



Trabajo de tesis  
Para optar al grado de  
Máster en Ciencias del Agua

**Título:**

**“Potencial Hídrico y Calidad de las Aguas de la unidad de cuenca del Río Papaturro,  
asociados a las condiciones socioambientales”**

**Autor:**

**Lic. Irnan Bustos Pérez**

**Tutor:**

**MSc. Valeria Delgado**

**Asesores:**

**MSc. Jorge Guatemala**

**MSc. Yader Caballero**

**Managua 29 de noviembre 2019**

Trabajo de tesis  
Para optar al grado de  
Máster en Ciencias del Agua

**Título:**  
**“Potencial Hídrico y Calidad de las Aguas de la unidad de cuenca del Río Papaturro,  
asociados a las condiciones socioambientales”**

**Autor:**  
**Lic. Irnan Bustos Pérez**

**Tutor:**  
**MSc. Valeria Delgado**

**Asesores:**  
**MSc. Jorge Guatemala**  
**MSc. Yader Caballero**

**Managua 29 de noviembre 2019**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA



CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN  
EN RECURSOS ACUÁTICOS  
DE NICARAGUA

CIRA/UNAN-MANAGUA





UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA



CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN  
EN RECURSOS ACUÁTICOS  
DE NICARAGUA

CIRA/UNAN-MANAGUA



## Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi Padre Celestial, quien me ha dado las capacidades para sobreponerme en cada circunstancia que he vivido y poder llevar a cabo este trabajo de tesis; a mi esposa Nazareth Dinarte Cruz, quien se comprometió directamente como apoyo en el trabajo de campo; a mi hijo Irnan Bustos Dinarte, que también fue de mucha ayuda durante las actividades de campo y a mi hija Dirbnath Bustos Dinarte que también estuvo conmigo en el desarrollo de este trabajo.

## Agradecimientos

Al CIRA/UNAN-Managua por haberme brindado la oportunidad de ser parte del Programa de Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua y por el financiamiento para mi tesis a través del Proyecto Manejo Comunitario del Agua en Nicaragua y Centroamérica, ACIDI-CIDA.

A mi comité de tesis integrado por MSc. Valeria Delgado, MSc. Jorge Guatemala y MSc. Yader Caballero, quienes estuvieron conmigo apoyándome para cumplir con esta meta.

Nuevamente a MSc. Jorge Guatemala, MSc. Yader Caballero y al equipo técnico del CIRA quienes me apoyaron en la toma de muestras para analizarlas.

A la Universidad Internacional Antonio de Valdivieso, quienes me brindaron el tiempo y apoyo para realizar las actividades de monitoreo mensual en la unidad de cuenca.

A los amigos de Suiza con el pueblo de Rivas, quienes aportaron los fondos para el pago de los análisis de agua en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua.

A Roberto Corea, quien me apoyó con fondos para gastos de combustible a las comunidades y a la Alcaldía de Rivas, de quienes obtuve información a través de la Unidad Ambiental.

A los pobladores de las comunidades de la unidad de cuenca del Río Papaturro quienes me ofrecieron su apoyo incondicionalmente, y me ayudaron a llevar registros pluviométricos.

## Índice general

	Página
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Área de estudio.....	2
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	4
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
1.5 Justificación.....	6
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Características físicas de la unidad de cuenca del Río Papaturro.....	7
2.1.1 Clima .....	8
2.1.2 Geomorfología .....	8
2.1.3 Geología.....	10
2.1.4 Suelo .....	12
2.1.5 Uso potencial del suelo .....	15
2.1.6 Uso actual del suelo .....	16
2.1.7 Relieve .....	17
2.1.8 Cobertura vegetal.....	18
2.1.9 Morfometría de la unidad de cuenca del Río Papaturro .....	19
2.1.10 Hidrología .....	20
2.1.11 Hidrogeología.....	22
2.2 Calidad del Agua .....	24
2.3 Caracterización socio económica del área de estudio. ....	25
2.3.2 Inventario forestal .....	27
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	28
3.1 Universo y muestra de estudio .....	28
3.2 Recolección de información secundaria y primaria.....	28
3.3 Plan de análisis de datos de información .....	28
3.4 Clima 29	
3.5 Geomorfología y Geología .....	29
3.6 Características físicas del suelo .....	30
3.7 Morfometría de la unidad de cuenca .....	31
3.8 Hidrología.....	35
3.8.1 Pruebas de infiltración utilizando doble anillo.....	36
3.8.2 Medición de escorrentía .....	37
3.8.3 Medición de caudales en ríos .....	38
3.8.4 Interacción río-acuífero .....	38
3.9 Hidrogeología .....	40
3.9.1 Determinación de propiedades hidráulicas del acuífero.....	41
3.9.2 Áreas de Recarga de Agua Subterránea .....	42
3.9.3 Balance Hídrico .....	43

3.10 Calidad del Agua .....	43
3.10.1 Muestreo de aguas subterráneas y superficiales .....	44
3.11 Análisis de las características socioambientales de la unidad de cuenca del Río Papaturro .....	47
3.11.1 Aplicación de encuestas. ....	47
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
4.1 Clima	50
4.2 Geología.....	51
4.3 Características del suelo .....	53
4.4 Morfometría de la unidad de cuenca.....	55
4.5 Hidrología.....	57
4.5.1 Análisis de datos meteorológicos .....	57
4.5.3 Escorrentía .....	61
4.5.4 Medición de caudales en ríos.....	61
Interacción río-acuífero .....	65
4.6 Hidrogeología .....	66
4.6.1 Piezómetro.....	66
4.6.2 Recarga en el acuífero .....	68
Análisis de la infiltración .....	68
4.6.3 Zonas de recarga .....	71
4.6.4 Determinación de parámetros hidráulicos del acuífero.....	72
4.7 Extracciones por bombeo en el río .....	75
4.8 Balance Hídrico .....	77
4.9 Calidad del Agua .....	79
4.9.1 Parámetros físico-químicos de campo .....	80
4.9.2 Calidad físico-química del agua subterránea y superficial.....	83
Composición hidroquímica del agua .....	83
Calidad físico química del agua.....	89
Clasificación del agua para riego .....	97
4.10 Análisis de las condiciones socioambientales de la unidad de cuenca	106
4.10.1 Edad de la población, nivel de escolaridad, salud y acceso a la salud	106
4.10.2 Uso y consumo de agua del río y pozos.....	108
4.10.4 Uso de suelos, bosque y plaguicidas .....	111
4.11 Inventario forestal .....	113
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS .....</b>	<b>128</b>
8.1 Características de suelos .....	128
8.2 Datos climáticos.....	130
8.3 Escorrentía curva número.....	134
8.4 Cambios de nivel de pozos y parámetros de campo, unidad de cuenca del Río papaturro.....	138
8.5 Encuesta aplicada a pobladores de la unidad de cuenca del Río Papaturro.....	143



<b>8.6 Gráficos de análisis socioambiental, unidad de cuenca del Río Papaturreo.</b>	147
<b>8.7 inventario forestal.</b>	154
<b>8.8 Gráficos de inventario forestal. unidad de cuenca del Río Papaturreo....</b>	156

## Índice de tablas.

<i>Tabla 1. Perfil representativo de la Serie San Rafael.</i>	14
<i>Tabla 2. Perfil representativo de un Vertisol.</i>	15
<i>Tabla 3. Características de los principales ríos en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	22
<i>Tabla 4. Características Hidrogeológicas en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	24
<i>Tabla 5. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma.</i>	32
<i>Tabla 6. Valores interpretativos del factor de forma.</i>	32
<i>Tabla 7. Clasificación de la pendiente.</i>	33
<i>Tabla 8. Respuesta en base a la densidad de drenaje.</i>	34
<i>Tabla 9. Parámetros físicos analizados.</i>	45
<i>Tabla 10. Parámetros químicos analizados.</i>	45
<i>Tabla 11. Parámetros microbiológicos analizados.</i>	47
<i>Tabla 12. Distribución de las encuestas en las comunidades de la unidad de cuenca.</i>	49
<i>Tabla 13. Pluviometría en la unidad de cuenca del Río Papaturreo, conforme los registros de los pluviómetros instalados.</i>	50
<i>Tabla 14. Propiedades de los suelos: (1) Serie San Rafael. (2) suelos Vérticos a Vertisoles.</i>	54
<i>Tabla 15. Características morfométricas de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	56
<i>Tabla 16. Pluviometría en la unidad de cuenca del Río Papaturreo, año 2013.</i>	58
<i>Tabla 17. Caudales de los afluentes y del río principal (m<sup>3</sup>/s), unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	62
<i>Tabla 18. Estratos de pozo perforado (PP4) Los Horconcitos, los números entre paréntesis indica el estrato, en el gráfico a continuación.</i>	73
<i>Tabla 19. Componentes del balance hídrico en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	78
<i>Tabla 20. Resultados analíticos de concentraciones de cationes y aniones mayores en las aguas superficiales y subterráneas de la unidad de cuenca del Río el Papaturreo.</i>	85
<i>Tabla 21. Resultados de laboratorio, parámetros físicos, aguas superficiales y subterráneas unidad de cuenca del Río Papaturreo (noviembre 2013 y febrero 2014).</i>	86
<i>Tabla 22. Concentraciones de dureza total, Alcalinidad total, y especies nitrogenadas en el agua superficial y subterránea de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	87
<i>Tabla 23. Clasificación de la dureza (EPA, 1986) para las fuentes de agua en la unidad de cuenca.</i>	94
<i>Tabla 24. Parámetros relacionados (máxima concentración recomendada) con el agua de irrigación, unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	98
<i>Tabla 25. Resultados analíticos de indicadores microbiológicos en aguas superficial y subterránea de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	105
<i>Tabla 26. Características de suelos en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	128
<i>Tabla 28. Temperaturas: medias, máximas y mínimas. del Departamento de Rivas.</i>	130
<i>Tabla 29. Cálculo de evaporación potencial en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	130
<i>Tabla 30. Registro pluviométrico (mm/años) en las estaciones de INETER en el Departamento de Rivas.</i>	131
<i>Tabla 31. Resumen de pluviometría del 2013 (mm/mes) en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.</i>	133
<i>Tabla 33. Valores N corregidos. para cálculo de escorrentía. utilizando curva número.</i>	134
<i>Tabla 34. Tipo de suelo en función de la textura.</i>	135
<i>Tabla 35. Valores de N para corregir. según condición de humedad.</i>	135

Tabla 36. Umbral de escorrentía. cuando la precipitación es > 25 mm 0 < 50 mm en 5 días; en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	135
Tabla 37. Hoja de registro. datos de caudal de ríos. en unidad hidrográfica del Río Papaturreo. ....	136
Tabla 38. Hoja de registro. datos de caudal de ríos. en unidad hidrográfica del Río Papaturreo. ....	137
Tabla 39. Monitoreo de Pozos. nivel freático del agua subterránea y parámetros de campo. ....	138
Tabla 40. Continuación de Tabla, nivel freático del agua subterránea y parámetros de campo. ....	139
Tabla 41. Parámetros de campo, unidad de cuenca del Río papaturro. ....	140
Tabla 42. Cambios de niveles en pozos cercanos al río.....	141
Tabla 43. Cambio de nivel de pozos alejados de los ríos.....	142
Tabla 44. Ubicación de parcelas para inventario forestal, en unidad de cuenca del Río Papaturreo. ....	154
Tabla 45. Formato de levantamiento de datos de inventario forestal. ....	155

## Índice de figuras.

Figura 1. Ubicación del área de estudio y su red hídrica.....	3
<b>Figura 2. Geología de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....</b>	<b>11</b>
Figura 3. Orden de suelo (INETER, 1984).....	13
Figura 4. Uso Potencial de suelo (INIDE-MAGFOR, 2013).....	16
Figura 5. Uso Actual de suelo (INIDE-MAGFOR, 2013).....	17
Figura 6. Relieve en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	18
Figura 7. Cobertura Vegetal en la unidad de cuenca del Río Papaturreo (INIDE-MAGFOR, 2013)....	19
Figura 8. Red Hídrica de la unidad de cuenca Río Papaturreo. ....	21
Figura 9. Mapa Hidrogeológico de la unidad de cuenca del Río Papaturreo (Krásný, 1998). ....	23
Figura 10. Mapa Hidroquímico de la unidad de cuenca del Río Papaturreo (Krásný, 1998). ....	25
Figura 11. Uso de datos (propiedades del acuífero) para calcular el volumen de agua que puede aportar el acuífero (CONAGUA, 2015). ....	42
Figura 12. Distribución de las precipitaciones en la unidad de cuenca. ....	59
Figura 13. Caudales medidos (m <sup>3</sup> /s) en la unidad de cuenca. ....	64
Figura 14. Isopiezas y dirección de flujo subterráneo en la unidad de cuenca del Río Papaturreo....	68
Figura 15. Ubicación y tasa de infiltración en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	70
Figura 16. Distribución del área de recarga en las zonas alta, media y baja de la unidad de cuenca. ....	72
Figura 17. Ubicación de bombas de extracción sobre Río Grande.....	76
Figura 18. Ubicación de los sitios de muestreo de aguas superficiales y subterráneas (noviembre 2013 y febrero 2014). ....	80
Figura 19. Mapa de isolíneas de conductividad eléctrica. ....	82
Figura 20. Diagrama de Piper, clasificación hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas de unidad de cuenca del Río Papaturreo (febrero 2014).....	88
<b>Figura 21. Diagrama de pH vs. fracción de concentraciones de bicarbonato (Appelo, 1996). ....</b>	<b>93</b>
Figura 22.. Ubicación de las parcelas de muestreo para realización del inventario forestal.....	114

## Índice de gráficos.

Gráfico 1. Curva hipsométrica, unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	57
Gráfico 2. Temperaturas registradas en la estación de INETER Rivas 69070, promedios mensuales 1968-2011.....	60
Gráfico 3. Temperaturas medias registradas en estación INETER Rivas 69070, en los años 2012 al 2015.....	60
Gráfico 4. Comportamiento de la temperatura media mensual con respecto a la precipitación media mensual en la unidad de cuenca.....	61
Gráfico 5. Relación entre la precipitación, recarga potencial y caudal del río en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	63
Gráfico 8. Componentes del balance hídrico, unidad de cuenca del Río Papaturreo.. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Gráfico 9. Valores de pH en la unidad de cuenca Río Papaturreo (26-11-2013 y 25-02-2014).....	83
Gráfico 10. Relación entre la dureza y la alcalinidad en las aguas superficiales y subterráneas de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	95
Gráfico 11. Contenido de especies nitrogenadas (nitratos, nitritos y amonio) en las aguas subterráneas y superficiales de la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	96
Gráfico 13. Diagrama de salinidad para aguas de irrigación, unidad de cuenca del Río Papaturreo (febrero 2014).....	100
Gráfico 14. Calidad microbiológica de las aguas superficiales y subterráneas en unidad de cuenca del Río Papaturreo, durante el período lluvioso (noviembre 2013).....	103
Gráfico 15. Calidad microbiológica de las aguas superficiales y subterráneas en unidad de cuenca del Río Papaturreo, durante el período seco (febrero 2014).....	103
Gráfico 16. Porcentaje de edad de la población. Gráfico 17. Nivel de escolaridad (%).....	107
Gráfico 18. Enfermedades en la unidad de cuenca. Gráfico 19. Accesibilidad al centro salud. .	108
Gráfico 20. Uso del agua. Gráfico 21. Consumo de agua en MMCA.....	109
Gráfico 22. Características físicas de los pozos. Gráfico 23. Profundidad de los pozos.....	110
Gráfico 24. Problemas en el agua.....	110
Gráfico 25. Contaminación por sistemas sépticos. Gráfico 26. Porcentaje de familias con animales.....	111
Gráfico 27. Uso de la tierra. Gráfico 28. Tipo de bosque.....	112
Gráfico 29. Especies vegetales distribuidas en la unidad de cuenca del Río Papaturreo.....	115
Gráfico 30. Relación de uso de suelos desde 1980 hasta el 2011.....	117
Gráfico 31. Especie animal que se explotan en la unidad de cuenca.....	147
Gráfico 32. Relación entre la población. edad y el área ocupada en la unidad de cuenca.....	147
Gráfico 33. Consumo de agua por especie animal. en la unidad de cuenca.....	147
Gráfico 34. Población que presenta enfermedades relacionadas con el consumo de agua.....	148
Gráfico 35. Uso de la tierra en la unidad de cuenca.....	148
Gráfico 36. Cobertura del bosque en la unidad de cuenca.....	148
Gráfico 37. Edad del bosque en unidad de cuenca.....	149
Gráfico 38. Tipos de bosque en la unidad de cuenca.....	149
Gráfico 39. Familias que tienen fosa séptica. letrinas. o campo de desagüe en la unidad de cuenca.....	149
Gráfico 40. Familias con instalaciones para animales de granja y almacenamiento de estiércol.....	150
Gráfico 41. Relación de uso de plaguicidas con suministro de agua.....	150
Gráfico 42. Relación profundidad de pozos con distancia a fuentes de contaminación.....	150
Gráfico 43. Familias con pozos que presentan depresiones y perforaciones alrededor del brocal.....	151
Gráfico 44. Familias que han realizado análisis de agua en pozos.....	151
Gráfico 45. Meses en que los pozos tienden a secarse.....	151
Gráfico 46. Uso del agua en la unidad de cuenca.....	152
Gráfico 47. Cultivos en los que se utiliza el agua de riego.....	152

Gráfico 48. Nivel de escolaridad en la unidad de cuenca.....	152
Gráfico 49. Accesibilidad a los centros de salud en la unidad de cuenca. ....	153
Gráfico 50. Meses en los que el río pierde su curso. ....	153
Gráfico 51. Clase diamétrica.....	156
Gráfico 52. Especies más importantes. ....	156
Gráfico 53. Comportamiento de la composición arbórea con respecto a la altura sobre el nivel del mar. ....	157

## Índice de fotos.

Foto 1. Instalación y lectura de pluviómetros en la unidad de cuenca. ....	50
Foto 2. Formaciones rocosas de la unidad de cuenca del Río Papaturre: rocas de la Formación Reciente (a y b); roca volcánica fundida a sedimentaria (c). rocas de la Formación Rivas (d y e); deposición aluvial (f). ....	51
Foto 3. Manantiales que brotan en la loma de Los Camastros.....	52
Foto 4. Manantial en la zona de La Chorrera. Foto 5. Cascada en la Formación Brito. ....	52
Foto 6. Perfiles de la Serie de suelos en la unidad de cuenca del Río Papaturre.....	54
Foto 8. Determinación de la sección transversal y de la velocidad de flujo con molinete. ....	62
Foto 8. Instalación de seepagemeters en los sitios seleccionados.....	65
Foto 9. Instalación de minipiezómetros; en punto de aforo 1 (a), punto de aforo 2 (b). ....	66
Foto 10. Gira de reconocimiento, inventario de pozos y monitoreo de aguas subterráneas en la unidad de cuenca del Río Papaturre.....	67
Foto 11. Pruebas de infiltración con doble anillo (instalación y lectura).....	69
Foto 12. Perforación, stratigrafía y prueba de bombeo en pozo N°4 Horconcos.....	73
Foto 13. Sitios de extracción de agua de río utilizando bombeo. ....	75
Foto 14. Colecta de muestras de agua superficial y subterránea, y medición de parámetros físico-químicos de campo. ....	79
Foto 15. Medición de parámetros de campo en agua subterránea, en la unidad de cuenca del Río Papaturre. ....	81
Foto 16. Presencia de <i>Escherichia coli</i> en pozos perforados en la unidad de cuenca Río Papaturre. ....	101
Foto 17. Visitas a las familias para la realización de encuestas: foto izquierda, Los Horconcos; foto derecha, El Coyolito. ....	106
Foto 18. Actividades desarrolladas en inventario forestal. ....	114

## RESUMEN

La unidad de cuenca del Río Papaturro está ubicada a 6 km al suroeste de la cabecera municipal del Departamento de Rivas, en las coordenadas (1262307 N y 623554 E); posee una extensión de 80.9 km<sup>2</sup>, la cual se comparte con los municipios de Rivas, San Juan del Sur y Tola. Su población es de 3783 habitantes, distribuidos en 772 familias.

