	32.15	
1	1	15.17		1	121	16.18		1	241.00	18.92		1	361.00	21.83	
2	2	14.87		2	122	15.59		2	242.00	17.73		2	362.00	18.94	
3	3	14.74		3	123	15.26		3	243.00	16.90		3	363.00	17.68	
4	4	14.66		4	124	15.11		4	244.00	16.46		4	364.00	17.02	
5	5	14.58		5	125	15.03		5	245.00	16.01		5	365.00	16.52	
10	10	14.44		10	130	14.78		10	250.00	15.24		10	370.00	16.52	
15	15	14.37		15	135	14.59		15	255.00	15.02		15	375.00	16.30	
20	20	14.27		20	140	14.48		20	260.00	14.85		20	380.00	16.26	
25	25	14.20		25	145	14.39		25	265.00	14.72		25	385.00	15.07	
30	30	14.12		30	150	14.31		30	270.00	14.63		30	390.00	15.86	
35	35	14.05		35	155	14.26		35	275.00	14.55		35	395.00	15.69	
40	40	14.00		40	160	14.21		40	280.00	14.48		40	400.00	15.63	
45	45	13.96		45	165	14.16		45	285.00	14.40		45	405.00	15.56	
50	50	13.93		50	170	14.10		50	290.00	14.33		50	410.00	15.48	
55	55	13.89		55	175	14.06		55	295.00	14.27		55	415.00	15.41	
60	60	13.86		60	180	14.02		60	300.00	14.22		60	420.00	15.36	
90	90			90	210			90	330.00			90	450.00	14.10	
120	120			120	240			120	360.00			120	480.00	13.93	
												150	510.00		
												180	540.00		

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE												
POZO	Cañeras 4					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL	187		pies	DIAMETRO	10 pulg.	PROFUNDIDAD BOMBA	100			pies		
NIVEL ESTÁTICO	12.78		m	NIVEL DINÁMICO	35.5		m	CAUDAL	315		gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				
0		0	13.82	0.00		3		180	31.20	17.38		
		1	21.13	7.31				200	31.40	17.58		
		2	26.00	12.18				220	31.53	17.71		
		3	26.59	12.77		4		240	31.64	17.82		
		4	27.12	13.30				260	31.74	17.92		
		5	27.43	13.61				280	31.87	18.05		
		6	27.67	13.85		5		300	32.00	18.18		
		7	27.89	14.07		5.5		330	32.21	18.39		
		8	28.04	14.22		6		360	32.41	18.59		
		9	28.15	14.33		7		420	32.70	18.88		
		10	28.26	14.44		8		480	32.96	19.14		
		15	28.69	14.87		9		540	33.15	19.33		
		20	29.02	15.20		10		600	33.25	19.43		
		25	29.21	15.39		11		660	33.58	19.76		
0.5		30	29.35	15.53		12		720	33.87	20.05		
		40	29.52	15.70		13		780	34.00	20.21		
		50	29.77	15.95		14		840	34.27	20.45		
1		60	29.98	16.16		15		900	34.29	20.47		
		70	30.10	16.28		16		960	34.48	20.66		
		80	30.25	16.43		17		1020	34.72	20.90		
		90	30.41	16.59		18		1080	34.77	20.95		

		100	30.50	16.68		19		1140	34.81	20.99	
		110	30.62	16.80		20		1200	34.80	20.98	
2		120	30.73	16.91		21		1260	35.00	21.18	
		130	30.81	16.99		22		1320	35.10	21.26	
		140	30.90	17.08		23		1380	34.98	21.16	
		160	31.05	17.23		24		1440	35.50	21.68	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Cañeras 4					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés				
PROFUNDIDAD TOTAL	187		pies	DIAMETRO	10 pulg		PROFUNDIDAD BOMBA	160		pies	
NIVEL ESTÁTICO	12.78		pies	NIVEL DINÁMICO			m	CAUDAL	315		gpm
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	35.05	22.27		3	180	1620			
	1	1441	23.39	10.61			200	1640			
	2	1442	20.51	7.73			220	1660			
	3	1443	18.89	6.11		4	240	1680			
	4	1444	18.16	5.38			260	1700			
	5	1445	17.68	4.90			280	1720			
	6	1446	17.42	4.64		5	300	1740			
	7	1447	17.25	4.47		5.5	330	1770			
	8	1448	17.13	4.35		6	360	1800			
	9	1449	17.03	4.25		7	420	1860			
	10	1450	16.94	4.16		8	480	1920			
	15	1455	16.59	3.81		9	540	1980			
	20	1460	16.24	3.46		10	600	2040			
	25	1465	15.97	3.19		11	660	2100			
0.5	30	1470	15.71	2.93		12	720	2160			

	40	1480	15.47	2.69		13	780	2220			
	50	1490	15.29	2.51		14	840	2280			
1	60	1500	15.16	2.38		15	900	2340			
	70	1510	15.03	2.25		16	960	2400			
	80	1520	14.93	2.15		17	1020	2460			
	90	1530	14.93	2.15		18	1080	2520			
	100	1540	14.76	1.98		19	1140	2580			
	110	1550	14.70	1.92		20	1200	2640			
2	120	1560	14.63	1.85		21	1260	2700			
	130	1570				22	1320	2760			
	140	1580				23	1380	2820			
	160	1600				24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s':	abatimiento residual										

Cañeras 5

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA															
POZO		Cañeras 5						UBICACIÓN		Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL		425				pies									
PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN		100				pies		NIVEL ESTÁTICO		5.96		m		BOMBA 40 Hp. 1200 gpm	
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Q= 308 gpm		19.43 L/S		Q= 460 gpm		29.02 L/s		Q= 630 gpm		39.75 L/s		Q= 940 gpm		59.31 L/s	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)
0	0	6.66	0.00	0	120	6.56	0.00	0	240.00	6.68	0.00	0	360.00	6.83	0.00
1	1	8.21	1.55	1	121	10.56	3.90	1	241.00	10.12	3.46	1	361.00	12.75	6.09
2	2	8.18	1.52	2	122	10.53	3.87	2	242.00	10.77	4.11	2	362.00	11.06	4.40
3	3	8.22	1.56	3	123	10.50	3.84	3	243.00	10.79	4.13	3	363.00	13.64	6.98
4	4	8.23	1.57	4	124	10.51	3.85	4	244.00	12.68	6.02	4	364.00	14.00	7.34
5	5	8.22	1.56	5	125	10.73	4.07	5	245.00	12.70	6.04	5	365.00	14.75	8.09
10	10	9.61	2.95	10	130	11.17	4.51	10	250.00	12.74	6.08	10	370.00	15.53	8.87
15	15	9.84	3.18	15	135	11.26	4.60	15	255.00	12.55	5.89	15	375.00	15.74	9.08
20	20	9.90	3.24	20	140	11.30	4.64	20	260.00	12.61	5.95	20	380.00	15.96	9.30
25	25	9.93	3.27	25	145	11.35	4.69	25	265.00	12.65	5.99	25	385.00	16.06	9.40
30	30	9.98	3.32	30	150	11.39	4.73	30	270.00	12.72	6.06	30	390.00	16.18	9.52
35	35	10.04	3.38	35	155	11.43	4.77	35	275.00	12.75	6.09	35	395.00	16.26	9.60
40	40	10.04	3.38	40	160	11.46	4.80	40	280.00	12.76	6.10	40	400.00	16.36	9.70
45	45	10.07	3.41	45	165	11.49	4.83	45	285.00	12.81	6.15	45	405.00	16.39	9.73
50	50	10.10	3.44	50	170	11.51	4.85	50	290.00	12.82	6.16	50	410.00	16.45	9.79
55	55	10.12	3.46	55	175	11.55	4.89	55	295.00	12.83	6.17	55	415.00	16.47	9.81
60	60	10.11	3.45	60	180	11.56	4.90	60	300.00	12.87	6.21	60	420.00	16.55	9.89
90	90	10.17	3.51	90	210	11.64	4.98	90	330.00	13.00	6.34	90	450.00	16.70	10.04
120	120	10.18	3.52	120	240	11.69	5.03	120	360.00	13.06	6.40	120	480.00	16.84	10.18

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)															
	POZO		Cañeras 5						UBICACIÓN		Villanueva, Cortés				
	PROFUNDIDAD TOTAL				425	pies									
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				100	pies		NIVEL ESTÁTICO		5.96		m	BOMBA 40 Hp		
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	
0	0	10.18		0	120	11.69		0	240.00	13.06		0	360.00	16.84	
1	1	7.60		1	121	7.92		1	241.00	8.49		1	361.00	9.19	
2	2	7.41		2	122	7.73		2	242.00	8.08		2	362.00	8.97	
3	3	7.29		3	123	7.60		3	243.00	7.99		3	363.00	8.76	
4	4	7.15		4	124	7.49		4	244.00	7.84		4	364.00	8.52	
5	5	7.11		5	125	7.41		5	245.00	7.73		5	365.00	8.35	
10	10	6.93		10	130	7.15		10	250.00	7.43		10	370.00	7.97	
15	15	6.35		15	135	7.03		15	255.00	7.26		15	375.00	7.73	
20	20	6.79		20	140	6.95		20	260.00	7.19		20	380.00	7.55	
25	25	6.73		25	145	6.88		25	265.00	7.08		25	385.00	7.46	
30	30	6.70		30	150	6.85		30	270.00	7.02		30	390.00	7.37	
35	35	6.66		35	155	6.78		35	275.00	7.00		35	395.00	7.30	
40	40	6.65		40	160	6.78		40	280.00	6.93		40	400.00	7.24	
45	45	6.64		45	165	6.75		45	285.00	6.91		45	405.00	7.20	
50	50	6.60		50	170	6.71		50	290.00	6.85		50	410.00	7.12	
55	55	6.59		55	175	6.71		55	295.00	6.85		55	415.00	7.12	
60	60	6.56		60	180	6.68		60	300.00	6.83		60	420.00	7.09	
90	90			90	210			90	330.00			90	450.00	6.91	
120	120			120	240			120	360.00			120	480.00	6.81	
												150	510.00	6.79	
												180	540.00	6.78	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE											
POZO	Cañeras 5					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés				
PROFUNDIDAD TOTAL	425		pies	DIAMETRO	12 pulg	PROFUNDIDAD BOMBA	100			pies	
NIVEL ESTÁTICO	5.96		m	NIVEL DINÁMICO	18.03	m	CAUDAL	940		gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)			
0	4.00	0	6.81	0.00		3		180	16.91	10.10	940
		1	13.77	6.96				200	16.97	10.16	
		2	14.30	7.49				220	17.02	10.21	
		3	14.52	7.71		4		240	17.07	10.26	
		4	14.83	8.02				260	17.12	10.31	
		5	14.98	8.17				280	17.13	10.32	
		6	15.12	8.31		5		300	17.18	10.37	
		7	15.23	8.42		5.5		330	17.21	10.40	
		8	15.32	8.51		6		360	17.27	10.46	
		9	15.39	8.58		7		420	17.33	10.52	
		10	15.48	8.67		8		480	17.39	10.58	
		15	15.70	8.89		9		540	17.48	10.67	
		20	15.88	9.07		10		600	17.54	10.73	
		25	15.96	9.15		11		660	17.62	10.81	
0.5		30	16.06	9.25		12		720	17.65	10.84	
		40	16.22	9.41		13		780	17.70	10.89	
		50	16.30	9.49		14		840	17.74	10.93	
1		60	16.40	9.59		15		900	17.77	10.96	
		70	16.46	9.65		16		960	17.81	11.00	
		80	16.55	9.74		17		1020	17.86	11.05	
		90	16.60	9.79		18		1080	17.91	11.10	