A partir del año 2011, los pobladores de las comunidades La Tigrera, Nevada y el sector de Los Horcones en la comunidad de El Horconcito han manifestado falta de abastecimiento de agua, lo cual redundaba en la salud de la población. Esta situación ha sido resuelta de manera momentánea llevando agua en pipas a los comunitarios de Nevada y Los Horcones; sin embargo, para La Tigrera no ha sido posible debido al acceso a esta comunidad; por lo que los pobladores han tenido que viajar a la comunidad de El Coyolito para poder suministrar su necesidad de este vital líquido. Aunque esta problemática de momento se presenta en un 20% del territorio, esta situación podría llegar a afectar a una mayor zona debido al mal manejo de la unidad de cuenca, el cual está afectando la disponibilidad y calidad del agua, para dar respuesta a todas las actividades socioeconómicas realizadas en esta unidad de cuenca; pero sobre todo para el consumo de la población.

Considerando que el agua es un derecho humano, y que los objetivos de la Agenda 2030 se centran en el abastecimiento del agua potable y saneamiento para la población, se realizaron distintas actividades para dar solución a la problemática de estas comunidades, considerando sus condiciones socioambientales, las características físicas y geomorfológicas de la cuenca, así como también la cobertura forestal existente. Para esto, se realizaron reconocimientos geológico, hidrológico e hidrogeológico, la caracterización hidrológica de los ríos durante un periodo de ocho meses, las propiedades hidráulicas del acuífero, así como la variación estacional de los niveles de agua. Esta caracterización no podría estar completa sin la evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas desde el punto de vista físico-químico y microbiológico, enfocando su uso al consumo humano y la irrigación.

Los resultados indican que la unidad de cuenca es muy vulnerable debido a que es un acuífero fracturado y de poca profundidad, sus propiedades hidráulicas, material geológico presente, las afectaciones por la variabilidad climática, la intermitencia de las fuentes superficiales de agua y la pérdida de estas por escorrentía; así como las actividades antropogénicas realizadas en el territorio, han repercutido en la disponibilidad de sus aguas.

Las características naturales de las aguas, asociada con el material geológico de la cuenca, disminuyen su calidad respecto a ciertos parámetros físico-químicos; lo

cual también incide en la salud de la población. Aunado a esto, la presencia de pozos en áreas cercanas a corrales y letrinas, el daño presentado en la infraestructura de un 40% de los pozos, la falta de potabilización y saneamiento han impactado con contaminación fecal este recurso.

Conforme los resultados del balance hídrico subterráneo, la unidad de cuenca dispone de 15.29 MMCA de agua, volumen que se considera suficiente de acuerdo con el inventario de consumo que realiza la población (0.147 MMCA); sin embargo, debido a la distribución poblacional en la unidad de cuenca que no tiene acceso al agua y a la dotación per cápita diaria establecida por la NTON (75 l/hab/día), este volumen no es suficiente. El agua superficial es inadecuada, ya que la mayor parte se pierde por escorrentía (10.85 MMCA), debido a las características del suelo, la geología y la distribución de las lluvias. La recarga al acuífero es menor en las zonas de baja cobertura forestal de la unidad de cuenca.

**Palabras clave:** Río Papaturro, Rivas, unidad de cuenca, disponibilidad, calidad.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

Dentro de la Región Centroamericana, Nicaragua es el país que posee una gran abundancia de recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos; no obstante, esta riqueza está siendo amenazada por las actividades que se realizan en las diferentes unidades cuencas, así como de los componentes socioculturales, los que han llegado a ser determinantes en el mal manejo de los recursos naturales de las comunidades; como es el caso en la unidad de cuenca del Río Papaturro, en donde se realizó este estudio.

La unidad de cuenca del Río Papaturro está comprendida entre los municipios de Rivas, Tola y San Juan del Sur; en la que en los últimos años se han acelerado los procesos de cambio de uso de suelos, la pérdida de suelos fértiles y la disminución de la capacidad de infiltración, lo que repercute en la disponibilidad hídrica. A su vez, el desconocimiento ambiental y la ausencia de cambios de actitud en la población, ha permitido un inadecuado manejo de los desechos domésticos (sólidos y líquidos), el uso incorrecto de plaguicidas (sobredosisificación, utilización y mala disposición de sus desechos), los cuales han contribuido a la contaminación del agua subterránea y superficial.

Este estudio integra todos los elementos que impactan en el equilibrio de las condiciones naturales de la zona, principalmente aquellas provocadas por las actividades antropogénicas, con el objetivo de orientar los esfuerzos de los planes de manejo y con ello ser más eficientes en la aplicación de las metodologías a implementar. Con este fin se ha planteado el objetivo de determinar el potencial hídrico y la calidad del agua que afectan a las comunidades que habitan en esta zona durante el periodo 2013-2014, el cual se vio marcado por periodos de extrema sequía, y que en un futuro pueda servir como referente para otros eventos similares.

## **1.1 Área de estudio**

El estudio se ha desarrollado en el área de la unidad hidrográfica del Río Papaturro, cuya clasificación y codificación con el método Pfafstetter es 70-953375542 (INETER, ANA, UNI, GIZ-PROATAS, 2014); posee una extensión de 80.9 km<sup>2</sup>, y se ubica entre las coordenadas 1262307 N y 623554 E. El área abarca partes de los municipios de Rivas, San Juan del Sur y Tola, y se sitúa a 5 km al suroeste de la cabecera departamental de Rivas (Figura 1).

El río se origina en la parte alta de las comunidades San Antonio, Papaturro y Bernardino Díaz, recibiendo a su paso los afluentes de los ríos El Pedernal,, El Madroñal, La Tigra, El Coyolito y Veracruz; hasta formar el Río Grande, el cual descarga finalmente al Río Brito, y desemboca en el Océano Pacífico (MAGFOR, 2003).



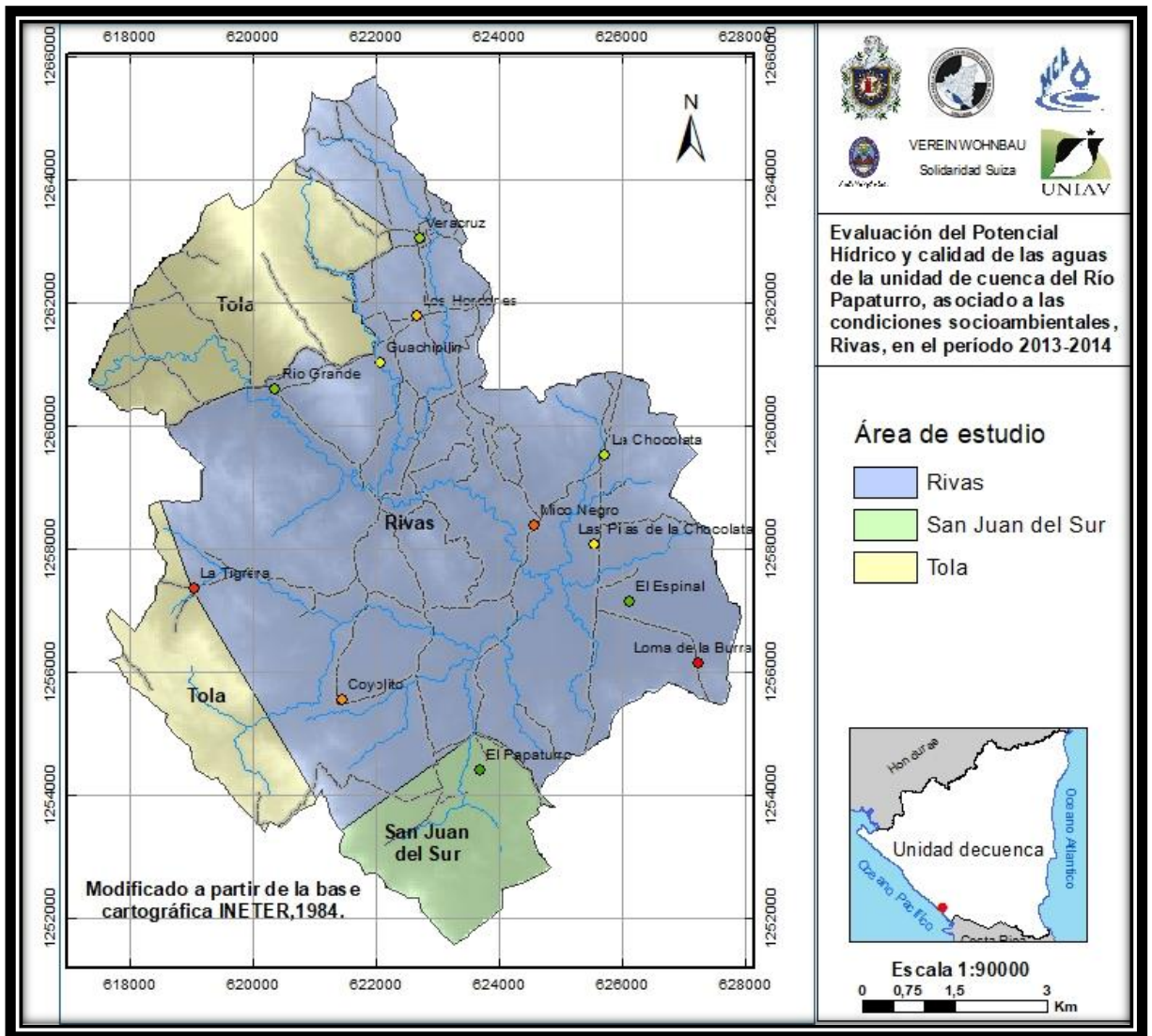


Figura 1. Ubicación del área de estudio y su red hídrica.

## 1.2 Antecedentes

Los aborígenes que habitaron esta zona utilizaban el agua del río mediante la perforación de pequeñas oquedades a la orilla del mismo, estos mantenían el flujo permanente. Este comportamiento era una práctica común en la década de los años 80 en las comunidades La Chocolatea y Veracruz.

Desde los años 70 a la actualidad la disponibilidad del agua en esta zona ha disminuido producto de las actividades antropogénicas: las masas boscosas han

menguado drásticamente por el avance de la frontera agrícola y el sobrepastoreo; los suelos se han erosionado perdiendo la capa arable; hay menor infiltración del agua en los suelos y por ende la recarga al acuífero también. También se debe tener en consideración los efectos del cambio climático y la disminución de las precipitaciones medias, que influyen en la rebaja de los niveles de agua en los pozos, los que en muchos casos los pobladores han tenido que profundizarlos al secarse. Todo esto pone en evidencia la fragilidad de las fuentes de agua en estas comunidades donde aún no hay un estudio a detalle que permita tener un diagnóstico de lo que está ocurriendo en la unidad de cuenca.

Las características físicas y químicas del suelo y del material geológico, ayudan a comprender aspectos hidrogeológicos ligados a la calidad del agua (INETER, COSUDE, GTZ, 1998). Tomando en cuenta estas características, las capacidades de uso de los subórdenes de estos y su uso actual, permite relacionar los fenómenos que están ocurriendo, con la disponibilidad del agua en estas condiciones (CATASTRO, 1971). También se han realizado estudios de actualización de suelos en Rivas, Tola y San Juan del Sur, relacionados con lo anterior y su conflicto de uso (Acuña, 2008).

Se realizó una evaluación de las condiciones presentes en tres unidades de cuenca: Brito, Nagualapa y Escalante, las cuales presentan condiciones similares a la zona de estudio (CIRA, 2007).

En la unidad de cuenca del Río Papaturre se llevó a cabo con una pequeña parte de la población un plan de manejo y ordenamiento de fincas en el año 2011; con el apoyo de AMUR, INAFOR y las Unidades de Gestión Ambiental (UGA) de las alcaldías de los municipios de Rivas, Tola y San Juan del Sur. El plan consistió en delimitar las áreas de las fincas, ubicar zonas vulnerables para cultivos y establecer parcelas silvopastoriles (Peña, 2011).

### **1.3 Planteamiento del problema**

En la Región Centroamericana las unidades de cuenca están experimentando una reducción de la disponibilidad y calidad de las aguas, en

muchos de los casos, se les ha asociado a las alteraciones provocadas por el fenómeno llamado cambio climático y al manejo inadecuado de las cuencas hídricas. En Nicaragua, las actividades antropogénicas y el uso de biomasa, han contribuido a la disminución de la cobertura vegetal y contaminación de los recursos hídricos.

La extracción de agua que se realiza de los pozos localizados en el área de estudio es baja, ya que en su mayoría son pozos excavados que explotan acuíferos someros y/o colgados, los cuales están expuestos a altos riesgos de contaminación, reflejada en la mala calidad microbiológica y química encontrada en los análisis realizados, tomando como parámetros de calidad las normas técnicas nacionales e internacionales para consumo humano (CAPRE, 1994) (CNNTMED, 2008).

El aprovechamiento de las aguas subterráneas está limitado por: 1) la disminución del volumen que infiltra influenciado por el régimen de las precipitaciones y el poco tiempo de residencia de la escorrentía, ya que las aguas son evacuadas rápidamente al no haber una eficiente infiltración y/o retención porque los suelos han sido degradados y las áreas boscosas han disminuido; y 2) la contaminación del agua, ya sea por sedimentos, desechos líquidos y sólidos, y productos varios de las actividades realizadas en la unidad hidrográfica, que son dispuestos sin ningún control, causando que sean transportados por las escorrentías a las quebradas, arroyos, cauces y ríos que contribuyen a la contaminación del agua superficial y subterránea. Sin embargo, estos recursos están sometidos a explotación intensiva para riego de cultivos provocando que se acentúe la problemática de la disponibilidad de agua.

La dinámica hidrológica presente en la zona de estudio produce una reducción de la disponibilidad del agua en los períodos secos, condicionando el desarrollo de estas comunidades, que en muchos de los casos se ven en la necesidad de acarrear agua de lugares alejados. Al no tener estudios de la disponibilidad hídrica superficial y subterránea de esta área se plantea en este trabajo cuantificar el potencial hídrico y evaluar la interrelación entre el agua superficial y subterránea; tomando en cuenta la calidad de este recurso y de cómo

estos se asocian con las condiciones socioambientales presentes en la unidad de cuenca.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Caracterizar el potencial hídrico, y la calidad de las aguas de la unidad de cuenca del Río Papaturro asociados a las condiciones socioambientales.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar el potencial hídrico de la unidad de cuenca del Río Papaturro.
2. Definir la calidad físico-química y microbiológica del agua superficial y subterránea en la unidad de cuenca del Río Papaturro.
3. Describir las condiciones socioambientales de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

## **1.5 Justificación**

Debido a que en los últimos años el fenómeno del cambio climático está afectando el área de estudio, variando los regímenes de precipitación y subsecuentemente la recarga potencial efectiva al acuífero; todo esto aunado a las actividades que los pobladores realizan para subsistir ha acelerado el deterioro

ambiental, la producción hídrica ha disminuido y también la producción de bienes y servicios.

Algunos organismos, que tienen influencia en estas comunidades han intervenido, realizando estudios que se enfocan en la resolución de problemas locales y particulares, no orientándose en aspectos del agua y su disponibilidad en cantidad y calidad, Surge entonces la necesidad realizar la Evaluación del Potencial Hídrico y la Calidad del agua de la unidad de cuenca del Rio Papaturre.

Para ello es preciso hacer un levantamiento de datos sobre las condiciones socioambientales, hidrológicas e hidrogeológicas de la unidad de cuenca, los cuales permitan realizar estimaciones confiables de la disponibilidad hídrica, así como también de la calidad del agua a través de la evaluación de las condiciones físico-químicas y bacteriológicas; con el objetivo de proporcionar la línea base para la formulación de planes de acción y mitigación en pro del recurso hídrico y la recuperación de la unidad de cuenca. A la vez que esta experiencia es reproducible a otras unidades de cuenca con problemas similares.

El agua es inherente al desarrollo de la humanidad, biológica y económicamente hablando. Con el incremento en el crecimiento demográfico, también aumenta la demanda del recurso hídrico y de los otros recursos presentes en la unidad hidrográfica; lo que altera el equilibrio natural y genera contaminación de los recursos, lo cual conlleva a problemas de salud en las poblaciones y al deterioro del nivel de vida.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Características físicas de la unidad de cuenca del Río Papaturre**

### **2.1.1 Clima**

El clima de la zona de Rivas de acuerdo a la clasificación climática de Köppen es de tipo tropical de sabana (AW<sub>1</sub> y AW<sub>2</sub>) (INETER, 2005). Sus características principales son altas temperaturas, abundante insolación y vientos predominantes en dirección este-oeste (Fenzl, 1989).

La temperatura media anual es de 25 a 27 °C, teniendo un promedio histórico de 24.1 °C, desde 1968 hasta el 2013 (Estación meteorológica Rivas 69070, INETER), se registran temperaturas de 34°C en los meses de abril a marzo.

El área de estudio está caracterizada por dos periodos estacionales muy marcados: una estación lluviosa que se inicia en mayo y finaliza en noviembre; la mayor cantidad de precipitación se concentra en los meses de septiembre y octubre en donde se presenta un 97% de la precipitación media en el año. Y una estación seca que inicia en diciembre y finaliza en abril. Durante la estación lluviosa se presenta un período de escasa o nula precipitación conocida como canícula, que generalmente afecta del 15 de julio al 15 de agosto. La precipitación anual promedio en los períodos de lluvia va de 1200 y 1600 mm (Estación Rivas 69070, INETER). En la región del Pacífico, donde se ubica el área de estudio, la precipitación anual promedio histórica es de 1450.3 mm (INETER Rivas, 1971-2000).