		100	16.62	9.81		19		1140	17.95	11.14	
		110	16.69	9.88		20		1200	17.95	11.14	
2		120	16.72	9.91		21		1260	17.96	11.15	
		130	16.77	9.96		22		1320	17.98	11.17	
		140	16.79	9.98		23		1380	18.02	11.21	
		160	16.85	10.04		24		1440	18.03	11.22	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Cañeras 5					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés				
PROFUNDIDAD TOTAL	425		pies	DIAMETRO	12 pulg	PROFUNDIDAD BOMBA	100		pies		
NIVEL ESTÁTICO	19.55		pies	NIVEL DINÁMICO	18.03	m	CAUDAL	940		gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	18.03	12.07		3	180	1620	7.67	1.71	940
	1	1441	10.16	4.20			200	1640	7.62	1.66	
	2	1442	10.33	4.37			220	1660	7.57	1.61	
	3	1443	10.06	4.10		4	240	1680	7.52	1.56	
	4	1444	9.88	3.92			260	1700	7.48	1.52	
	5	1445	9.71	3.75			280	1720	7.44	1.48	
	6	1446	9.58	3.62		5	300	1740	7.40	1.44	
	7	1447	9.48	3.52		5.5	330	1770	7.35	1.39	
	8	1448	9.32	3.36		6	360	1800	7.30	1.34	
	9	1449	9.24	3.28		7	420	1860	7.23	1.27	
	10	1450	9.21	3.25		8	480	1920			
	15	1455	8.96	3.00		9	540	1980			
	20	1460	8.80	2.84		10	600	2040			
	25	1465	8.70	2.74		11	660	2100			
0.5	30	1470	8.63	2.67		12	720	2160			

	40	1480	8.43	2.47		13	780	2220			
	50	1490	8.34	2.38		14	840	2280			
1	60	1500	8.27	2.31		15	900	2340			
	70	1510	8.18	2.22		16	960	2400			
	80	1520	8.13	2.17		17	1020	2460			
	90	1530	8.06	2.10		18	1080	2520			
	100	1540	7.99	2.08		19	1140	2580			
	110	1550	7.94	1.98		20	1200	2640			
2	120	1560	7.90	1.94		21	1260	2700			
	130	1570	7.86	1.90		22	1320	2760			
	140	1580	7.82	1.86		23	1380	2820			
	160	1600	7.75	1.79		24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s':	abatimiento residual										

Cañeras 6

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA																
	POZO	Cañeras 6							UBICACIÓN	Villanueva, Cortés						
	PROFUNDIDAD TOTAL				300	pies										
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				100	pies		NIVEL ESTÁTICO		15.67		m	BOMBA	40 Hp		
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa				
325 gpm		20.50 L/S		470 gpm		29.65 L/s		570 gpm		35.96 L/s		750 gpm		47.32 L/s		
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	
0	0	15.67	0.00	0	120	16.47	0.00	0	240.00	16.68	0.00	0	360.00	16.90	0.00	
1	1	17.03	1.36	1	121	21.48	5.81	1	241.00	24.03	8.36	1	361.00	25.60	9.93	
2	2	20.48	4.81	2	122	21.95	6.28	2	242.00	24.31	8.64	2	362.00	26.20	10.53	
3	3	20.77	5.10	3	123	22.07	6.40	3	243.00	24.53	8.86	3	363.00	26.47	10.80	
4	4	20.84	5.17	4	124	22.24	6.57	4	244.00	24.72	9.05	4	364.00	26.69	11.02	
5	5	20.85	5.18	5	125	22.40	6.73	5	245.00	24.87	9.20	5	365.00	26.87	11.20	
10	10	21.03	5.36	10	130	22.74	7.07	10	250.00	24.97	9.30	10	370.00	27.35	11.68	
15	15	21.05	5.38	15	135	22.93	7.26	15	255.00	25.04	9.37	15	375.00	27.64	11.97	
20	20	21.07	5.40	20	140	23.03	7.36	20	260.00	25.11	9.44	20	380.00	27.76	12.09	
25	25	21.08	5.41	25	145	23.13	7.46	25	265.00	25.19	9.52	25	385.00	27.87	12.20	
30	30	21.09	5.42	30	150	23.18	7.51	30	270.00	25.29	9.62	30	390.00	27.99	12.32	
35	35	21.10	5.43	35	155	23.23	7.56	35	275.00	25.33	9.66	35	395.00	28.06	12.39	
40	40	21.11	5.44	40	160	23.30	7.63	40	280.00	25.38	9.71	40	400.00	28.12	12.45	
45	45	21.12	5.45	45	165	23.33	7.66	45	285.00	25.42	9.75	45	405.00	28.17	12.50	
50	50	21.13	5.46	50	170	23.37	7.70	50	290.00	25.45	9.78	50	410.00	28.23	12.56	
55	55	21.13	5.46	55	175	23.40	7.73	55	295.00	25.48	9.81	55	415.00	28.25	12.58	
60	60	21.13	5.46	60	180	23.43	7.76	60	300.00	25.52	9.85	60	420.00	28.30	12.63	
90	90	21.13	5.46	90	210	23.56	7.89	90	330.00	25.79	10.12	90	450.00	28.48	12.81	
120	120	21.13	5.46	120	240	23.66	7.99	120	360.00	25.77	10.10	120	480.00	28.58	12.91	