La dirección de los vientos en Rivas, es con rumbo E y un poco NE; con velocidades que varían entre los 2 y 5 m/s, Los menos frecuentes tienen dirección SW y la velocidad media general es de 3.1 m/s (Estación INETER, Rivas, 2013).

### **2.1.2 Geomorfología**

La región del Pacífico de Nicaragua está dividida de Oeste a Este, en tres provincias fisiográficas principales que son: Costanera del Pacífico, Volcánica del Pacífico y Depresión Nicaragüense (Marín Castillo, 2017). La Unidad de cuenca del Río Papaturro se encuentra en la Provincia Costanera del Pacífico.

En base de sus rasgos geomorfológicos esta provincia esta subdividida en las siguientes subprovincias: Planicies Nagrandanas, Mesas del Tamarindo,

Cordillera del Pacífico, Cordillera de Brito y Planicies de Rivas (Marín Castillo, 2017). Las características más sobresalientes de las subprovincias de la Cordillera del Pacífico, la Cordillera de Brito y de las Planicies de Rivas se enumeran a continuación.

a) Cordillera del Pacífico

Esta cordillera se encuentra paralela al océano, y se caracteriza por presentar lomas redondeadas y colinas homoclinales de sedimentos marinos del Terciario Inferior y Medio, alcanzando una elevación máxima de 350 metros sobre el nivel del mar. La superficie de esta Cordillera se encuentra cubierta discordantemente por piroclastos del Cuaternario, cuyo grosor aumenta al alejarse de la costa hacia el Este y Noreste. El patrón de drenaje es enrejado. La cordillera del Pacífico se pierde bajo el océano en una línea costera de emersión (Marín Castillo, 2017).

b) Cordillera de Brito

Esta subprovincia no es más que la continuación de la Cordillera del Pacífico, solo que esta tiene por lo general un buzamiento más inclinado alcanzando la misma altura o superiores a los 350 m.s.n.m. Las lomas redondeadas y colinas homoclinales con sedimentos cretácicos y del Terciario Inferior. El patrón de drenaje es enrejado con pequeñas variaciones angulares causadas por fallas o fracturas. La línea costera es de emersión (Marín Castillo, 2017).

c) Planicies de Rivas

Se caracterizan por constituir una planicie costanera emergente de relieve bajo, formada en su mayor parte por deposición de materiales lacustres y aluviales y cuya superficie se encuentra contaminada por piroclastos del Cuaternario. En el sector sur, ésta se encuentra sobre la formación del Cretáceo Rivas ligeramente inclinada. El límite con la Cordillera de Brito, es una divisoria de drenaje marcada por una prominente falla y escarpa. Los ríos corren hacia el este con patrón

dendrítico de textura media y desembocan al Atlántico vía Lago de Nicaragua (Marín Castillo, 2017).

### 2.1.3 Geología

La región Pacífica de Nicaragua data su origen del Cretácico Superior, dando inicio a formaciones sedimentarias sobre una gran cuenca de subsidencia. A finales del Oligoceno o a principios del Mioceno se inició la actividad volcánica que dio origen a las formaciones volcánicas continentales. El orden cronológico en el pasaje de estas formaciones es el siguiente: en el Cretácico Superior se originó la Formación Rivas y en el Eoceno se originó la Formación Brito (Marín Castillo, 2017).

La Geología de la unidad de cuenca del Río Papaturro está conformada por la Formación Brito (Teb), que es el basamento de la unidad hidrográfica, al cual sobreyace la Formación Rivas (Kr), el Sistema Paleogeno y el Cuaternario Aluvial (o sedimentos recientes, Q<sub>iv</sub>) (Figura 2). Las unidades geológicas presentes en la unidad de cuenca se describen a continuación.

– **La Formación Rivas (Kr)**, que se originó en el Cretáceo Superior, es sedimentaria; compuesta de areniscas compacta, intercalada con sedimentos tobáceos, limonita, lutita, margas, ocasionalmente areniscas calcáreas, conglomerados, capas de aglomerados y flujos de rocas volcánicas básicas y material andesíticos. Presenta una profundidad media de 3400 m de material sedimentario intercalado. El sistema de fallas discurre predominantemente de NE a SW (Kuang, 1971). Este tipo de material al meteorizarse origina generalmente suelos de texturas finas, como limos y arcillas, limitando la infiltración y la capacidad de almacenar agua en sus estructuras, y favoreciendo el escurrimiento de las precipitaciones.



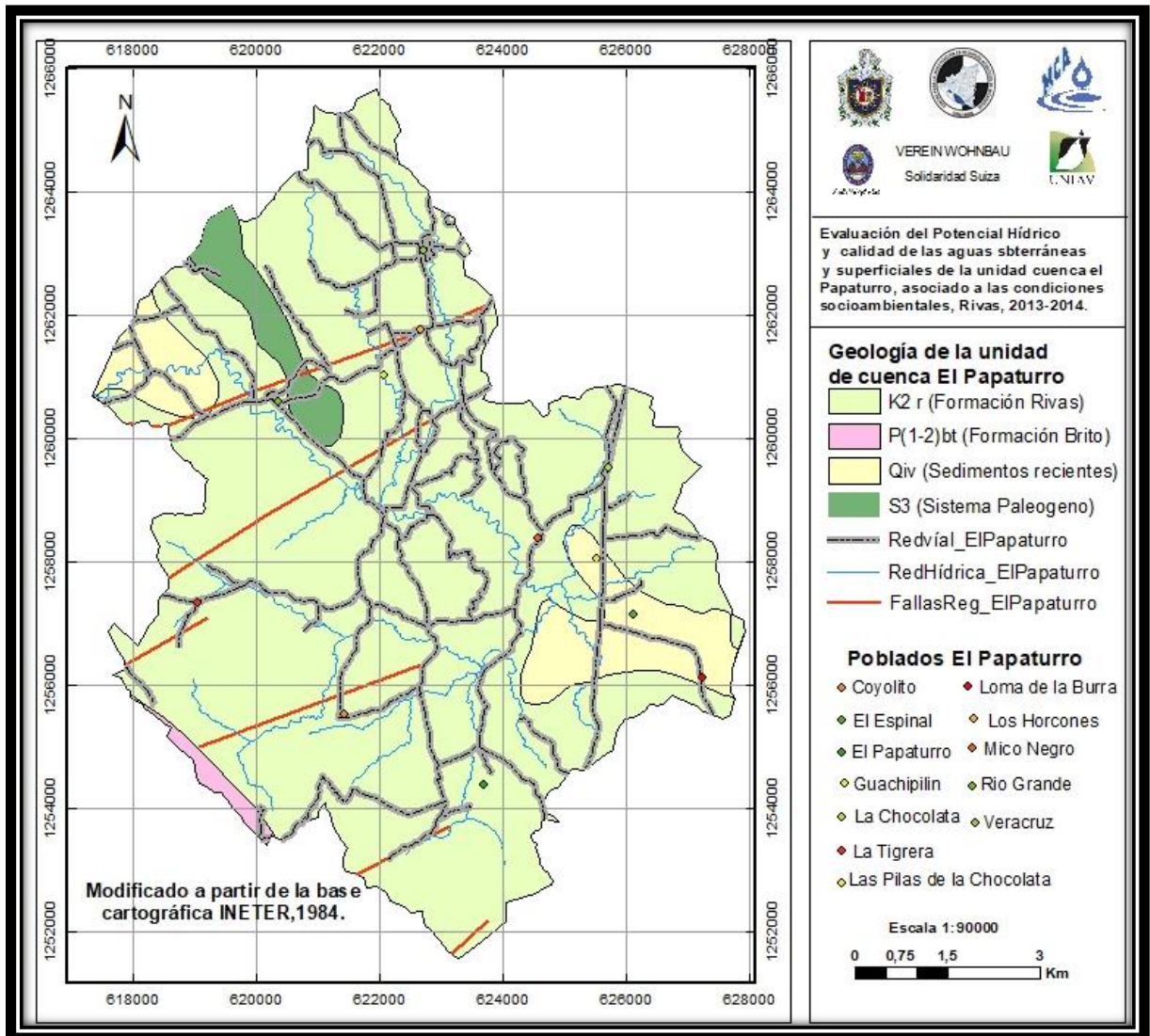


Figura 2. Geología de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

– **La Formación Brito (Teb)**, originada en el Eoceno, se encuentra concordante con la Formación Rivas por una capa de conglomerados que puede ser interpretado como interrupción del ciclo de sedimentación; presenta un espesor de 3000 m aproximadamente, los lechos inferiores compuestos de conglomerados gruesos y sobre esta; arenisca calcárea, caliza organogénica lenticular, arenisca y lutita. Las características de esta unidad esencialmente sedimentarias han sido modificadas y controladas en gran parte por fenómenos estructurales (fracturas e intrusiones) que tienen una orientación general SW-NE, coincidente con los ejes de estas serranías. Separadas por los ríos que corren en la misma dirección, el patrón de drenaje es enrejado con pequeñas

variaciones angulares causadas por fallas o fracturas (Kuang, 1971). Esta ofrece poca permeabilidad y se orienta a una mayor tendencia al escurrimiento superficial.

#### 2.1.4 Suelo

En el área de estudio se han identificado cuatro órdenes de suelo: alfisoles, vertisoles, inceptisoles y molisoles; distribuidos en la serie de: Rivas, San Rafael, suelos Vérticos, Vertisoles y Coluviales. Los suelos alfisoles se destacan en toda la unidad hidrográfica abarcando un 66.33% de esta; mientras que los vertisoles (26.77%) se localizan en la parte sureste y suroeste del área de estudio. Los inceptisoles y molisoles se encuentran en menor proporción (8.23% y 2.67% respectivamente), y ambos se localizan en el sector noroeste de la unidad de cuenca del Río Papaturro (Figura 3).

Los **Alfisoles** son suelos forestales con alto contenido de bases. Muchos suelos tienen cantidades significativamente mayores de arcilla en el horizonte B que en el horizonte A; estos suelos tienen un horizonte argílico, pero con más del 35% de saturación de bases y una fertilidad considerablemente más alta que los *ultisoles*.

Los **Vertisoles** tienen permeabilidad muy lenta, capacidad de humedad disponible de moderada a moderadamente alta, se agrietan en seco y se expanden cuando están mojados. Cuando los suelos están secos, las grietas varían de 3 a 10 cm de espesor, y de 50 a más de 100 cm de profundidad (CATASTRO, 1971).

Los **Inceptisoles** son suelos que presentan evidencias de evolución incipiente que los ha llevado a desarrollar varios horizontes con estructura de suelo, en los cuales se destaca la presencia de un horizonte cámbico (B) de matices rojizos a pardo amarillento rojizo, excepcionalmente pardo amarillentos, y con evidencias claras de alteración y no de acumulación de material iluviado.

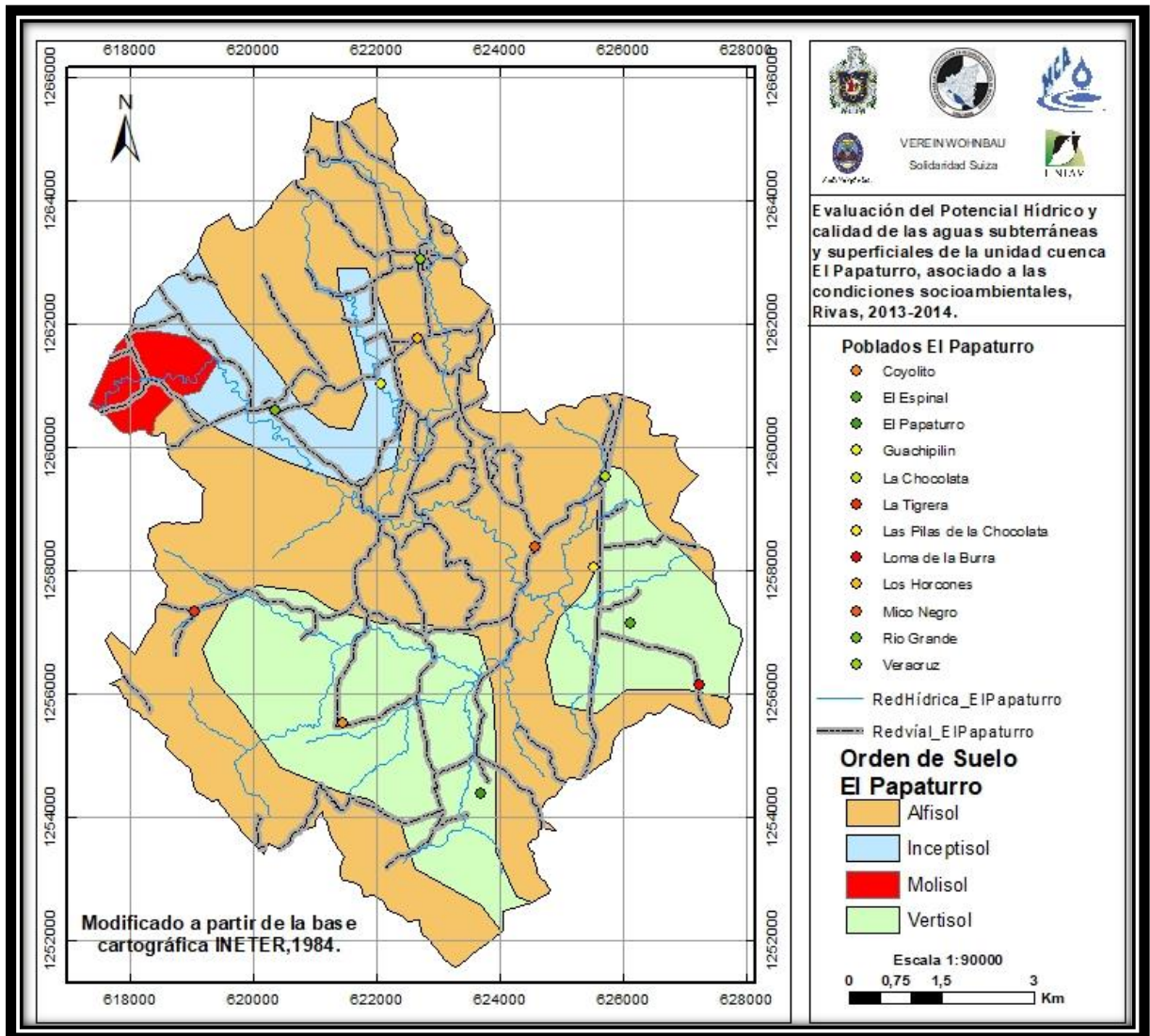


Figura 3. Orden de suelo (INETER, 1984).

Los **Molisoles** son suelos que presentan adecuadas propiedades físico-químicas en la zona de raíces. Son suelos superficiales a moderadamente profundos, con epipedón mólico, desarrollados de materiales volcánicos y sedimentarios; tienen horizontes superficiales oscurecidos, estructurados en gránulos bien desarrollados de consistencia friable, y dotados suficientemente de bases, principalmente de calcio y magnesio. Presentan topografía que varía entre ligeramente inclinada a extremadamente empinada.

La serie **San Rafael** consiste principalmente de suelos moderadamente profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, arcillosos rojizos que se

derivan de estratos de poco espesor de lutita tobácea. Se encuentran en lomas que forman una serie de cordilleras bajas paralelas a la costa. Están asociados con suelos vérticos y vertisoles que se encuentran en las depresiones y bajuras (CATASTRO, 1971), (Tabla 1).

Tabla 1. Perfil representativo de la Serie San Rafael.

Profundidad (cm)	Características de cada horizonte
0 a 10	Pardo grisáceo oscuro, arcilloso firme; estructura granular fina y media, débil; abundantes raíces muy finas,, ligeramente ácido.
10 a 38	Rojo amarillento, arcilloso firme; estructura prismática a subangulares fina y media, moderada; frecuentes raíces en la parte superior de este horizonte, pocas en la parte inferior; medianamente ácido.
38 a 60	Rojo amarillento y amarillento pardusco, arcilloso firme, contenido numeroso fragmentos de lutitas parcialmente meteorizada; pocas raíces; ligeramente ácido; límite abrupto y ondulado.
60 a 75	Amarillo, arcilla con lutitas parcialmente meteorizada. El suelo superficial en algunos lugares es franco arcilloso con colores que varían de pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento oscuro. El subsuelo varía en color de rojo amarillento a pardo rojizo oscuro. En los lugares donde descansa sobre lutita de color claro, el subsuelo es comúnmente de color pardo amarillento oscuro. La mayoría de los suelos tienen profundidades de 60 a 70 cm, pero algunas áreas tienen profundidad de 20 a 30 centímetros. Casi todos los suelos que han sido usados para cultivos han perdido mucho del suelo superficial por erosión.

Fuente: (CATASTRO, 1971)

**Vertisoles (V).** Los vertisoles tienen permeabilidad muy lenta al estar constituidos de arcillas negras y pesadas (Tabla 2); capacidad de humedad disponible de moderada a moderadamente alta, se agrietan en seco (de 3 a 10 cm de espesor y de 50 a más de 100 cm de profundidad) y se expanden cuando están mojados (CATASTRO, 1971). Estas series de suelo se ubican en la parte sureste y noroeste de la unidad hidrográfica; se encuentran en pendientes hasta del 15 por ciento. Las áreas ocupadas por estos suelos son grandes y variadas.

Tabla 2. Perfil representativo de un Vertisol.

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Características del perfil</b>
0 a 55	Arcilla negra; extremadamente firme; estructura prismática gruesa, fuerte; los prismas se quiebran en agregados de bloques angulares gruesos; superficies de deslizamiento comunes; frecuentes raíces finas y muy finas; neutro; límite abrupto y uniforme.
55 a 87	Similar en color, textura y consistencia al horizonte anterior, pero contiene pocas raíces finas y muy finas; neutro; límite abrupto y uniforme.
87 a 102	Gris oscuro, arcilla muy firme; estructura de bloques angulares medios, moderado; sin raíces; fuertemente calcáreo; límite abrupto y uniforme.
102 a 110	Gris pardusco claro,, arcilloso; masivo; fuertemente calcáreo.
110+	Gris pardusco claro, toba extremadamente dura.

Fuente: (CATASTRO, 1971)

### **2.1.5 Uso potencial del suelo**

El uso potencial del suelo en el área de estudio es predominantemente forestal (68.06%). seguido de los usos agrícolas (17.09%) y pecuarios (14.85%) (Figura 4).

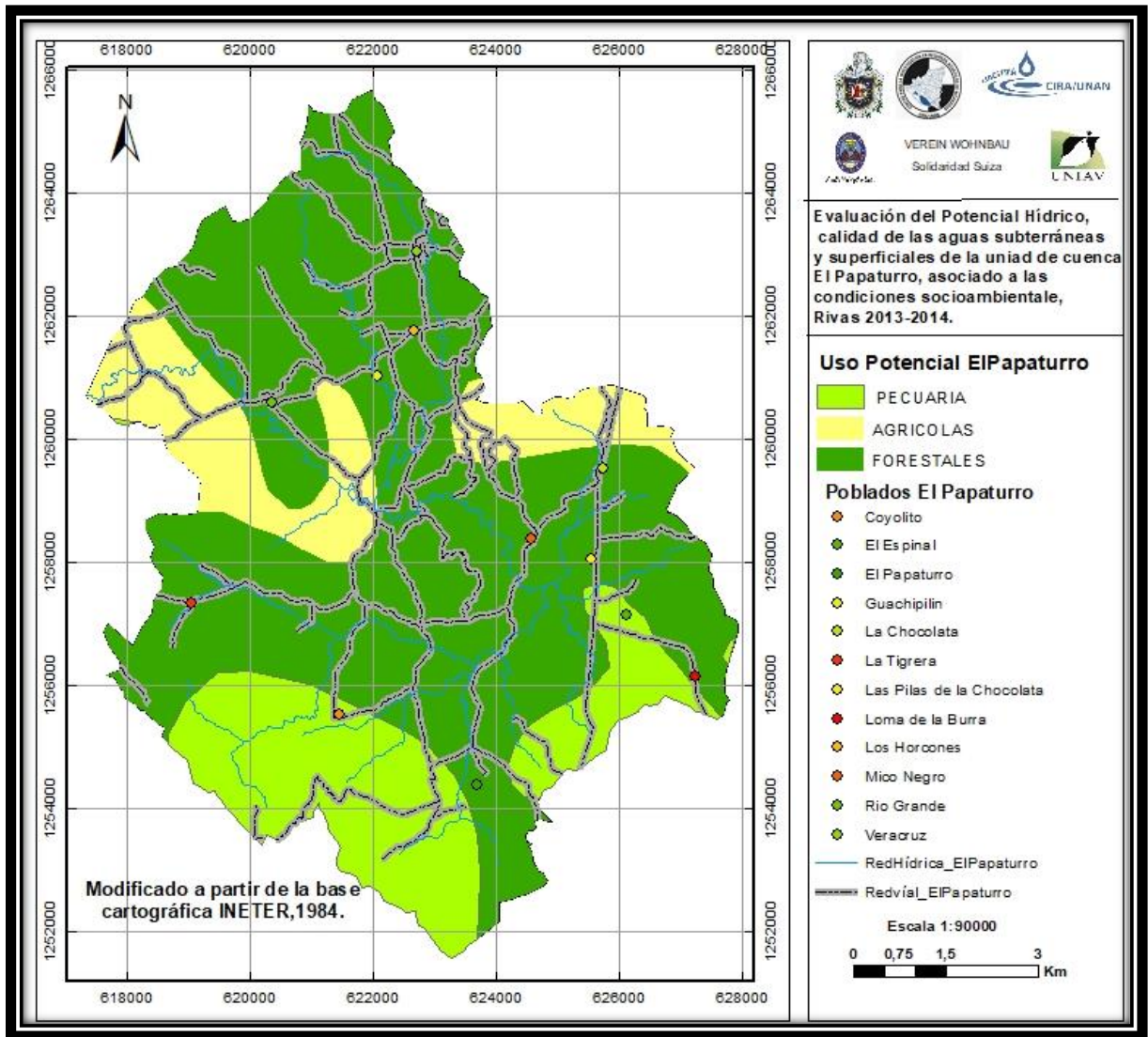


Figura 4. Uso Potencial de suelo (INIDE-MAGFOR, 2013).

### 2.1.6 Uso actual del suelo

El uso actual del suelo en la unidad hidrográfica del Río Papaturro es un reflejo de las principales actividades socioeconómicas realizadas en ésta; así, la mayoría del área está dominada por sitios de pastura (pasto manejado, pasto con maleza, tacotal), lo cual ha repercutido en el detrimento del bosque latifoliado; y en menor porcentaje las áreas de cultivo, musáceas y el área poblada (Figura 5).

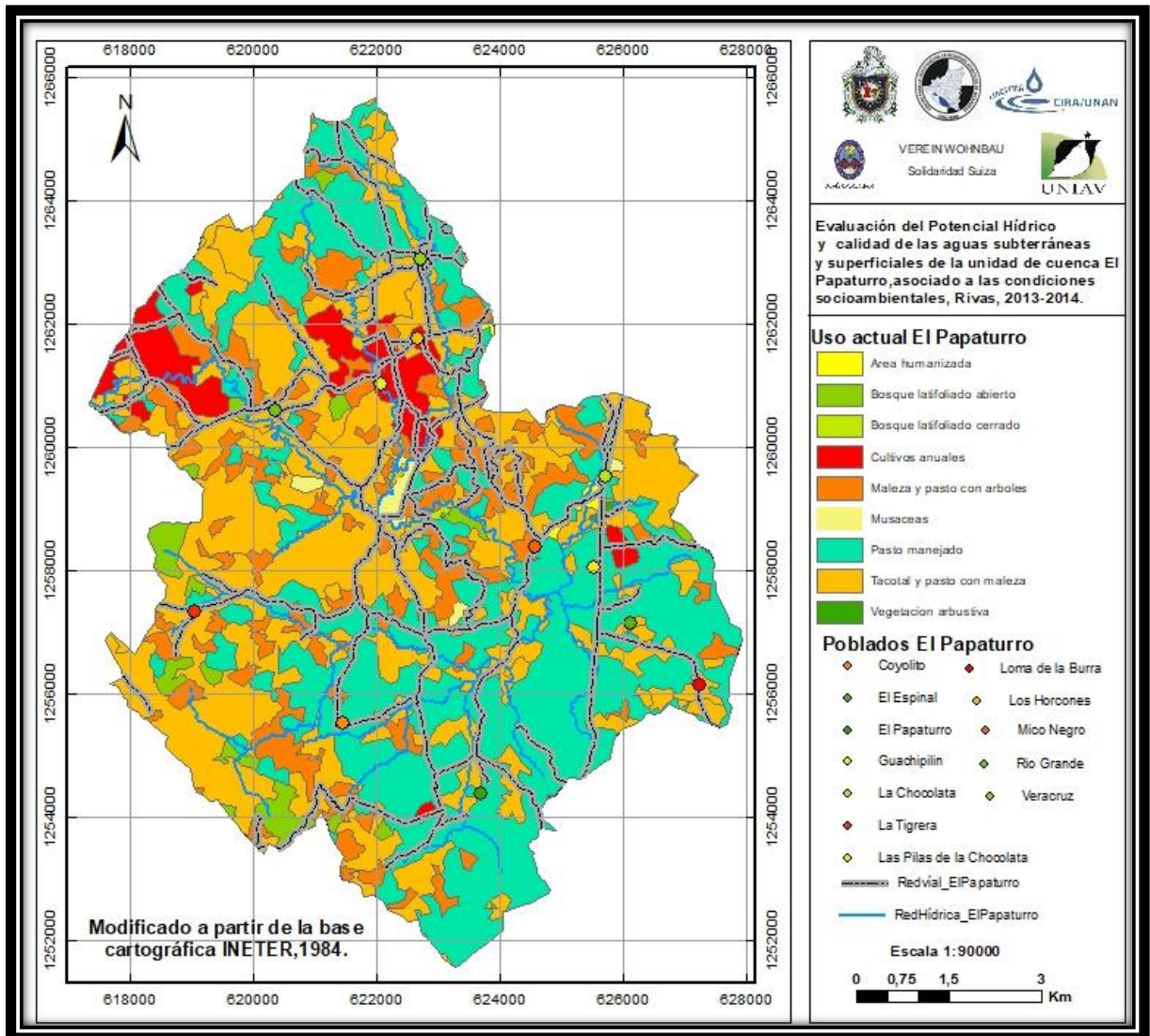


Figura 5. Uso Actual de suelo (INIDE-MAGFOR, 2013).

### 2.1.7 Relieve

El relieve que presenta la unidad de cuenca es de poca elevación cerca de la mitad del área tiene pendientes entre 0-15%, esto aporta elementos favorables para la recarga hídrica, y la otra mitad formados por lomeríos dispersos, alcanza pendientes hasta del 75%, con elevaciones que van de 20 a 320 msnm (Figura 6) (CATASTRO, 1971); (Acuña, 2008).

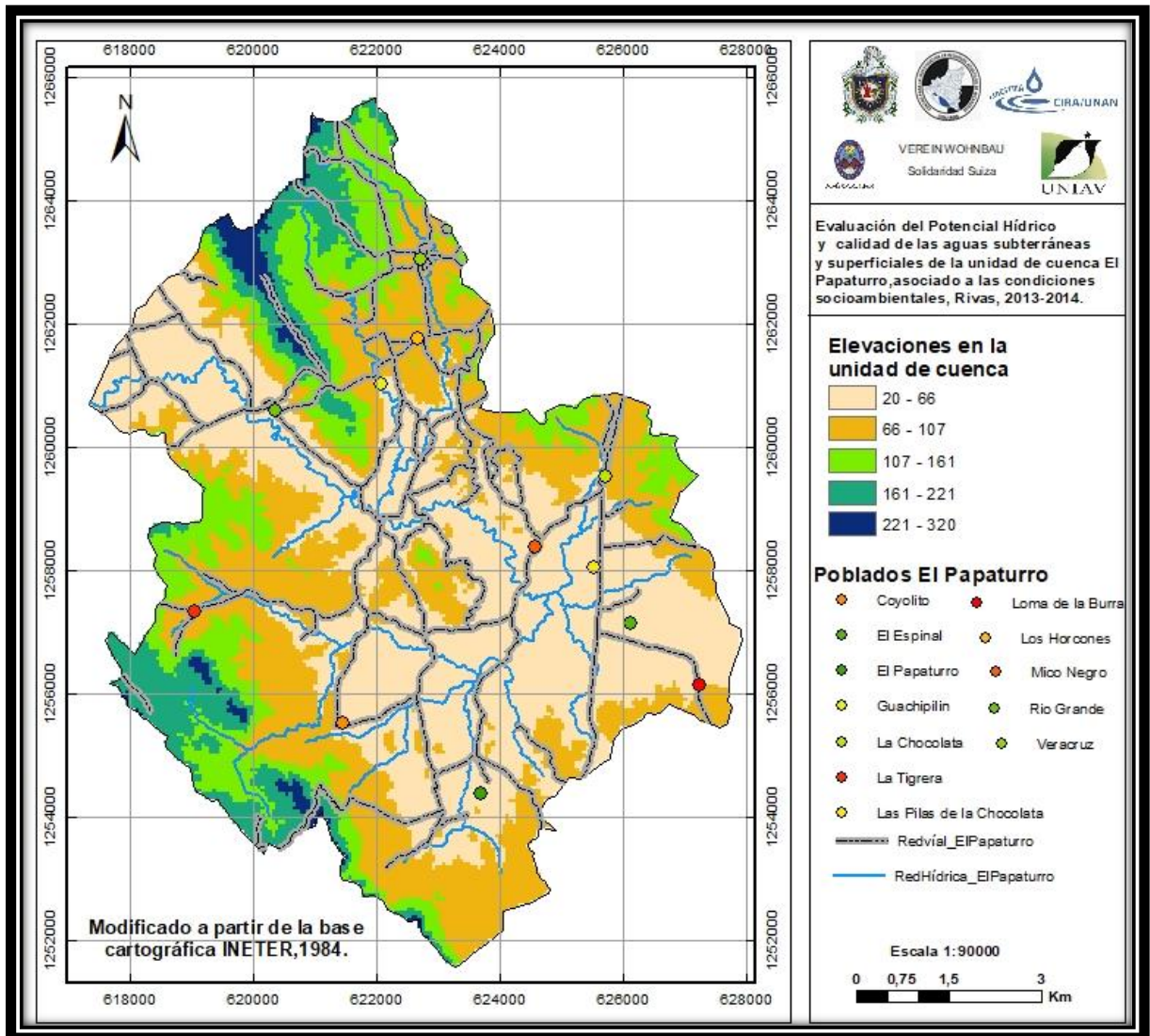


Figura 6. Relieve en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

### 2.1.8 Cobertura vegetal

Actualmente el área de la unidad hidrográfica del Río Papaturro está cubierta con bosque latifoliado, abierto en las partes más elevadas; las partes medias con árboles aislados y pastos y las partes con poca pendiente con cultivos anuales y pasto; la cobertura vegetal se ha deteriorado en los últimos tiempos, producto de los sistemas de explotación agropecuaria y la falta de un manejo adecuado de los recursos por los pobladores (Figura 7). En la unidad hidrográfica del Río Papaturro,



antes de 1970, la cobertura vegetal alcanzaba el 40% del área de ésta y actualmente se ha disminuido drásticamente (INIDE-MAGFOR, 2013).

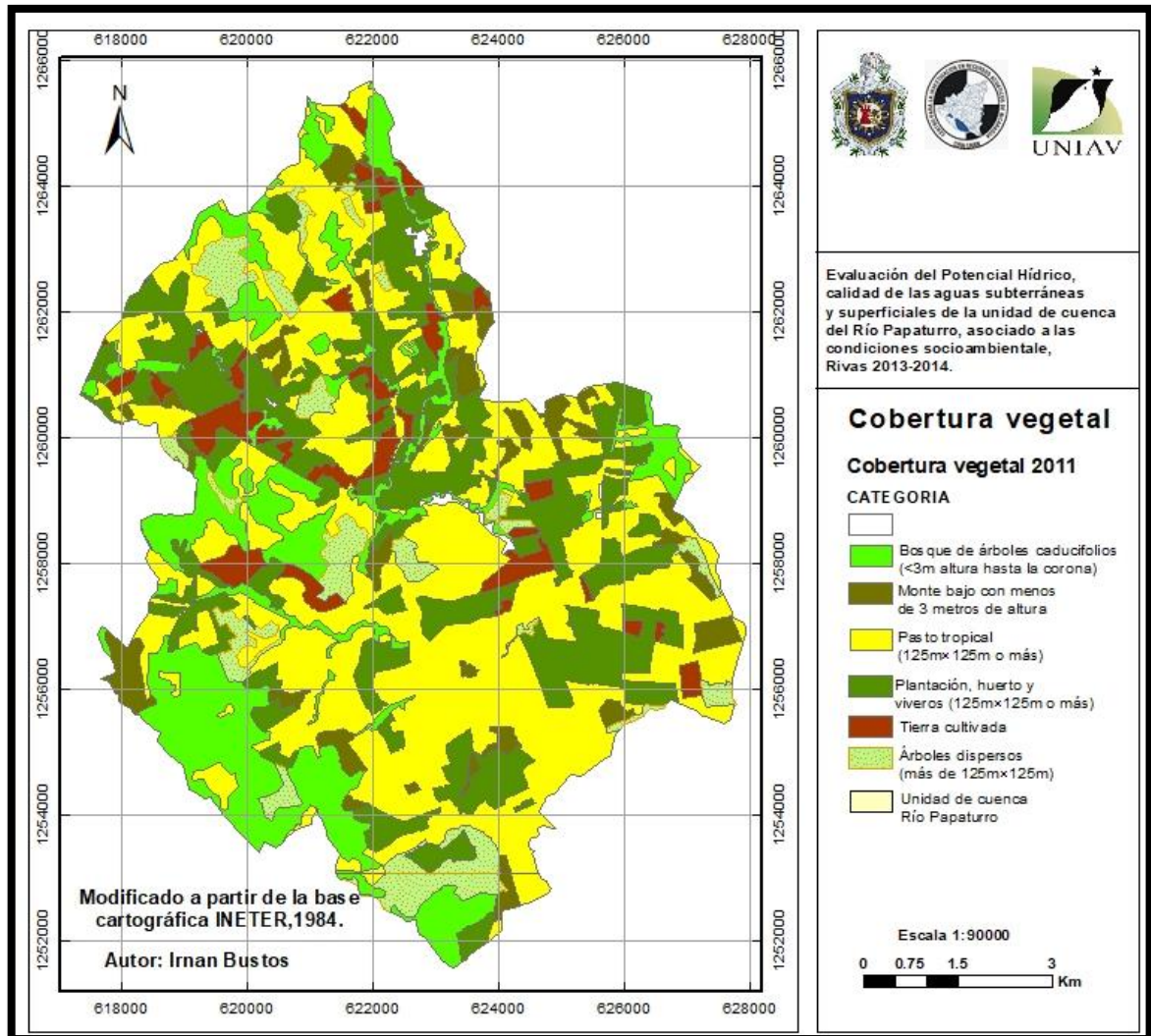


Figura 7. Cobertura Vegetal en la unidad de cuenca del Río Papaturro (INIDE-MAGFOR, 2013)

### 2.1.9 Morfometría de la unidad de cuenca del Río Papaturro

La información morfométrica de una unidad hidrográfica es necesaria para estimar el potencial erosivo e hidrológico por causas naturales y antropogénicas (Salas-Aguilar, Pinedo-Álvarez, Viramontes-Olivas, Báez-González, & Quintana-Martínez, 2011). El estudio morfométrico tiene relevancia porque permite considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las unidades de cuenca para prevenir percances en

casos de exceso de infiltración y ayudar a la planeación del uso sustentable de la misma (Domínguez, Gómez, & Gómez, 2003).

El conocimiento de los parámetros morfométricos en las unidades hidrográficas (perímetro, área, longitud, ancho, índice de Gravelius, factor de forma, pendiente media, curva hipsométrica, densidad de drenaje y relación de bifurcación) es de mucha importancia para la planificación integral del área. En esta unidad de cuenca no se ha realizado estudio que contemple la caracterización morfométrica, por lo que ha sido necesario generar dicha información.

### **2.1.10 Hidrología**

La unidad de cuenca del Río Papaturro cuya clasificación y codificación con el método Pfafstetter corresponde a la unidad hidrológica 70-953375542 (INETER, ANA, UNI, GIZ-PROATAS, 2014). El río se origina en la parte alta de las comunidades San Antonio,, Papaturro y Bernardino Díaz, recibiendo a su paso los afluentes de los ríos El Pedernal, El Madroñal, La Tigra, El Coyolito y Veracruz; hasta formar el Río Grande, el cual descarga finalmente al Río Brito, y este desemboca en el Océano Pacífico (MAGFOR, 2003). (Figura 8).

En la Tabla 3 se reportan los órdenes del río y el tipo de corriente (intermitente y perenne) presentes en la unidad de cuenca del Río Papaturro. Los caudales en el período de lluvia aumentan por la escorrentía y el flujo subsuperficial, pero en el período seco descienden mucho y en algunos afluentes desaparece el caudal base, dejando en el lecho una acumulación de arena debido a la baja permeabilidad de las rocas; ya que gran parte del agua se pierde por escorrentía superficial.