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)															
	POZO	Cañeras 6						UBICACIÓN		Villanueva, Cortés					
	PROFUNDIDAD TOTAL			300	pies										
	PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN			100	pies		NIVEL ESTÁTICO		15.67	m	BOMBA	40 Hp			
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)		Tiempo (min)		Recuperación (min)	
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	
0	0	21.23		0	120	23.66		0	240.00	25.77		0	360.00	28.58	
1	1	17.46		1	121	18.28		1	241.00	18.57		1	361.00	19.93	
2	2	17.28		2	122	17.90		2	242.00	18.40		2	362.00	19.24	
3	3	17.18		3	123	17.71		3	243.00	18.29		3	363.00	18.86	
4	4	17.11		4	124	17.61		4	244.00	18.10		4	364.00	18.60	
5	5	17.05		5	125	17.54		5	245.00	18.00		5	365.00	18.51	
10	10	16.88		10	130	17.30		10	250.00	17.73		10	370.00	18.11	
15	15	16.80		15	135	17.16		15	255.00	17.52		15	375.00	17.87	
20	20	16.73		20	140	17.05		20	260.00	17.40		20	380.00	17.72	
25	25	16.67		25	145	16.99		25	265.00	17.28		25	385.00	17.62	
30	30	16.64		30	150	16.93		30	270.00	17.26		30	390.00	17.53	
35	35	16.59		35	155	16.86		35	275.00	17.16		35	395.00	17.45	
40	40	16.56		40	160	16.81		40	280.00	17.09		40	400.00	17.37	
45	45	16.54		45	165	16.78		45	285.00	17.05		45	405.00	13.32	
50	50	16.50		50	170	16.75		50	290.00	17.00		50	410.00	17.27	
55	55	16.49		55	175	16.70		55	295.00	16.94		55	415.00	17.22	
60	60	16.47		60	180	16.68		60	300.00	16.90		60	420.00	17.18	
90	90			90	210			90	330.00			90	450.00	16.96	
120	120			120	240			120	360.00			120	480.00	16.86	
												150	510.00	16.85	
												180	540.00	16.84	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE												
POZO	Cañeras 6					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL	300			pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	100			pies	
NIVEL ESTÁTICO	15.67			pies	NIVEL DINÁMICO	29.18	m	CAUDAL	750			gpm
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				
0		0	15.67	0.00		3		180	28.75	13.08		
		1	25.80	10.13				200	28.81	13.14		
		2	26.29	10.62				220	28.88	13.21		
		3	26.57	10.90		4		240	28.88	13.21		
		4	26.63	10.96				260	28.91	13.24		
		5	26.93	11.26				280	28.95	13.28		
		6	27.05	11.38		5		300	28.97	13.30		
		7	27.21	11.54		5.5		330	29.03	13.36		
		8	27.32	11.65		6		360	29.07	13.40		
		9	27.41	11.74		7		420	29.00	13.33		
		10	27.46	11.79		8		480	29.06	13.39		
		15	27.70	12.03		9		540	29.03	13.36		
		20	27.82	12.15		10		600	29.07	13.40		
		25	27.93	12.26		11		660	29.10	13.43		
0.5		30	28.00	12.33		12		720	29.13	13.46		
		40	28.12	12.45		13		780	29.18	13.51		
		50	28.19	12.52		14		840	29.23	13.56		
1		60	28.28	12.61		15		900	29.11	13.44		
		70	28.33	12.66		16		960	29.13	13.46		
		80	28.39	12.72		17		1020	29.15	13.48		
		90	28.43	12.76		18		1080	29.17	13.50		
		100	28.48	12.81		19		1140	29.18	13.51		

		110	28.55	12.88		20		1200	29.18	13.51	
2		120	28.57	12.90		21		1260	29.18	13.51	
		130	28.60	12.93		22		1320	29.18	13.51	
		140	28.63	12.96		23		1380	29.18	13.51	
		160	28.68	13.01		24		1440	29.18	13.51	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Cañeras 6			UBICACIÓN	Villanueva, Cortés						
PROFUNDIDAD TOTAL	300		pies	DIAMETRO		PROFUNDIDAD BOMBA	100		pies		
NIVEL ESTÁTICO	15.67		pies	NIVEL DINÁMICO	29.18		m	CAUDAL	750		gpm
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	29.18	13.51		3	180	1620	17.50	1.83	
	1	1441	20.49	4.82			200	1640	17.40	1.73	
	2	1442	20.14	4.47			220	1660	17.30	1.63	
	3	1443	19.82	4.15		4	240	1680	17.25	1.58	
	4	1444	19.67	4.00			260	1700	17.20	1.53	
	5	1445	19.56	3.89			280	1720	17.15	1.48	
	6	1446	19.48	3.81		5	300	1740	17.10	1.43	
	7	1447	19.38	3.71		5.5	330	1770	17.00	1.33	
	8	1448	19.35	3.68		6	360	1800	16.90	1.23	
	9	1449	19.30	3.63		7	420	1860	16.80	1.13	
	10	1450	19.26	3.59		8	480	1920	16.70	1.03	
	15	1455	19.10	3.43		9	540	1980	16.65	0.98	
	20	1460	18.95	3.28		10	600	2040	16.61	0.94	
	25	1465	18.83	3.16		11	660	2100	16.57	0.90	
0.5	30	1470	18.72	3.05		12	720	2160	16.54	0.87	
	40	1480	18.57	2.90		13	780	2220			
	50	1490	18.45	2.78		14	840	2280			