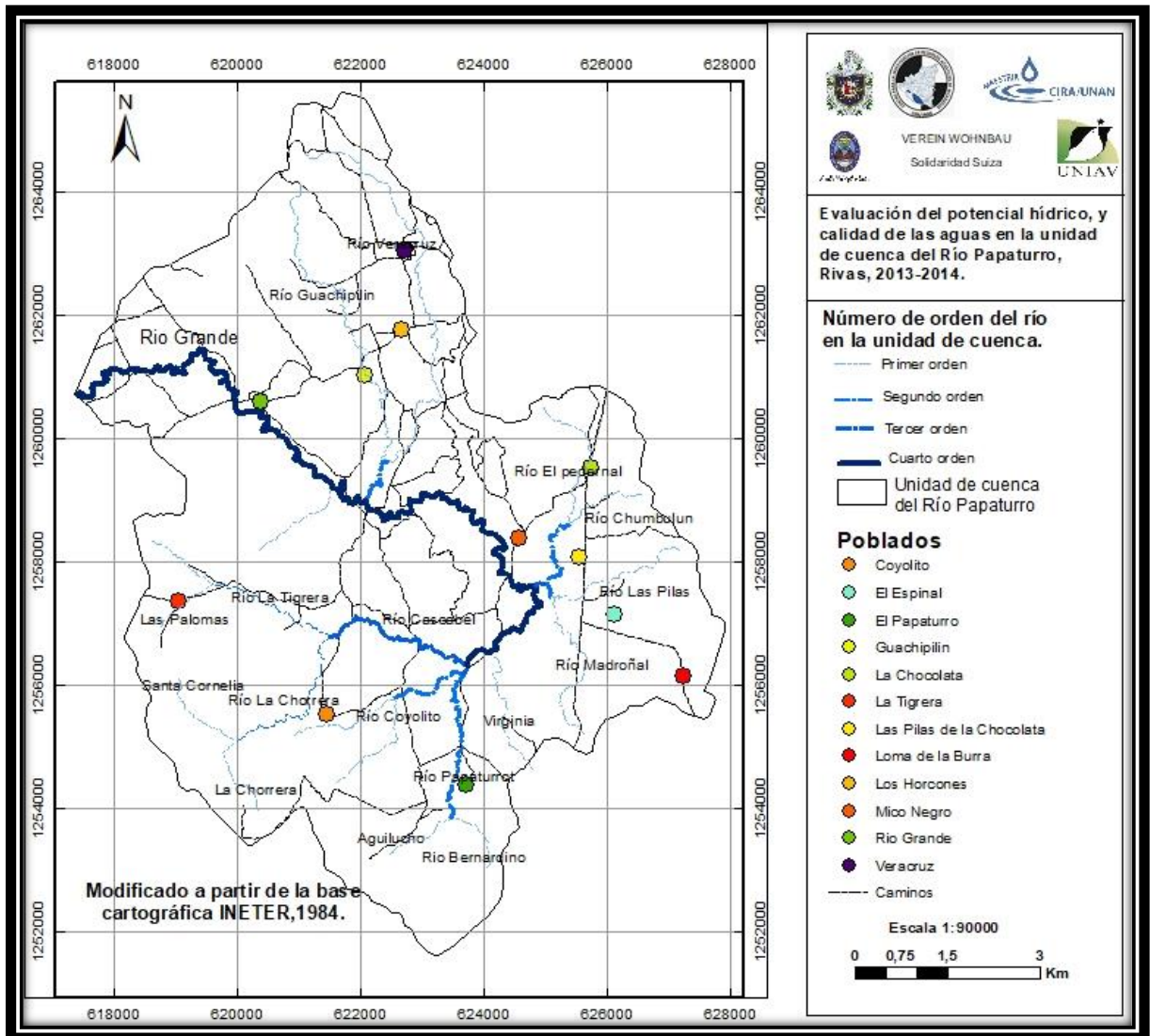


Figura 8. Red Hídrica de la unidad de cuenca Río Papaturro.

Debido a la falta de agua superficial en la mayor parte del río, algunas familias han perforado norias a las orillas de este.

El seis por ciento de las explotaciones agropecuarias en la unidad de cuenca están utilizando sistemas de riego de aguas superficiales, siendo el plátano el principal cultivo; y un 72 % de estas tienen una o más fuentes de agua (noria y río) (IV CENAGRO, 2011).

Existe un consumo diario de 320 m<sup>3</sup> de agua subterránea, para ganado (2806 bovinos y 396 equinos) (CENAGRO, 2005).

Tabla 3. Características de los principales ríos en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Nombre del río	Número de orden	Tipo de corriente		Longitud del río (Km)
		Intermitente	Permanente	
Río Grande (sólo los últimos tres km son permanentes)	4	X		16.7
Guachipilín	1	X		6.5
Veracruz	1	X		8.8
Pedernal	2		X	4.2
Chumbulun	1	X		3.0
Madroñal	1	X		3.1
Papaturro	1	X		2.4
Bernardino	2	X		4.3
Coyolito	2		X	3.6
Chorrera	2		X	4.5
Tigrera	3	X		6.3

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de INETER 1984.

### 2.1.11 Hidrogeología

El estudio de la Mapificación hidrogeológica de la Región del Pacífico de Nicaragua (Krásný J. , 1998), menciona que para el área de estudio se tiene un acuífero discontinuo poco profundo, producto de la meteorización y fisuración o fracturación de la zona subsuperficial de las formaciones volcánicas-sedimentarias (Formación Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile y Grupo Tamarindo); y en menor proporción un acuífero intramontano en el noroeste de la unidad de cuenca (Figura 9).

En cuanto a las propiedades hidráulicas de la zona de estudio, la Formación Rivas se caracteriza por tener una transmisividad variable desde 35 hasta 230 m<sup>2</sup>/d, y la Formación Brito de 6.3 a 240 m<sup>2</sup>/d (Fenzl, 1989) (Figura 9). La clasificación de la transmisividad se reporta en la Tabla 4.

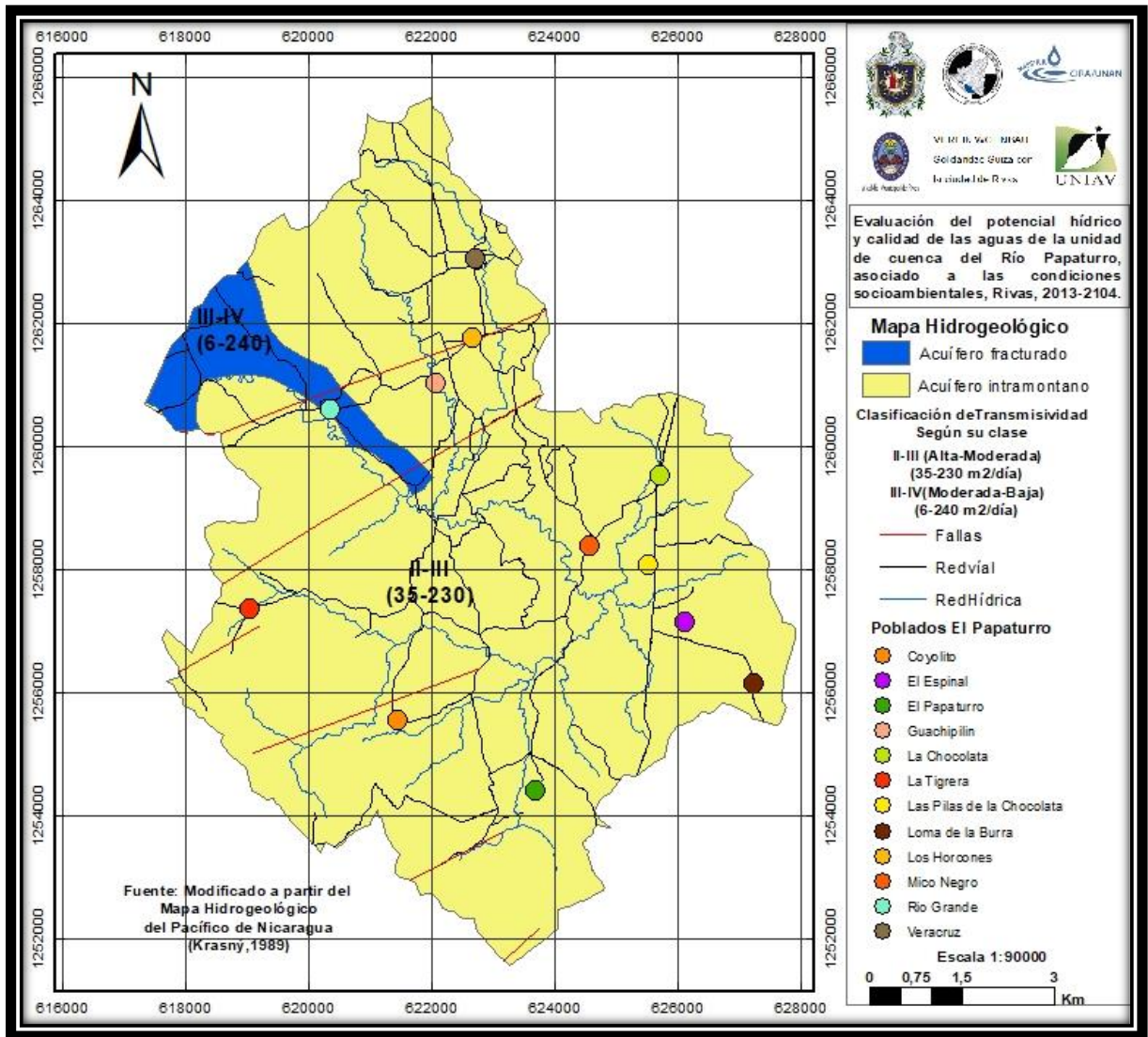


Figura 9. Mapa Hidrogeológico de la unidad de cuenca del Río Papaturro (Krásný, 1998).

Los pozos de la zona son productivos cuando se trata de abastecer a pequeñas poblaciones o familias en particular. Las reservas de agua subterránea son suficientes para el abastecimiento de agua de consumo humano; sin embargo, las limitantes son la localización de los pozos, la profundidad de estos y el uso del suelo en la región (CIRA, 2007).

Tabla 4. Características Hidrogeológicas en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Formación/Grupo	Medio físico (Fenzel. 1989)	Valores de Transmisividad en m <sup>2</sup> -d <sup>-1</sup>	Clasificación Transmisividad (Krásný. 1998)	Clase	Descripción (Krásný. 1998)
Sedimentaria/Aluvial	Fracturado /Poroso	35-230	Alta-moderada	II-III	Acuífero Productivo
Aluviales y coluviales	Poroso	6-240	Moderada-baja	III-IV	Acuífero poco productivo a productivo

En la comunidad Los Horconcitos, a través del proyecto PRASNICA se perforó un pozo (PP5) que se ubica en las coordenadas 622810.9 E y 1261775.4 N. Se llevó a cabo una prueba de bombeo el 12 de abril del 2010, por el grupo de Wisconsin y la empresa perforadora Ingeniería para el Desarrollo S.A. El pozo tiene una profundidad de 28.75 m, con un NEA de 17.42 m y un caudal de 15.5 gpm; se determinó a través de la capacidad específica del pozo, una transmisividad de 72.38 m<sup>2</sup>/d, y una profundidad del acuífero de 20 a 25 m (Wisconsin, 2010).

## 2.2 Calidad del Agua

De acuerdo con el mapa hidrogeoquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua (Krásný J. , 1998), el tipo hidroquímico predominante en la unidad hidrográfica del Río Papaturro es predominantemente del tipo bicarbonatada-cálcica, con variaciones de magnesio y sodio (Figura 10). El predominio del ión bicarbonato en las aguas subterráneas se debe a: 1) el tipo de roca (sedimentaria) predominante en la zona Pacífica; en donde las calizas, areniscas calcáreas, tobas y dacitas riolíticas, cuarzo, y anfibolitas están presentes; 2) el rango de valores de pH del agua subterránea, en equilibrio con el sistema de carbonatos; 3) el relativo poco tiempo de tránsito, de ahí que se les considere aguas de recarga (CIRA, 2007). De acuerdo con Custodio (2001), las aguas del tipo bicarbonatado-cálcico son aguas jóvenes.

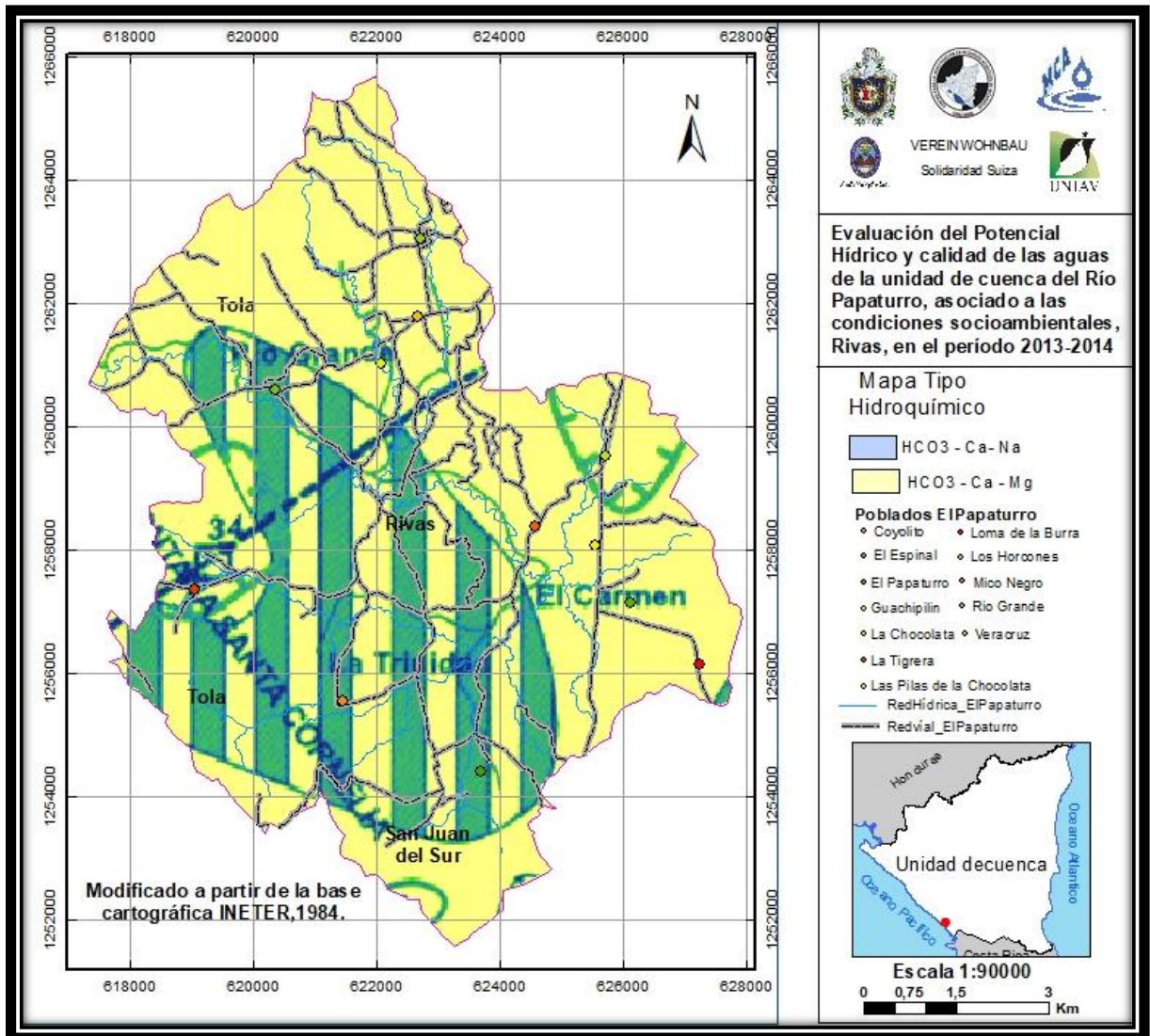


Figura 10. Mapa Hidroquímico de la unidad de cuenca del Río Papaturro (Krásný, 1998).

En el municipio de Tola, la calidad del agua subterránea se ve mermada por la presencia de nitratos y amonio, debido a las actividades realizadas en algunos sectores del municipio (aplicación de fertilizantes nitrogenados, estiércol de corrales, vertidos de aguas residuales domésticas e industriales, lixiviados de basureros clandestinos). Las salineras presentes en Salinas de Nagualapa incrementa el contenido de cloruros y sulfatos en el agua subterránea en esa zona. La presencia de bacterias coliformes termotolerantes. *Escherichia Coli* y estreptococos fecales en las aguas subterráneas, evidencia una situación sanitaria, en las que existen condiciones precarias para la salud de la población (CIRA, 2007).

### 2.3 Caracterización socio económica del área de estudio.

Con una población de 3783 habitantes y una densidad de 48 habitantes/km<sup>2</sup> en la unidad de cuenca, proyectada a partir de los datos del censo nacional (INEC, 2005). El nivel de desarrollo económico es medio, siendo el municipio de San Juan del Sur el que presenta un mejor progreso. En cuanto a infraestructura productiva los municipios de Rivas y Tola se ubican de menor a baja (IV CENAGRO, 2011).

Los rubros que se explotan cubren un área de 57% para agricultura y 41% en ganadería. Los cultivos que predominan son granos básicos y musáceas, en las comunidades de San Juan del Sur se cultivan menos de 25 manzanas de musáceas y en las comunidades de Rivas y Tola se cultivan entre 25 y 75 manzanas de musáceas en la actualidad (IV CENAGRO, 2011).

En cuanto a la ganadería, en los tres municipios se tienen un promedio por explotación agropecuaria de: 18 bovinos. 3 cerdos y 29 gallinas (IV CENAGRO, 2011). Estas comunidades realizan la comercialización de sus productos en la cabecera departamental de Rivas.

En cuanto a confrontación de uso de la tierra, la parte más inclinada se considera sobreutilizada, ya que estas áreas se utilizan para pastizales y deberían protegerse con forestales; y la parte media a baja se considera adecuada, generalmente cubierta por pastos y o cultivos de musácea (MARENA, 2003).

La mayoría de los productores no hacen buenas prácticas de conservación de suelos y aguas, por lo cual muchos de estos han ido perdiendo su fertilidad, su capacidad productiva, detención e infiltración del agua (CATASTRO, 1971). (Acuña, 2008).

En esta área de estudio se cuenta con centros de salud distribuidos en las siguientes comunidades o municipios: Rivas, La Chocolate, San Antonio, Veracruz y Tola, que brindan atención a la población. Para la mayoría de la población es accesible, pero un 32% de ésta tiene dificultades para asistir, ya que habitan entre 3 y 6 km de distancia. De acuerdo con las estadísticas del SILAIS Rivas en el 2012-2013, los casos de diarreas en esta zona están en 3.7% y de infecciones de las vías urinarias están en 19.4%.



Con respecto a la educación se cuenta con escuelas en todas las comunidades. Se brinda educación primaria en El Coyolito, Bernardino, El Papaturro, Los Horconcitos y Río Grande; y los niveles de educación secundaria en La Chocolate, Rivas, Veracruz y Tola. Para el 78% de la población estudiantil los centros escolares (primarios y secundarios) están accesibles a menos de 2 km, pero el 22% de esta población los tiene entre 3 y 6 km de sus hogares,, esto dificulta el acceso principalmente en los períodos de lluvia (INEC, 2005).

### **2.3.2 Inventario forestal**

El inventario forestal consiste en evaluar las especies presentes en una parcela determinada según un muestreo sistemático, donde se mide el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura de fuste, altura de copa, densidad de sombra, diversidad de especies y el tipo de bosque o uso que tiene la tierra.

El DAP es el diámetro de una especie forestal medida a 1.4 metros de altura sobre el nivel del suelo y para su medición se utilizan diferentes equipos (cinta diamétrica y la forcípula). La medición de la altura del árbol se realiza por medio de varios instrumentos como: la tabla dendrométrica, el Blume-Leiss, el Suunto, el Haga, el Relascopio Blitterlich. La densidad se expresa en porcentaje de sombra (FAO, 2009); (West, 2009).

Para el inventario forestal se toman parcelas de (20m x 50m) distribuidas al azar en el área a estudiar, con el objetivo de evaluar el tipo de especie que predomina, su cobertura y la capacidad que esta tiene para recuperarse; lo que permitiría una mejor infiltración del agua, mejoraría el nivel de detención, retención y también la recarga del acuífero.

## **CAPÍTULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1 Universo y muestra de estudio**

El universo lo componen 573 pozos y 772 familias que habitan en la unidad de cuenca del Río Papaturro; de estos pozos se tomaron 43 para ser monitoreados en una base mensual; y de éstos se seleccionaron a 11 de ellos para coleccionar muestras de agua en épocas de verano e invierno para los respectivos análisis físico-químico e indicadores microbiológicos en los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua. En la unidad de cuenca, de los diez afluentes que al final forman el Río Grande, se midió el caudal en seis de estos y se tomó muestras de agua en cuatro puntos, principalmente donde convergían dos o tres de éstos. Se seleccionaron 18 parcelas de 20 m x 50 m distribuidas en toda el área para realizar el inventario forestal. En cuanto a los pobladores se tomó una muestra de 85 familias para llevar a cabo la encuesta.

### **3.2 Recolección de información secundaria y primaria**

Se recopiló información secundaria de la unidad hidrográfica en estudio a través de la Asociación de Municipios de Rivas, Alcaldía de Rivas, SILAIS Rivas, censos realizados en fechas anteriores y otros estudios que se llevaron a cabo en esta área, Luego se procedió a organizarla en tablas y gráficos para su respectivo análisis.

La información primaria, se compiló de forma sistemática, mensualmente a través del monitoreo de pozos, inventario forestal, registro de la pluviometría, aforos en ríos, pruebas de infiltración, muestreo de agua. etcétera.

### **3.3 Plan de análisis de datos de información**

Los datos recopilados se organizaron en tablas para su sistematización, análisis y presentación utilizando SPSS; se elaboraron mapas utilizando ArcGIS 10 y gráficos que permiten una mejor descripción, comprensión e interpretación de

cada planteamiento, su interrelación y correlación; para expresar con claridad los resultados generados en ambos períodos de monitoreo (épocas seca y lluviosa).

Los datos producidos en este estudio serán analizados estadísticamente para su procesamiento, exploración e interpretación, determinar el carácter cuantitativo y la fiabilidad de los datos.

### **3.4 Clima**

Con el fin de complementar los datos de precipitación en el área de estudio, se instalaron 10 pluviómetros instalados y distribuidos en la unidad hidrográfica; permitiendo tener una mejor zonificación de la distribución de la lluvia, y así realizar un análisis más exhaustivo del comportamiento meteorológico en esta área de estudio.

Los pluviómetros se colocaron a una altura de 1.5 y 2 metros de altura del nivel del suelo, en áreas despejadas de árboles para que se captara la lluvia.

En esta actividad fue determinante la participación de los productores de esta zona a los que se les asignó un pluviómetro, ya que ellos llevaron los registros de la lluvia durante 8 meses, para lo cual recibieron capacitación y se les proveyó con hojas de registro, realizando lecturas diarias a las 6:00 am.

### **3.5 Geomorfología y Geología**

Se realizó un reconocimiento geológico, en donde se consideraron dos aspectos principales en la unidad de cuenca del Río Papaturo: 1) localización de los afloramientos rocosos de tipo sedimentario y flujos lávicos y 2) las zonas depresionales como sitios de acumulación de material aluvial; en ambos casos caracterizando las zonas propicias para la formación de acuíferos. Así en cuanto al primer aspecto, se visitaron sitios en los que sobresalen afloramientos rocosos, para identificar el tipo de formación, su composición, fisuración y su comportamiento con respecto al flujo de agua; como son la loma de Los Camastros en la zona de El Garabato, Tola, Río Grande, La Chokolata, La Tigrera y Bernardino; se visitó la loma

de Santa Cornelia de donde nace La Chorrera, en el área de El Coyolito. En los sitios depresionales, el de Nevada y el de la salida del Río Grande.

### **3.6 Características físicas del suelo**

Para determinar las características físicas del suelo se realizaron calicatas con las siguientes dimensiones: 1.5 m de largo, 1.0 m de ancho y 2.0 m de profundidad; donde se determinó la profundidad de los perfiles de suelo, profundidad de raíces y se tomaron muestras para determinar densidad aparente, densidad real, textura y capacidad de campo. Además, con una barrena extensible hasta 4 m, se extrajeron muestras para observar el perfil, y determinar características físicas del suelo en el laboratorio; éstas se tomaron en los mismos puntos donde se realizaron las pruebas de infiltración.

La profundidad de los horizontes fue determinada tanto en las calicatas como en las barrenadas; se utilizó una cinta métrica. Para determinar el color del suelo se utilizó una carta de colores de Munsell.

Para determinar densidad aparente se usó el método del cilindro, para ello se tomó de cada horizonte una muestra con un cilindro de acero de 100 cm<sup>3</sup>, el cual se seca; luego se divide la masa de suelo seco entre el volumen. La densidad real se determina por el método del Kerosene, para ello se pesa un matraz de 50 ml, luego se le agrega suelo hasta un tercio del volumen y se pesa nuevamente, con una bureta se le agrega kerosene, para extraer los espacios vacíos y se llena el matraz hasta la marca. La diferencia de peso entre la diferencia del volumen nos da la densidad real (Forsythe W. , 1967).

Para determinar textura utilizamos el método de Bouyucos (Porta & López, 2003); consiste en colocar una muestra de 50g en una probeta de 1000ml y luego dispersarla con una mezcla de carbonato de sodio y hexametáfosfato de sodio (50 ml), y después leer la densidad de sólidos en suspensión a los 40 segundos y a las 2 horas. A partir de los datos obtenidos se calculan los porcentajes de arena, limo y arcilla; y se determina el tipo textural utilizando el diagrama de texturas y la clasificación internacional.

Para la capacidad de campo se utilizó el método de la olla de presión de Richards (Flores & Alcalá, 2010). Se colocan las muestras sobre una placa de cerámica, estas se humedecen hasta saturación y luego se cierra la tapa y se aplica presión a 0.3 bar; las muestras se dejan así por dos o tres días, hasta que ya no sale agua. Luego se toma el suelo húmedo y se pesa, se coloca en el horno y se seca a 105°C durante 24 horas, después se pesa nuevamente y se calcula el porcentaje de agua retenida.

### 3.7 Morfometría de la unidad de cuenca

El perímetro, el área y la longitud de la unidad de cuenca se determinaron utilizando el programa ArcGis 10. El ancho de la unidad de cuenca se calcula con la Ecuación 3.

$$W = \frac{A}{L} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

W es el ancho de la unidad de cuenca en m.

A es el área de la unidad de cuenca en m<sup>2</sup>.

L es la longitud de la unidad de cuenca en m.

El índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (Kc) se utiliza para determinar la forma de la unidad de cuenca (Ecuación 4. Tabla 5).

$$A = \pi r^2. Kc = \frac{P}{2\pi r} = 0.28\left(\frac{P}{A^{1/2}}\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

A: Área de la unidad de cuenca (km<sup>2</sup>).

P: perímetro de la unidad de cuenca (km).

r: Radio equivalente de la unidad de cuenca (km).

Kc: índice de Gravelius (adimensional).

Tabla 5. Índice de Gravelius para la evaluación de la forma.

<b>Clase</b>	<b>Rango</b>	<b>Descripción</b>
<b>Kc1</b>	1 a 1.25	Forma casi redonda a oval-redonda
<b>Kc2</b>	1.25 a 1.50	Forma oval-redonda a oval-alargada
<b>Kc3</b>	1.50 a 1.75	Forma oval alargada a alargada

Fuente: (Anaya, 2012).

Factor de forma ( $R_f$ ): es la relación que existe entre el ancho medio de la unidad de cuenca y la longitud axial de la misma (Ecuación 5. Tabla 6).

$$R_f = A/L^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$R_f$ : factor de forma Horton, adimensional.

A: es el área de la unidad de cuenca en km<sup>2</sup>.

L: es la longitud de la misma, medida desde la salida hasta el límite de la hoya. cerca de la cabecera del cauce más largo, en km.

Tabla 6. Valores interpretativos del factor de forma.

<b>Valores del factor de forma (<math>R_f</math>)</b>	<b>Forma de la unidad de cuenca</b>
<b>&lt;0.22</b>	Muy alargada
<b>0.22 - 0.30</b>	Alargada
<b>0.30 - 0.37</b>	Ligeramente alargada
<b>0.37 - 0.45</b>	Ni alargada ni ensanchada
<b>0.45 - 0.60</b>	Ligeramente ensanchada
<b>0.60 - 0.80</b>	Ensanchada
<b>0.80 - 1.20</b>	Muy ensanchada
<b>&gt;1.20</b>	Rodeando el desagüe

Fuente (Ordoñez, 2011)

Pendiente media: Un método bastante utilizado para determinarla es realizar una cuadrícula de tamaño conveniente sobre la unidad hidrográfica. Se cuentan los cortes de las curvas de nivel con los ejes horizontal y vertical de la cuadrícula respectivamente y se utilizan las Ecuaciones 6 y 7. En la Tabla 7 se presenta su clasificación.

$$S = \frac{S_v + S_h}{2} \times 100\% \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$$S_h = n_h / L_h \quad \text{y} \quad S_v = n_v / L_v \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

h es la diferencia de cotas entre curvas de nivel (m).

$n_h$  es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada Este.

$n_v$  es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada Norte.

$S_h$  y  $S_v$  son la pendiente horizontal y vertical de la unidad de cuenca respectivamente; adimensional.

$L_h$  y  $L_v$  son las distancias entre cruces vertical y horizontal.

Tabla 7. Clasificación de la pendiente.

<b>Rango (%)</b>	<b>Descripción</b>
<b>0 – 2</b>	Plano o casi a nivel
<b>2 – 4</b>	Ligeramente inclinado
<b>4 – 8</b>	Moderadamente inclinado
<b>8 – 15</b>	Fuertemente inclinado
<b>15 – 25</b>	Moderadamente empinado
<b>25 – 50</b>	Empinado
<b>50 – 75</b>	Muy empinado
<b>&gt;75</b>	Extremadamente empinado

Fuente: (Anaya, 2012).

La curva hipsométrica: se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km<sup>2</sup> o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. La curva está asociada con la edad de los ríos.

Densidad de drenaje: Es el reflejo de la dinámica de la cuenca, del nivel de respuesta, de la estabilidad hidrológica y del tipo de escorrentía. Se calcula con la Ecuación 8. En la Tabla 8, se presenta una relación de la densidad de drenaje con la textura del suelo.

$$D = \frac{\Sigma Lc}{A} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

D = densidad de drenaje (km<sup>-1</sup>).

ΣLc = suma de las longitudes de los cauces que integran la cuenca (km).

A = Área de la unidad de cuenca (km<sup>2</sup>).

Tabla 8. Respuesta en base a la densidad de drenaje.

<b>Densidad de drenaje (D)</b>	<b>Valor de D (km<sup>-1</sup>)</b>	<b>Textura</b>
<b>Baja</b>	3 – 14	Gruesa
<b>Media</b>	12 - 16	Media
<b>Alta</b>	30 - 40	Fina
<b>Muy alta</b>	40 - 500	Ultrafina

Fuente: (Ordoñez, 2011).

Relación de bifurcación (Rb): Es el resultado de dividir el número de canales de un orden dado entre el número de canales del orden inmediatamente superior (Ecuación 9).



$$Rb = \frac{Nn}{Nn+1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$N_n$ : es el número de canales de orden n

$N_{n+1}$ : es el número de canales de orden n+1.

Por lo general el rango de variación de Rb está entre 3 y 5, cuando la unidad hidrográfica es homogénea  $3 \leq Rb \leq 5$ ; si la unidad hidrográfica es elongada  $Rb \geq 10$  (Breña & Jacobo, 2006)

### 3.8 Hidrología

**Análisis de datos meteorológicos:** Los registros de precipitación se tomaron de las estaciones meteorológicas de INETER en Rivas 069070 (627183E, 1264349 N), como base principal; La Virgen 069026 (634535 E, 1258020 N), Tola 70001 (615634 E, 1264858 N) y San Juan del Sur 72001 (623535 E, 1243875 N). Se cuenta con datos desde 1968 hasta el año 2013.

A la vez. se instalaron 10 pluviómetros que fueron colocados en la unidad hidrográfica, de manera tal que se tuviera una zonificación de la distribución pluvial en ella; y así realizar un análisis más exhaustivo del comportamiento meteorológico en esta área de estudio

En el caso de los registros pluviométricos proporcionados por INETER, se realizó análisis de doble masa para completar datos faltantes, de la serie de datos en cada una de las estaciones, y contar con la información completa para el análisis del comportamiento histórico de la precipitación en el área de estudio.

Para el cálculo de la precipitación media sobre una zona se utilizaron los métodos de polígonos de Thiessen (los polígonos se dibujan trazando sobre un plano de la zona las mediatrices de los segmentos que unen el punto de ubicación de los pluviómetros más próximos (Custodio, 2001)); y el de las isoyetas (este método consiste en interpolar líneas de igual precipitación, correlacionando esta

información con las características físico-ambientales de la ubicación de cada pluviómetro (Custodio, 2001)).

En Nicaragua. existen muy pocas estaciones que registran datos de evaporación (ENACAL, 2004)). Estos datos son generados en estaciones meteorológicas dotados de tanques tipo A (Custodio, 2001).

La evapotranspiración, excepto en casos puntuales y aislados, se estima generalmente a través de fórmulas empíricas. Los métodos más utilizados son los de Penman (combinación del balance energía y la ecuación de transporte aerodinámico), de Avellán (método que permite estimar los valores de evaporación media anual en un lugar cualquiera en términos de los respectivos valores de precipitación media anual y altitud), Thornthwaite (utiliza la media mensual de las temperaturas medias diarias del aire) y Hargreaves modificada (relaciona radiación, temperaturas máximas y mínimas diarias), para determinar ETP (Ecuación 10), para convertir MJulio/m<sup>2</sup>/día a mm/día se multiplica por el factor 0,408.

$$ETP = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_0(t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

ETP= evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

$t_{med}$  = temperatura media, °C.

$R_0$  = radiación solar extraterrestre mm/día.

$t_{max}$  = temperatura máxima, °C.

$t_{min}$  = temperatura mínima, ° C.

Los datos de la dirección y velocidad de los vientos en Rivas se obtuvieron de la Estación INETER 069070 para el año 2013.

### **3.8.1 Pruebas de infiltración utilizando doble anillo**

Para determinar la capacidad de infiltración de los suelos en el área de estudio, se realizaron 20 pruebas de infiltración con el método de doble anillo,

distribuidas en la unidad de cuenca, Para tal efecto, se consideraron las características físicas del suelo, su serie y orden conforme el mapa de (CATASTRO, 1971); así como otros elementos importantes como la cobertura existente y la pendiente del terreno, las que servirán para determinar la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos (Schosinsky & Losilla, 2006).

En la realización de las pruebas se utilizó un juego de doble anillo (uno de 50 cm de diámetro por 15 cm de alto, y otro de 30 cm de diámetro por 50 cm de alto), un flotador con una cinta metálica y un cronómetro. Se llevó registro a distintos intervalos de tiempo, hasta que el flujo fue constante (Forsythe, 1985).

### 3.8.2 Medición de escorrentía

Para determinar la escorrentía se utilizaron los datos de las precipitaciones diarias de la estación pluviométrica de INETER Rivas para el año 2013; las pendientes medias y el tipo de cobertura o uso de la tierra. Utilizando el método de número curva de escorrentía, se determinó el umbral de escorrentía (Ecuación 11), luego la precipitación que escurre (Ecuación 12), después el coeficiente de escorrentía para toda el área (Ecuación 13), La escorrentía es el producto del coeficiente de escorrentía por la precipitación acumulada (es la precipitación que se va acumulando durante el período de lluvia).

$$P_o = \frac{508}{N} - 5.08 \quad \text{Ecuación 11}$$

$$pn = \frac{(P_{acumulada} - P_o)^2}{P_{acumulada} + 4P_o} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$C = \frac{(P - P_o)^2}{P^2 + 4P_o} \quad \text{Ecuación 13}$$

De donde:

$P_o$ = umbral de escorrentía (mm).

$P_n$ = precipitación que escurre (mm).

$P$ = precipitación acumulada (mm).

N= valor del número de curva (adimensional).

C= coeficiente de escorrentía (adimensional).

### 3.8.3 Medición de caudales en ríos

Primeramente, se realizó un recorrido por la zona de estudio, observándose el tipo de formación que predomina y las zonas sobre las cuales el río formó su curso, a través de las fallas. Se seleccionaron cuatro puntos sobre el cauce principal del río para realizar la medición de caudales (aforos), con una base mensual. Para esto se procedió a medir la sección transversal del río y la velocidad media de la corriente (Ecuación 14), utilizando el molinete Scientifics Instrument USGS type AA Model 6200 y la (Ecuación 15), utilizando el molinete PYGMY CURRENT METTER (6/99). Todos los datos obtenidos se anotaron en la hoja de registro, para su procesamiento (Anexo 8.3, Tabla 37 y 38).

$$v = \frac{rev}{s} \times 2.2049 + 0.0178 \times 0.0348 \quad \text{Ecuación 14}$$

$$v = \frac{rev}{s} \times 0.2927 + 0.0095 \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

V= velocidad en (m/s).

rev/s= revoluciones sobre segundos.