1	60	1500	18.33	2.66		15	900	2340			
	70	1510	18.22	2.55		16	960	2400			
	80	1520	18.12	2.45		17	1020	2460			
	90	1530	18.00	2.33		18	1080	2520			
	100	1540	17.94	2.27		19	1140	2580			
	110	1550	17.90	2.23		20	1200	2640			
2	120	1560	17.85	2.18		21	1260	2700			
	130	1570	17.78	2.11		22	1320	2760			
	140	1580	17.70	2.03		23	1380	2820			
	160	1600	17.60	1.93		24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s':	abatimiento residual										

Manuel Coello

PRUEBA DE BOMBEO ESCALONADA															
POZO		Manuel Coello				UBICACIÓN		Villanueva, Cortés							
PROFUNDIDAD TOTAL				270		pies									
PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN				170		pies		NIVEL ESTÁTICO		32.35		m		BOMBA 40 Hp 1200 gpm	
1a. Etapa				2a. Etapa				3a. Etapa				4a. Etapa			
Q= 166 gpm				Q= 240 gpm				Q= 280 gpm				Q= 320 gpm			
10.47 L/S				15.14 L/s				17.67 L/s				20.19 L/s			
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abatim. (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Nivel Dinámico (m)	Abati m. (m)
0	0	32.35	0.00	0	120	31.85	0.00	0	240.00	32.08	0.00	0	360.00	32.24	0.00
1	1	33.03	0.68	1	121	35.90	3.55	1	241.00	33.44	1.09	1	361.00	36.47	4.12
2	2	33.80	1.45	2	122	36.18	3.83	2	242.00	34.80	2.45	2	362.00	36.51	4.16
3	3	34.97	2.62	3	123	36.25	3.90	3	243.00	35.48	3.13	3	363.00	38.81	6.46
4	4	35.42	3.07	4	124	36.36	4.01	4	244.00	36.16	3.81	4	364.00	39.04	6.69
5	5	35.57	3.22	5	125	36.45	4.10	5	245.00	36.84	4.49	5	365.00	39.25	6.90
10	10	35.66	3.31	10	130	36.82	4.47	10	250.00	37.52	5.17	10	370.00	39.37	7.02
15	15	35.72	3.37	15	135	37.07	4.72	15	255.00	38.28	5.93	15	375.00	39.54	7.19
20	20	35.79	3.44	20	140	37.29	4.94	20	260.00	38.53	6.18	20	380.00	39.83	7.48
25	25	35.82	3.47	25	145	37.41	5.06	25	265.00	38.79	6.44	25	385.00	39.93	7.58
30	30	35.85	3.50	30	150	37.53	5.18	30	270.00	38.84	6.49	30	390.00	40.09	7.74
35	35	35.87	3.52	35	155	37.63	5.28	35	275.00	38.97	6.62	35	395.00	40.20	7.85
40	40	35.89	3.54	40	160	37.73	5.38	40	280.00	39.00	6.65	40	400.00	40.33	7.98
45	45	35.90	3.55	45	165	37.83	5.48	45	285.00	39.12	6.77	45	405.00	40.44	8.09
50	50	35.92	3.57	50	170	37.88	5.53	50	290.00	39.21	6.86	50	410.00	40.49	8.14
55	55	35.93	3.58	55	175	37.94	5.59	55	295.00	39.28	6.93	55	415.00	40.51	8.16
60	60	35.98	3.63	60	180	38.02	5.67	60	300.00	39.33	6.98	60	420.00	40.59	8.24
90	90	36.21	3.86	90	210	38.35	6.00	90	330.00	39.68	7.33	90	450.00	40.88	8.53
120	120	36.36	4.01	120	240	38.56	6.21	120	360.00	39.84	7.49	120	480.00	41.12	8.77