### 3.8.4 Interacción río-acuífero

Dentro de los métodos de campo para la interacción agua superficial (río) y subterránea (acuífero) están los: aforos, los canales Parshall, la calibración de crestas, minipiezómetros y pozos, seepage meters (medidores de infiltración),

trazadores y balance químico de masas (Weight W. D., 2004). En este estudio se utilizaron los minipiezómetros y los seepage meters para evaluar la interacción río-acuífero.

En los cuatro sitios de aforo, se instalaron tres minipiezómetros con diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada; uno en cada orilla del río (a 3m de profundidad) y el tercero en el centro de la corriente (a 2m de profundidad). Los minipiezómetros estuvieron instalados durante dos horas para su estabilización, se midió el nivel estático del agua (NEA) y posteriormente se procedió a purgarlos utilizando una bomba peristáltica. Se esperó a que se recuperara el NEA. Se calculó el gradiente hidráulico ( $i$ ) utilizando la elevación de los minipiezómetros y el NEA (Ecuación 16).

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$i$  = gradiente hidráulico, adimensional.

$\Delta L$  = diferencia de longitud, en metros.

$\Delta H$  = diferencia de altura, en metros.

A la vez se instalaron seepage meters en los lugares de aforo, a lo largo del curso principal del río, realizándose tres repeticiones por cada punto. La interacción agua superficial-agua subterránea (río-acuífero) se observa con la variación del volumen inicial de agua del dispositivo al final de la prueba. Un cambio en el volumen del agua inicialmente colocada en el dispositivo, indicará el carácter afluente (positivo) o influente (negativo) del acuífero (Davie, 2002). Se tomaron los registros de cada medición, y se calculó la variación de volumen inicial utilizando la Ecuación 17.

$$Q = \frac{v_1 - v_2}{t} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$Q$  = caudal, en  $m^3/s$

$v_1$  = volumen inicial, en  $m^3$ .

$v_2$  = volumen final, en  $m^3$ .

$t$  = tiempo, en segundos.

Teniendo el caudal ( $Q$ ), el área del seepage-meter y el gradiente hidráulico (obtenido de los minipiezómetros), se puede determinar la conductividad hidráulica ( $K$ ) utilizando la Ecuación 18.

$$K = \left(-\frac{Q}{A}\right)\left(\frac{\Delta L}{\Delta H}\right) \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$K$  = conductividad hidráulica (m/s).

$Q$  = caudal, en  $m^3/s$ .

$A$  = área del seepage-meter. en  $m^2$ .

$\Delta L$  = variación en longitud, en m.

$\Delta H$  = variación en altura, en m.

### 3.9 Hidrogeología

Durante el reconocimiento se realizó un levantamiento de objetos hidrogeológicos presentes en el área de estudio (pozos excavados 611, pozos perforados 6); para un total de 617 y 5 manantiales. Se tomaron los datos generales de cada pozo: propietario, altura y diámetro del brocal, profundidad del pozo, ubicación (con un GPS Garming 62), usos del agua, verificación de fuentes de contaminación en el radio de influencia del pozo y el nivel estático del agua; para este último, se utilizó un cable con divisiones cada metro, un multímetro conectado en el extremo superior y una cinta métrica.

Del inventario total se seleccionó una submuestra de 42 pozos, para conformar la red de monitoreo mensual de niveles estáticos, desde abril 2013 hasta febrero 2014. Esta selección se realizó tomando en cuenta su distribución por comunidad y la demanda de los pobladores. Con los datos obtenidos de esta red de

monitoreo se establecerá la piezometría de la zona, utilizando el programa Surfer 13, con la que se podrá determinar la dirección de flujo de agua subterránea.

### 3.9.1 Determinación de propiedades hidráulicas del acuífero

Para determinar las propiedades hidráulicas de los acuíferos se realizan las pruebas de bombeo. Se pueden dividir en 2 grupos: **pruebas de acuífero** (pueden suministrar datos sobre su transmisividad, almacenamiento, grado de comunicación entre la zona acuífera inmediata al pozo y otras más lejanas; existencia de barreras o bordes impermeables cercanos, zonas de recarga, etcétera) y **pruebas del pozo** (brindan información sobre calidad de construcción, pérdidas de carga por rozamiento del agua en las inmediaciones del mismo, e incluso sobre el caudal de bombeo más aconsejable y lugar donde debe colocarse la bomba para un caudal determinado de explotación) ( Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).

Las pruebas de bombeo se llevan a cabo con bombeo a caudal constante y a caudal variable; preferiblemente se miden abatimientos en pozos de observación o testigos, pero también en los mismos pozos de bombeo. Con el procesamiento de los resultados de estas pruebas, se pueden determinar: 1) las propiedades hidráulicas del acuífero [Transmisividad (T), Conductividad Hidráulica (K) y coeficiente de almacenamiento (S)] dentro del área de influencia de la prueba; y 2) la naturaleza hidrogeológica del acuífero: confinado, semiconfinado, libre o freático.

Se pueden utilizar diferentes métodos para procesar estas pruebas. Para este estudio se utilizaron el **método de Theis** (se utiliza un pozo de observación a dos tiempos diferentes y se evalúa T, K y S) y el **método de Jacob** (no se utiliza pozo de observación y se evalúa T y K). Los datos obtenidos se grafican en un papel semilogarítmico, con los datos de abatimiento en la escala aritmética, y en la escala logarítmica se puede graficar el tiempo (t), el radio (r) y la relación  $t/r^2$  con la ecuación de Theis; y t y  $\Delta s$  con el método de Jacob (Hiscock, 2005).

El valor de K, se obtiene al dividir la transmisividad (T) entre el espesor del acuífero (b) (Hiscock, 2005).

### 3.9.2 Descarga de Agua Subterránea

Para determinar la descarga del acuífero se utilizaron las isopiezas de la unidad hidrográfica. Con base en esta configuración se seleccionaron canales de flujo y se aplicó la Ley de Darcy para calcular el caudal “Q” mediante la Ecuación 19. La descarga total del flujo subterráneo horizontal es la suma de los caudales de cada uno de los canales que se establecerán (CONAGUA, 2015) (Figura 11).

$$Q = B * i * T \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s).

T = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s).

B = Longitud de la celda (m).

i = Gradiente Hidráulico (adimensional).

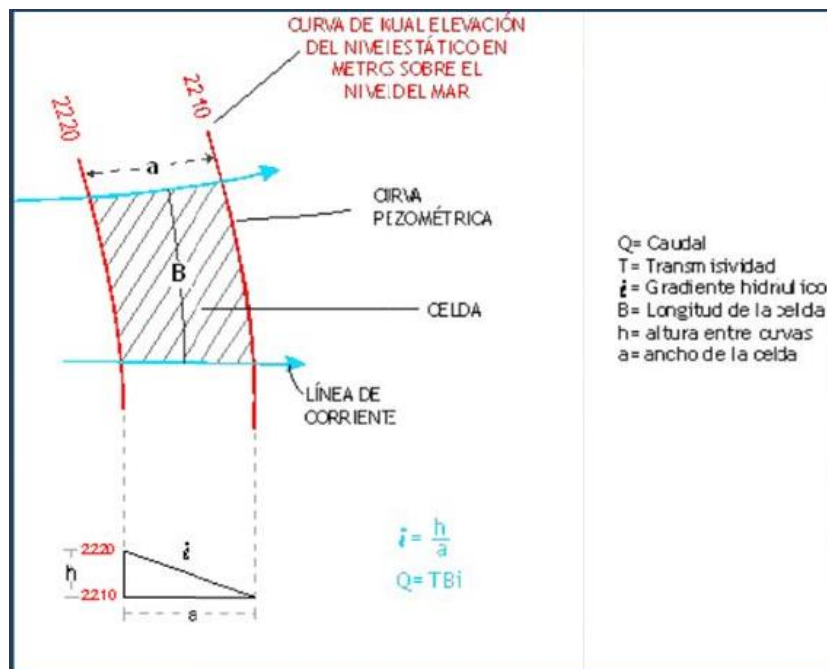


Figura 11. Uso de datos (propiedades del acuífero) para calcular el volumen de agua que puede aportar el acuífero (CONAGUA, 2015).



### 3.9.3 Balance Hídrico

Para realizar futuras proyecciones sobre el uso del agua en una unidad hidrográfica, se requiere cuantificar el potencial con el que se cuenta a través de un balance hídrico. Uno de los métodos es el de Cálculo de la Recarga Potencial de Acuíferos Mediante un Balance Hídrico de Suelos (Ecuación 20), desarrollado por (Schosinsky & Losilla, 2006).

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - ET - Q_{SO} - Q_{UO} - \Delta S \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

P = Precipitación (mm).

Q<sub>SI</sub> = Entrada de agua superficial a la cuenca (mm).

Q<sub>UI</sub> = Entrada de agua subterránea a la cuenca (mm).

E = Evaporación (mm).

ET = Evapotranspiración (mm).

Q<sub>SO</sub> = Salida de agua superficial (mm).

Q<sub>UO</sub> = Salida de agua subterránea (mm).

Δs = Variación del Almacenamiento de agua en la cuenca (mm).

Para realizar el balance hídrico de suelos en la unidad hidrográfica, se utilizaron los datos de normas históricas de las estaciones meteorológicas de Rivas, La Virgen, Tola y San Juan del Sur; el consumo de agua por los pobladores; la extracción de agua superficial (río) por bombeo; la infiltración y escorrentía, las pérdidas por evaporación y evapotranspiración en el área de estudio.

### 3.10 Calidad del Agua

Para determinar la calidad del agua, se realizaron dos campañas de muestreo (noviembre 2013 y febrero 2014) en los 15 sitios de muestreo seleccionados (cuatro en agua superficial y 11 en agua subterránea). Se realizaron

análisis físico-químico completo y microbiológico para determinar la calidad del agua en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

### **3.10.1 Muestreo de aguas subterráneas y superficiales**

De los 42 pozos seleccionados para la red de monitoreo mensual de niveles estáticos de agua (NEA), se tomó una submuestra equivalente al 25% (11 pozos) del universo; a la vez, se seleccionaron 4 puntos sobre el río para evaluar respectivamente la calidad del agua subterránea y superficial en la unidad de cuenca del Río Papaturro. De los 15 sitios de monitoreo seleccionados (agua superficial y subterránea) se colectaron muestras de agua para su posterior análisis en el laboratorio; y a la vez se registraron los datos generales y físicos del pozo, y se midieron los parámetros de campo en submuestras de agua de cada uno de esos puntos.

Los muestreos se realizaron en dos períodos (noviembre 2013 y febrero 2014), para tomar muestras representativas durante las dos estaciones presentes en la unidad de cuenca, y determinar así la calidad físico-química y microbiológica de las aguas presentes en la unidad de cuenca. Las muestras de agua se colectaron utilizando un bailer de material inerte y se almacenaron en los recipientes correspondientes, de acuerdo con los procedimientos (FOR-CIRA-ATACC-26) del CIRA/UNAN-Managua; siguiendo el formato de campo para el registro de cada una de las muestras (FOR-CIRA-ATACC-27) y el protocolo de custodia de las muestras (FOR-CIRA-ATACC-28). Las muestras de inmediato se conservan en un termo con suficiente hielo, y son trasladadas a los laboratorios del CIRA/UNAN-Managua, para sus respectivos análisis.

Para determinar la calidad del agua, se utilizaron los resultados analíticos (físico-químico completo y microbiológico), a como se detalla a continuación.

**Análisis físico-químico:** las muestras para el análisis físico-químico completo fueron captadas en recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de un galón, preservadas, transportadas y analizadas siguiendo los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales y Aguas Naturales

del CIRA/UNAN-Managua, que observan los procedimientos descritos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005. 21st edition). Los parámetros analizados y los límites de detección analíticos se detallan en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Parámetros físicos analizados.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Código método</b>
<b>pH</b>	0.10 a 14.00 Unds de pH	Potenciométrico	4500-H.B
<b>Conductividad</b>	0.01 a 1000000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Electrométrico	2510.B
<b>Turbidez</b>	0.00 a 999 UNT	Nefelométrico	2130.B
<b>Color</b>	5.0 a 70.0 ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Pt-Co)	Comparación Visual	2120.B
<b>Sólidos totales disueltos</b>	Hasta 20.000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Electrométrico	1030.E

Tabla 10. Parámetros químicos analizados.

<b>Parámetro</b>	<b>LD</b>	<b>Método Analítico</b>	<b>Cód. Método</b>
<b>Alcalinidad (como <math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	0.62 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	2320.B
<b>Alcalinidad a la fenolftaleína</b>	1.67 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	2320.B
<b>Dureza (como <math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	0.13 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	2340.C
<b>Carbonatos (<math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	2.0 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	2320.B
<b>Bicarbonatos</b>	0.75 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	2320.B
<b>Calcio (Ca)</b>	0.08 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	3500-Ca.B
<b>Magnesio (Mg)</b>	0.2 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	Titrimétrico	3500-Mg.B

<b>Sodio</b>	0.10 mg·l <sup>-1</sup>	FELI	3500NaD
<b>Potasio</b>	0.1 mg·l <sup>-1</sup>	FELI	3500-K.B
<b>Cloruros</b>	0.25 mg·l <sup>-1</sup>	Cromatografía iónica	4500.CIB
<b>Sulfato</b>	0.25 mg·l <sup>-1</sup>	Turbidimétrico	4500.SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> .B
<b>Nitratos</b>	0.05 mg·l <sup>-1</sup>	Cromatografía iónica	4500 NO <sub>3</sub> .B
<b>Nitritos</b>	0.003 mg·l <sup>-1</sup>	Colorimétrico	4500-NO <sub>2</sub> .B
<b>Amonio</b>	0.0003 mg·l <sup>-1</sup>	Neslerización	4500N-H <sub>3</sub> .F
<b>Sílice disuelta</b>	0.2 mg·l <sup>-1</sup>	Molibdosilicato	4500-SiO <sub>2</sub> .C
<b>Hierro</b>	0.04 mg·l <sup>-1</sup>	Fenantrolina	3500-Fe.B
<b>Fluoruros</b>	0.25 mg·l <sup>-1</sup>	Cromatografía iónica	4110.B

LD: Límite de detección. FELI: Fotométrico de Emisión de Llamas.

También se hace una relación de la calidad de las aguas tanto subterráneas como superficiales para uso en regadíos, tomando como parámetros esenciales su conductividad eléctrica, salinidad y su relación absorción de sodio (RAS), el que se calcula utilizando la Ecuación 21.

$$RAS = [Na] / \sqrt{([Ca] + [Mg]) / 2} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

RAS: relación absorción de sodio.

[Na]: concentración en meq/L

[Ca]: concentración en meq/L

[Mg]: concentración en meq/L

**Análisis microbiológicos:** los análisis realizados en estas muestras de agua incluyeron los siguientes indicadores: Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* y Enterococos. Las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos de polipropileno, de un litro y cubiertos con papel de aluminio. Fueron preservadas en hielo y transportadas al laboratorio, para posteriormente ser analizadas de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología del CIRA/UNAN-Managua, que siguen los Métodos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005. 21st edition). En la Tabla 11, se presenta la metodología analítica de estos parámetros.

Tabla 11. Parámetros microbiológicos analizados.

<b>Parámetro</b>	<b>LD</b>	<b>Método</b>	<b>Cód. Método</b>
<b>Coliformes totales</b>	<1.8	Tubos de fermentación	9221B
<b>Coliformes termotolerantes</b>	<1.8	Tubos de fermentación	9221E
<b><i>Escherichia coli</i></b>	<1.8	Tubos de fermentación	9221F
<b>Enterococos fecales</b>	<1.8	Tubos de fermentación	9230B

### **3.11 Análisis de las características socioambientales de la unidad de cuenca del Río Papaturro**

#### **3.11.1 Aplicación de encuestas.**

La encuesta es una técnica cuantitativa de investigación que permite obtener información de una parte de la población, o muestra mediante el uso de un cuestionario. La aplicación de encuestas se realiza para valorar la opinión de los pobladores en cuanto al uso del recurso agua e impacto en la población, manejo de actividades agropecuarias, forestales y el nivel de contaminación que esta provoca en su entorno. La encuesta contará con un cuestionario de preguntas abiertas y

cerradas y se aplicará por comunidades de forma estratificada conforme la población.

Para su procesamiento se asignó un código a cada una y de esta manera darle el tratamiento adecuado. Se determinó el tamaño de la muestra  $n$  (Ecuación 1) y se estratificó  $ni$  (Ecuación 2) de acuerdo a la población (Galindo, 1996).

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{N \times e^2 \times Z^2 \times p \times q} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$n$  = es el tamaño calculado de la muestra.

$Z = 1.96$  que es el nivel de confianza del 95%.

$p$  y  $q$  = son probabilidades complementarias, equivalentes al 0.5% cada una.

$N$  = es el universo.

$e$  = es el error aceptable para encuesta entre 1% y 10%.

$$ni = \frac{n \times Ni}{N} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$ni$  = tamaño de la muestra en estrato  $i$ .

$n$  = Tamaño de la muestra.

$Ni$  = número de elementos en el estrato.

$N$  = tamaño de la población.

Para valorar la parte socioeconómica y ambiental de la unidad hidrográfica del Río Papaturro, se realizó una encuesta (Anexo 8.5). La que se aplicó a una muestra basado en el número de familias que habitan en el área de estudio, siguiendo la metodología de (Galindo, 1996); la que se calculó usando el método

aleatorio simple y por cuotas según población y comunidad. Considerando una población de 772 familias, la muestra final resultó ser de 85 encuestas a aplicar. Para esto se seleccionó al azar las familias por cada comunidad y se visitó a los jefes de familia para obtener la información (considerando el 9% de error y el 91% de probabilidad), a las que se les aplicó una encuesta.

Las encuestas se distribuyeron según cuota por comunidad (Tabla 12). La encuesta está dirigida a recabar información relacionada con la cantidad y calidad del uso del agua, el uso de la tierra, cobertura vegetal y las posibles fuentes de contaminación.

Tabla 12. Distribución de las encuestas en las comunidades de la unidad de cuenca.