PRUEBA DE RECUPERACIÓN (ESCALONADA)													
POZO		Manuel Coello				UBICACIÓN		Villanueva, Cortés					
PROFUNDIDAD TOTAL		270		pies									
PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN		170		pies		NIVEL ESTÁTICO		32.35		m		BOMBA 400 gpm	
1a. Etapa			2a. Etapa			3a. Etapa			4a. Etapa				
Tiempo (min)		Recuperación (min)	Tiempo (min)		Recuperación (min)	Tiempo (min)		Recuperación (min)	Tiempo (min)		Recuperación (min)		
Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)	Tiempo (min)	Tiempo Acum. (min)	Recuperación, desde fin de bombeo (m)		
0	0	36.36	0	120	38.56	0	240.00	39.48	0	360.00	41.12		
1	1	33.63	1	121	34.63	1	241.00	35.04	1	361.00	36.17		
2	2	33.44	2	122	34.24	2	242.00	34.77	2	362.00	35.63		
3	3	33.28	3	123	34.06	3	243.00	34.57	3	363.00	35.28		
4	4	22.17	4	124	33.93	4	244.00	34.40	4	364.00	35.05		
5	5	33.08	5	125	33.80	5	245.00	34.26	5	365.00	34.84		
10	10	32.81	10	130	33.34	10	250.00	33.80	10	370.00	34.25		
15	15	32.56	15	135	33.04	15	255.00	33.50	15	375.00	33.88		
20	20	32.44	20	140	32.94	20	260.00	33.25	20	380.00	33.53		
25	25	32.32	25	145	32.78	25	265.00	33.05	25	385.00	33.31		
30	30	32.23	30	150	32.64	30	270.00	32.91	30	390.00	33.15		
35	35	32.16	35	155	32.51	35	275.00	32.74	35	395.00	32.97		
40	40	32.07	40	160	32.42	40	280.00	32.62	40	400.00	32.82		
45	45	32.00	45	165	32.31	45	285.00	32.51	45	405.00	32.71		
50	50	31.94	50	170	32.22	50	290.00	32.43	50	410.00	32.55		
55	55	31.90	55	175	32.15	55	295.00	32.32	55	415.00	32.46		
60	60	31.85	60	180	32.08	60	300.00	32.24	60	420.00	32.37		
90	90		90	210		90	330.00		90	450.00	32.35		
120	120		120	240		120	360.00		120	480.00	23.35		
									150	510.00			
									180	540.00			

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE											
POZO	Manuel Coello			UBICACION	Villanueva, Cortés						
PROFUNDIDAD TOTAL	270	pies	DIAMETRO	12 pulg	PROFUNDIDAD BOMBA	170	pies				
NIVEL ESTÁTICO	32.35	m	NIVEL DINÁMICO	41.14	m	CAUDAL	320	gpm			
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)				No. de Hora	Hora Local	desde Inicio (min)			
0	10.00	0	32.35	0.00	320.00	3		180	40.16	7.81	
		1	36.57	4.22				200	40.27	7.92	
		2	36.94	4.59				220	40.29	7.94	
		3	37.10	4.75		4		240	40.37	8.02	
		4	37.25	4.90				260	40.44	8.09	
		5	37.38	5.03				280	40.49	8.14	
		6	37.41	5.06		5		300	40.52	8.17	
		7	37.51	5.16		5.5		330	40.64	8.29	
		8	37.59	5.24		6		360	40.64	8.29	
		9	37.65	5.30		7		420	40.73	8.38	
		10	37.74	5.39		8		480	40.79	8.44	
		15	38.02	5.67		9		540	40.86	8.51	
		20	38.28	5.91		10		600	40.91	8.56	
		25	38.43	6.08		11		660	41.01	8.66	
0.5		30	38.58	6.23		12		720	41.05	8.70	
		40	38.84	6.49		13		780	41.06	8.71	
		50	39.04	6.69		14		840	41.08	8.73	
1		60	39.22	6.87		15		900	41.10	8.75	
		70	39.38	7.03		16		960	41.12	8.77	
		80	39.50	7.15		17		1020	41.14	8.79	

		90	39.60	7.25		18		1080	41.14	8.79	
		100	39.70	7.35		19		1140	41.14	8.79	
		110	39.80	7.45		20		1200	41.14	8.79	
2		120	39.88	7.53		21		1260	41.14	8.79	
		130	39.96	7.61		22		1320	41.14	8.79	
		140	39.98	7.63		23		1380	41.14	8.79	
		160	40.07	7.72		24		1440	41.14	8.79	

PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE (RECUPERACIÓN)											
POZO	Manuel Coello					UBICACIÓN	Villanueva, Cortés				
PROFUNDIDAD TOTAL	270		pies		DIAMETRO	12 pulg	PROFUNDIDAD BOMBA	170		pies	
NIVEL ESTÁTICO	32.35		pies		NIVEL DINÁMICO	41.14	m		CAUDAL	320 gpm	
TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)	TIEMPO			Nivel de Agua (m)	Abatimiento Residual (m)	Caudal (Gpm)
No. de Hora	t' (min)	t (min)				No. de Hora	t' (min)	t (min)			
0	0	1440	41.14	8.79		3	180	1620	32.36	0.01	
	1	1441	36.04	3.69			200	1640	32.36	0.01	
	2	1442	35.45	3.10			220	1660	32.36	0.01	
	3	1443	35.18	2.83		4	240	1680	32.36	0.01	
	4	1444	34.98	2.63			260	1700	32.36	0.00	
	5	1445	34.81	2.46			280	1720	32.36	0.00	
	6	1446	34.70	2.35		5	300	1740	32.36	0.00	
	7	1447	34.57	2.22		5.5	330	1770	32.36	0.00	
	8	1448	34.45	2.10		6	360	1800	32.36	0.00	
	9	1449	34.39	2.04		7	420	1860			
	10	1450	34.30	1.95		8	480	1920			
	15	1455	33.88	1.53		9	540	1980			
	20	1460	33.62	1.27		10	600	2040			
	25	1465	33.41	1.06		11	660	2100			

0.5	30	1470	33.25	0.90		12	720	2160			
	40	1480	32.96	0.61		13	780	2220			
	50	1490	32.73	0.38		14	840	2280			
1	60	1500	32.56	0.21		15	900	2340			
	70	1510	32.38	0.03		16	960	2400			
	80	1520	32.38	0.03		17	1020	2460			
	90	1530	32.38	0.03		18	1080	2520			
	100	1540	32.38	0.03		19	1140	2580			
	110	1550	32.38	0.03		20	1200	2640			
2	120	1560	32.37	0.02		21	1260	2700			
	130	1570	32.37	0.02		22	1320	2760			
	140	1580	32.37	0.02		23	1380	2820			
	160	1600	32.37	0.01		24	1440	2880			
t:	tiempo desde inicio de bombeo (min)					t':	tiempo desde fin del bombeo (min)				
s':	abatimiento residual										

Anexo 9. Valores de parámetros hidroquímicos del agua

Parámetros	2021								2019									
	Cañeras 1	Cañeras 3	Cañera 6	Guadalupe López	Pozo Solís	Orquídea No. 2	La Gran Villa II	Llanos de Canadá No. 1	BCVI-1	BCVI-2	BCVI-4	BCVI-5	Guadalupe López	La Victoria	Manuel Coello	Cañeras 1	Villa Linda No. 1	Villasol
Na ⁺	47.45	47.66	47.48	82.52	71.86	42.65	40.7	113.54	85	131.21	81	41.15	130	32.5	42.8	47.75	47.1	34.8
K ⁺	4.85	4.2	3.78	8.26	5.37	5.60	6.9	10	10.8	12.81	8.7	3.46	10.28	3.64	4.27	3.6	6.09	4.98
Ca ²⁺	95.6	83.4	74.3	65.2	81	77.70	72.2	66.7	56	42.4	48	84	55	114	91	67	94	75
Mg ²⁺	26.8	29.3	19.9	16.5	21.4	27.10	14.4	17.50	27	20.64	29	24	14	24	19	34	17	45
Cl	28.66	49.07	26.23	51.92	51.01	33.52	33.52	46.15	29	58.5	26	34	69	53	29	23	43	39
so4-2	45.71	44.22	33.4	41.22	107.46	18.94	8.35	93.93	24	25.7	66	58	45	28	18	62	58	61.2
NO ₃	12.76	7.92	3.08	10.56	7.26	25.96	6.82	9.46	1.5	0	0.11	11.5	2	19.84	5	6	1.81	22.2
HCO ₃	437.95	389.42	384.53	409.54	382.32	404.08	384.69	414.28	339	383	284	332	375	370	380	342	362	357

Anexo 10. Análisis de parámetros de calidad de agua subterránea



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola

Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0147
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (8.0 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo Orquídea #2	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.23	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.1 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 027.11 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	657.35 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	331.74 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	42.65 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	5.60 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	77.70 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	27.10 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	33.52 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.04 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	<0.0015 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.01 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.03 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	313.95 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	18.94 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	25.96 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	<1 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	0.013 m/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	39.9 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	6 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.
Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado
UFC = Unidades formadoras de colonias
NMP = Número más probable

<1= 0 UFC/100 mL
<1= 0 NMP/100 mL

Ana Martínez, Mg. Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.
El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.
Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0148
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-A/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (7.2 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo Solis	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.27	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.1 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 230.58 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	787.57 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	313.31 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	71.86 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	5.37 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	81.00 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	21.40 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl)	51.01 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	1.09 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.01 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.06 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.01 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	294.84 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	107.46 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	7.26 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	20 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	0.013 m/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	4.1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.
Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado
UFC = Unidades formadoras de colonias <math><1= 0</math> UFC/100 mL
NMP = Número más probable <math><1= 0</math> NMP/100 mL


Ana Martínez, Mg. Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-A/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.
El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.
Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0149
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-B/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (9.1 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo # 6 Cañeras	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.29	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.4 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 024.67 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	655.79 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	315.25 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	47.48 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	3.78 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	74.30 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	19.90 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	26.23 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.10 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.01 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.04 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.06 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	322.14 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	33.40 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	3.08 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	24 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	No Detectado	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado

UFC = Unidades formadoras de colonias

<1= 0 UFC/100 mL

NMP= Número más probable

<1= 0 NMP/100 mL

Ana Martínez, Mg. Sc.

Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-B/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.

Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0150
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-C/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (7.6 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo # 3 Cañeras	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.28	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.1 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 089.25 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	697.12 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	319.13 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	47.66 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	4.20 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	83.40 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	29.30 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	49.07 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.05 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	<0.0015 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.02 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.06 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	362.18 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	44.22 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	7.92 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	<1 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	0.013 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	1.0 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	3 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

-----U.L-----

AGUA= DURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.
Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

- Análisis Microbiológico Subcontratado
- UFC** = Unidades formadoras de colonias <math><1=0</math> UFC/100 mL
NMP= Número más probable <math><1=0</math> NMP/100 mL

Ana Martínez, Mg. Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-C/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.
El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.
Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0151
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-D/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (6.8 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo # 1 Cañeras	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.56	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.4 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 218.40 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	779.78 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	358.90 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	47.45 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	4.85 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	95.60 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	26.80 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	28.66 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.07 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.02 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.01 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.09 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	353.99 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	45.71 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	12.76 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	9 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	No Detectado	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

- Análisis Microbiológico Subcontratado

UFC = Unidades formadoras de colonias

<1= 0 UFC/100 mL

NMP= Número más probable

<1= 0 NMP/100 mL


Ana Martínez, Mg/Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-D/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.
El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.
Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0152
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-E/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (7.9 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo # 2 La Gran Villa	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.31	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.5 °C	18-30 °C	4500-H ⁺ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	997.87 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	638.64 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	315.25 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	40.70 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	6.90 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	72.20 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	14.40 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	33.52 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.83 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.01 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.01 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.01 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	244.79 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	8.35 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	6.82 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	10 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	No Detectado	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

U.L.

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado
UFC = Unidades formadoras de colonias
NMP= Número más probable

<1= 0 UFC/100 mL
<1= 0 NMP/100 mL



Ana Martínez, Mg. Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola

ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-E/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.

Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente ¹ : Erick Chávez	Muestra No.: 0153
Dirección ¹ : Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto ¹ : Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-F/21
Matriz ¹ : Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (13.4 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación ¹ : Pozo # 1 Llanos de Canadá	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.37	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.2 °C	18-30 °C	4500-H+ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 328.06 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	849.96 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	339.50 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	113.54 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	10.00 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	66.70 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	17.50 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl ⁻)	46.15 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.06 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.02 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.01 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.05 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	257.53 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	93.93 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	9.46 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	4 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	0.013 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPt-Co	1-15 mg/L (UPt-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	816.4 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	160 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A.
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado

UFC = Unidades formadoras de colonias

<1= 0 UFC/100 mL

NMP= Número más probable

<1= 0 NMP/100 mL

Ana Martínez, Mg. Sc.

Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-F/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.

Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 1/2

Laboratorio Químico Agrícola
Col. Sula 3era. calle SO, contiguo al Instituto Patria, La Lima, Cortés

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

Cliente¹: Erick Chávez	Muestra No.: 0154
Dirección¹: Col. 21 de Abril, Villanueva, Cortés.	Fecha de Ingreso: 2021/02/23
Contacto¹: Erick Chávez	Fecha de Ejecución del Análisis: 2021/02/24 – 2021/03/11
Entregada Por: Erick Chávez	Lugar de Ejecución del análisis: Instalaciones LQA-FHIA
Mtra. Recolectada Por: El cliente	Solicitud #: 43928
Plan de muestreo: No aplica	Factura #: 10520
Método de muestreo: No aplica	Informe: Lqa # 115-G/21
Matriz¹: Agua de pozo	Observaciones: No aplica
Condiciones de recepción de muestra: Cantidad suficiente; conservada en hielo (17.8 °C), envase adecuado, suministrado por el laboratorio LQA-FHIA, no preservada por el cliente.	
Identificación¹: Pozo Guadalupe López	Fecha de Emisión de Informe: 2021, Marzo 19

Determinación Física	Resultado	Norma	Método
pH (<i>in lab</i>)	7.48	6.5-8.5	4500-H B Potenciométrico
Temperatura (<i>in lab</i>)	23.5 °C	18-30 °C	4500-H+ B
Conductividad Eléctrica (<i>in lab</i>)	1 201.34 µs/cm	400 µs/cm	2510 B Conductímetro
Total Sólidos Disueltos	768.86 mg/L	1000 mg/L	2510 B
Determinación Química			
Alcalinidad	335.62 mg/L	--	2320 B Titulación H ₂ SO ₄
Sodio (Na)	82.52 mg/L	25-200 mg/L	3500-Na B Emisión
Potasio (K)	8.26 mg/L	10 mg/L max	3500-K B Emisión
Calcio (Ca)	65.20 mg/L	100 mg/L CaCO ₃	3111 B
Magnesio (Mg)	16.50 mg/L	30-50 mg/L CaCO ₃	3111 B
Cloruros (Cl)	51.92 mg/L	25-250 mg/L-Cl	4500-Cl B Argentométrico
Hierro (Fe)	0.10 mg/L	0.3 mg/L max	3111 B
Manganeso (Mn)	0.02 mg/L	0.01-0.5 mg/L max	3111 B
Cobre (Cu)	0.02 mg/L	1.0-2.0 mg/L	3111 B
Zinc (Zn)	0.02 mg/L	3.0 mg/L max	3111 B
Dureza total	263.90 mg/L	400 mg/L CaCO ₃	2340 C
Sulfatos (SO ₄)	41.22 mg/L	25-250 mg/L	4500-SO ₄
Nitratos (NO ₃)	10.56 mg/L	25-50 mg/L	4500-NO ₃ E
Turbidez	12 UNT	1-5 UNT	2130-B
Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	0.16 mg/L	0.05-0.5 mg/L max	4500-NH ₃ Colorimétrico
Color Verdadero	<1 UPT-Co	1-15 mg/L (UPT-Co)	2120-C Espectrométrico
Determinación Microbiológica			
• Recuento de Escherichia Coli	<1 NMP/100 mL	0 NMP/100 mL	9223-B
• Coliformes Totales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9223-B
• Coliformes Fecales	<1 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	9222-D

¹Información suministrada por el cliente

AGUA= SEMIDURA

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn



FUNDACIÓN HONDUREÑA DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

CODIGO RT-41
Versión No. 4
Pág. 2/2

Norma: Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

Método: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, 23rd edition 2017.

• Análisis Microbiológico Subcontratado

UFC = Unidades formadoras de colonias

NMP = Número más probable

<1= 0 UFC/100 mL

<1= 0 NMP/100 mL


Ana Martínez, Mg. Sc.
Jefe Lab. Químico Agrícola



ma/Sol.43928/agua de pozo/lqa115-G/21

Los resultados presentados corresponden únicamente a las muestras analizadas en las condiciones de muestreo recibidas en las instalaciones del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.
El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente, ni del uso de los resultados fuera del alcance previsto respaldado por el laboratorio.
Este informe de resultados de ensayo no se puede reproducir excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Lab. Químico Agrícola de la Fhia.

Apartado Postal 2067, San Pedro Sula, Cortés, Honduras, C.A
Tels. PBX: (504) 2668-2470, 2668-2827, 2668-2864, Fax: (504) 2668-2313
Correo electrónico: fhia@fhia-hn.org
La Lima, Cortés, Honduras, C.A.
www.fhia.org.hn