<b>Comunidad</b>	<b>N° de encuestas realizadas</b>	<b>Comunidad</b>	<b>N° de encuestas realizadas</b>
La Chocolata	10	Loma de la Burra	3
El Mono negro	2	El Chumbulún	3
El Coyolito	3	Veracruz	21
La Chorrera	1	Los Horconcitos	7
La Tigrera	2	Los Horcones	4
Bernardino Díaz	2	Río Grande	14
El Papaturro	2	Guachipilín	5
Las Pilas	4	Las Juntas	2

El **inventario forestal** se realizó a través de un muestreo aleatorio simple (Mostacedo, 2000) aplicando una metodología que consistió en distribuir cada 2 km puntos de muestreo en el mapa que delimita la unidad de cuenca, obteniendo así 18 parcelas de muestreo de 20 m (de Este a Oeste) por 50 m (de Norte a Sur). En cada parcela se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP=1.4 m) utilizando cinta diamétrica, la altura de copa con clinómetro y la densidad de sombra con densiómetro, orientando el punto a medir cinco metros al interior de las esquinas de cada parcela y al centro.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Clima

Para completar la información pluviométrica del área de estudio, se instalaron 9 pluviómetros, los cuales fueron atendidos por los productores de la localidad (Foto 1. Tabla 13 y Tablas 28-32, en Anexo 8.2); solamente de 5 de éstos, se obtuvieron registros con datos completos. También se incluyó como referencia el de la estación Rivas (69070) por ser el más próximo.



Foto 1. Instalación y lectura de pluviómetros en la unidad de cuenca.

Tabla 13. Pluviometría en la unidad de cuenca del Río Papaturro, conforme los registros de los pluviómetros instalados.

<b>Comunidad</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>mm/año</b>
<b>Bernardino</b>	25	135	155	177	329	405	141	88	1452
<b>Papaturro</b>	113	251	101	161	413	262	105	0	1406
<b>La Chocolata1</b>	139	160	144	110	277	245	172	8	1257
<b>La Chocolata2</b>	185	165	165	168	270	270	205	0	1428
<b>Coyolito</b>	201	166	142	197	363	246	140	12	1467

La temperatura media en la unidad hidrográfica del Río Papaturro conforme los registros de INETER, durante el periodo de 1970 al 2013 de la estación Rivas (69070) es de 27.1°C.



Un análisis más extenso de la precipitación y temperatura en el área de estudio se abordará en la sección 4.5.1. Los otros parámetros meteorológicos tienen muy poca variabilidad y por tanto no se discutirán en este trabajo.

## 4.2 Geología

Al realizar el recorrido geológico por el área de estudio, se constató la geomorfología, así como las formaciones y los materiales geológicos presentes.

En la loma de Los Camastros (619586E, 1262623N), aflora el sistema Paleógeno serie Eoceno, formado por rocas plutónicas gabrodioritas y diabasas; que dan origen a materiales arcillosos (Foto 2a y 2b). En este tipo de formación su litología presenta grietas producto de la meteorización física, y acumulación de arcillas en las partes más profundas, de donde se forman acuíferos colgados y pequeños manantiales (Foto 3).

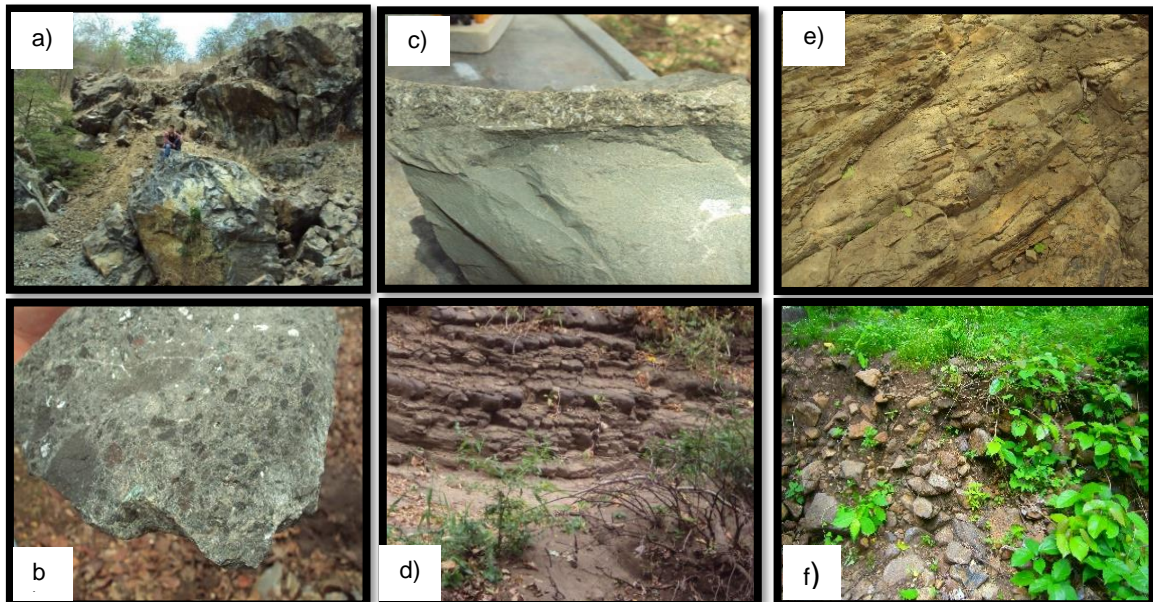


Foto 2. Formaciones rocosas de la unidad de cuenca del Río Papaturro: rocas de la Formación Reciente (a y b); roca volcánica fundida a sedimentaria (c). rocas de la Formación Rivas (d y e); deposición aluvial (f).



Foto 3. Manantiales que brotan en la loma de Los Camastros.

En la zona del salto de El Coyolito (619429E, 1254504N) se localiza el sistema Paleógeno serie Pleoceno-Eoceno de la Formación Brito (Foto 2c). La Formación Brito P(1-2)bt, es la fracción más pequeña con un área de 0.74 km<sup>2</sup>, integrada por rocas volcánicas y sedimentarias, piroclastos, tobas, lavas andesíticas, aglomerados, calizas y margas, se localiza al suroeste de la unidad de cuenca. El sistema presenta alteraciones por la meteorización de los materiales superficiales que permite almacenar agua y liberarla lentamente durante el año, formando un manantial y una cascada (Foto 4 y 5).



Foto 4. Manantial en la zona de La Chorrera.

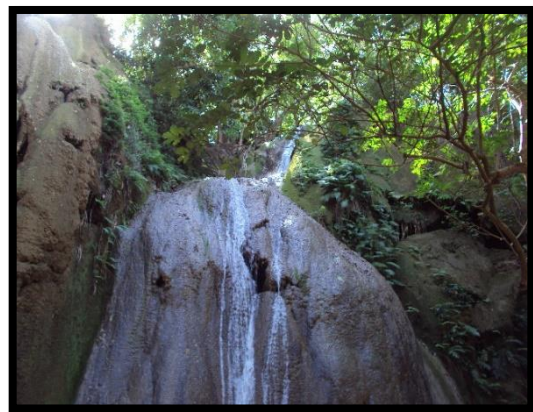


Foto 5. Cascada en la Formación Brito.

En la zona de Río Grande y La Chokolata (entre las coordenadas 620089E, 1260542N y 621848E, 1259223N) se localiza el sistema Cretácico, serie Superior de la Formación Rivas (Fotos 2d y 2e). La litología es de rocas volcánicas y

sedimentarias, formada por rocas piroclásticas, andesitas, lutitas y areniscas calcáreas. Esta formación presenta mayor dificultad para la recarga hídrica, ya que el sistema de grietas es más pequeño y presenta menor porosidad, por tanto, la mayor parte del agua que precipita se pierde por escorrentía.

En la zona baja de Nevada y en la zona de descarga del Río Grande (625605E, 1256725N y 517903E, 1261270N, respectivamente), se localiza el sistema Cuaternario, serie Holoceno. Está formado por sedimentos recientes (Fotos 2f) como guijarros, arenas, suelos arenosos y arcillas. Esta formación presenta las mejores condiciones para almacenar agua (acuífero con rendimiento <60 l/s, transmisividad <500m<sup>2</sup>/d, y conductividad hidráulica entre 10<sup>-1</sup>-10<sup>-4</sup> m/s (Fenzl, 1989)).

Las características geológicas de la unidad de cuenca, guardan una estrecha relación con los trabajos realizados en la zona del pacífico de Nicaragua (Kuang, 1971) y la descripción de las áreas están contenidas en la base cartográfica de INETER (1984). El elemento dominante en la unidad de cuenca es la Formación Rivas, y una pequeña área está influenciada por la Formación Brito.

### **4.3 Características del suelo**

Al realizar los sondeos de campo (calicatas y barrenadas), se observó que se han modificado los perfiles de los suelos, quedando expuesto un mayor contenido de arcilla, localizado en el horizonte B, que limita la infiltración del agua de lluvia.

La mayor parte del suelo pertenece a la serie San Rafael (Foto 6a), con diferentes grados de pendiente; las propiedades de estos suelos varían con las profundidades (Tabla 14).

Otro de los grupos que predominan son los suelos vérticos a vertisoles (Tabla 14; Fotos 6b y 6c), a pesar de que su contenido de arcilla es similar en las profundidades de 90 a 180 cm, la capacidad de campo y la densidad aparente son más altas en este tipo de suelo. El resto de los datos levantados en la unidad de cuenca, se registran en el Anexo 8.1, Tabla 26.

Tabla 14. Propiedades de los suelos: (1) Serie San Rafael. (2) suelos Vérticos a Vertisoles.

Prof. (cm)	Estructura	Textura	Da (g.cm <sup>-3</sup> )	CC (%)	MO %
0 a 30 (1)	Blocosa	Fa-FA	1.25 a 1.30	25.85	2.70 a 3.00
30 a 90 (1)	Blocosa	F-Fa	1.50 a 1.70	23.5-23.7	2.40 a 0.88
90 a 180 (1)	Blocosa	FAa-FA	1.60 a 2.05	29.5 a 31.5	1.57 a 0.64
0 a 30 (2)	Blocosa	Fa-FA	1.60 a 1.70	24.5 a 25.5	4.50 a 3.75
30 a 180 (2)	Prismática	A	> 1.80	29.5 a 33.5	1.50 a 1.60
>180 (2)	Roca alt	FI-Fa	1.80 a 2.70	19.0 a 29	0.13 a 0.60

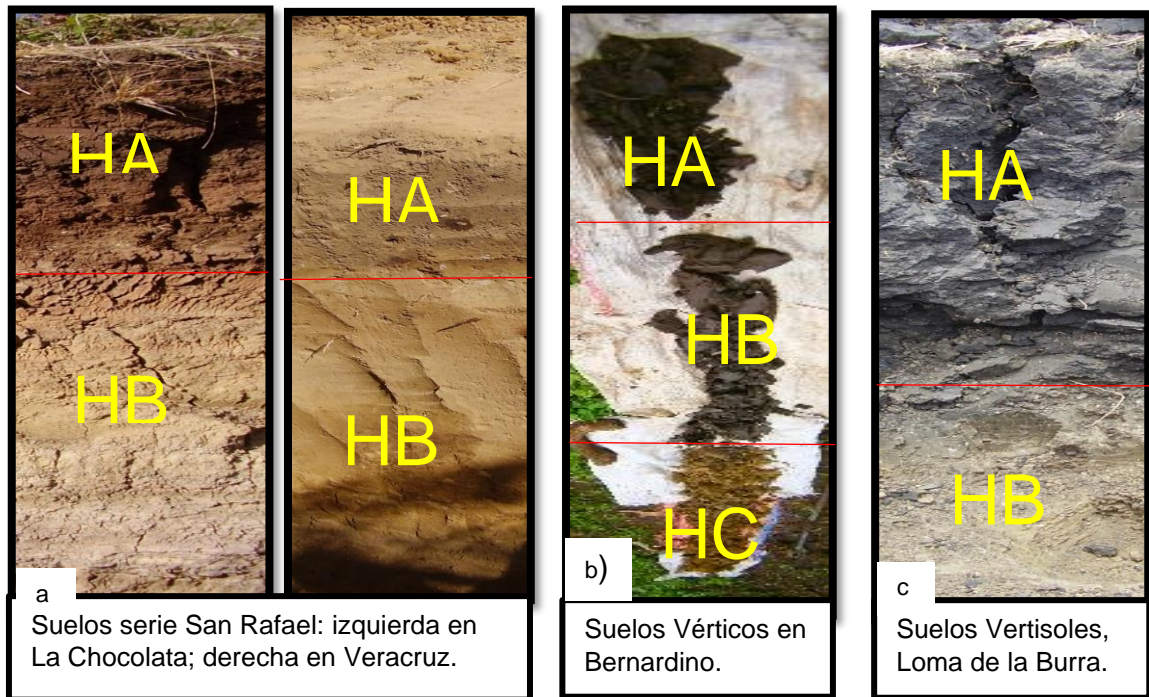


Foto 6. Perfiles de la Serie de suelos en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

#### 4.4 Morfometría de la unidad de cuenca

El área de la unidad de cuenca del Río Papaturro es de 80.9 km<sup>2</sup>. Por el tamaño se considera una unidad de cuenca pequeña, ya que es menor que 250 km<sup>2</sup> (Campos, 1987).

La forma de la unidad de cuenca de acuerdo al factor de Horton (0.69) es alargada, y según el índice de Gravelius (1.54) es de oval alargada a alargada; esto implica que el agua tiene un tránsito lento, que conduce a crecidas moderadas. El relieve es poco elevado, con altura máxima de 360 msnm y mínima de 20 msnm, y un promedio de 66 msnm; la pendiente promedio es de 5.25%, encontrándose pendientes más pronunciadas en La Tigrera, La Chorrera, Loma de la Burra y Veracruz.

El río, en su patrón de drenaje presenta forma dendrítica, con pendiente de 1.84 %, que se considera casi a nivel y un recorrido de 10858 m. Debido a la baja pendiente del cauce principal presenta un tiempo de concentración de 3 horas y 55 minutos, considerándose un tránsito lento.

Las características morfométricas y biofísicas favorecen que el agua precipitada se pierda rápidamente por escorrentía superficial con una tendencia moderada a crecidas e inundaciones. El agua infiltrada circula rápidamente por fracturas del material geológico con tiempos de tránsito relativamente cortos, por la poca profundidad del acuífero y además, el área de recarga de las nacientes es local por lo que las fuentes son especialmente vulnerables a períodos de sequía y a la contaminación en su entorno cercano; de la misma manera lo describe (Ordoñez, 2011), para geología similar. Los parámetros morfométricos de la unidad de cuenca se describen, en la Tabla 15.

Tabla 15. Características morfométricas de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Área en (km <sup>2</sup> )	80.90
Perímetro (km)	49.17
Pendiente media de la unidad de cuenca (%)	5.25
Factor de Horton (Rf)	0.69 alargada
Índice de Gravelis (KC)	1.54
Forma	De oval-alargada a alargada
Longitud del río principal (km)	10.858
Pendiente media del río principal (%)	1.84 plano o casi a nivel
Densidad de corriente (km <sup>2</sup> )	4.89
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	0.84 grosera
Elevación máxima (msnm)	320
Elevación media (msnm)	66
Elevación mínima (msnm)	20
Precipitación (mm/año)	1491.60
Temperatura media (°C)	24.10

Gran parte de los tributarios se secan después del período lluvioso, esto es característico de zonas secas y escasa vegetación. La densidad de corriente tiene un valor cercano al 5 (conforme Tabla 8), así entre más bajo es el valor más lento será la respuesta a la salida del agua desde el extremo de la unidad hidrográfica. En estas condiciones el nivel de escurrimiento del agua desde las laderas tarda más, así también nos indica que el grado de permeabilidad en la cabecera es alto y está formado por gravas y arenas gruesas. Los valores bajos de densidad de corriente, indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densa (Villon, 2002).

La curva hipsométrica, nos muestra que la altura media de la unidad de cuenca es de 66 msnm y según el comportamiento de la curva, la unidad de cuenca es estable, poco erosionable y pertenece a una cuenca madura que se corresponde

a un tipo sedimentario de baja erosionabilidad, trasportando en su curso materiales gruesos (Gráfico 1).

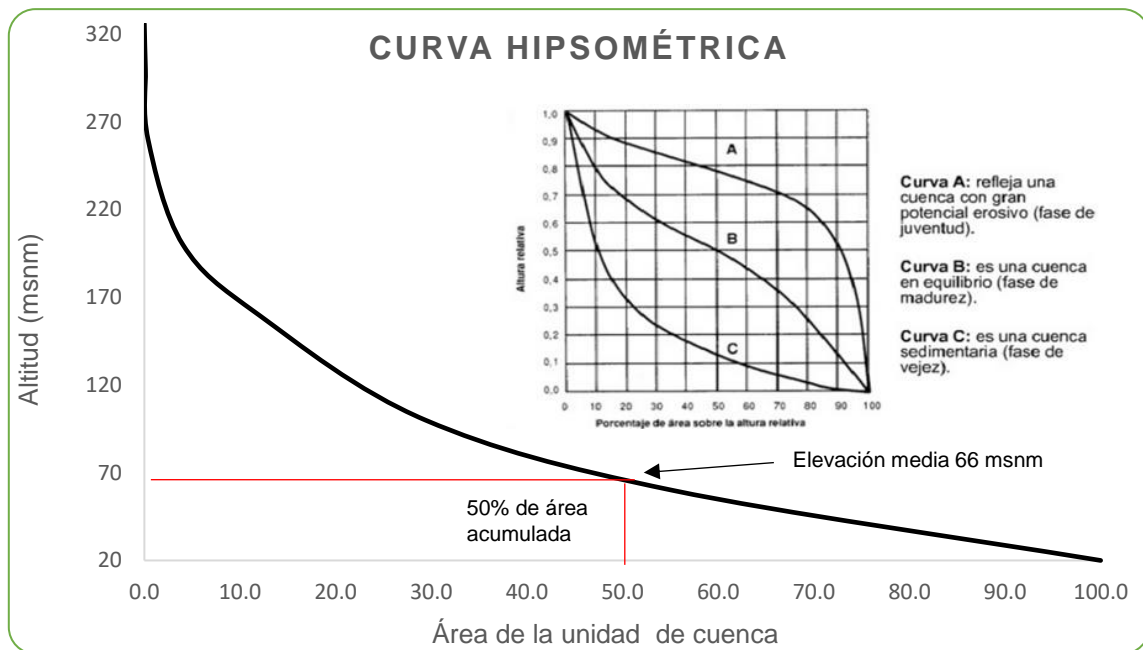


Gráfico 1. Curva hipsométrica, unidad de cuenca del Río Papaturro.

## 4.5 Hidrología

### 4.5.1 Análisis de datos meteorológicos

Se realizó el análisis de datos de cuatro estaciones de INETER: Rivas (69070), La Virgen (69026), Tola (70001) y San Juan del Sur (72001), ubicadas en los alrededores de la zona de estudio (registros en Anexo 8.2). Se analizaron los datos pluviométricos anuales de las estaciones antes mencionadas, desde 1970 hasta 2013, en las cuales se rellenaron datos faltantes en cada una de las estaciones, utilizando doble masa, para determinar homogeneidad de los datos, tomando como referencia la estación de Rivas (69070). Los datos obtenidos por cada estación después del análisis de doble masa permiten encontrar los valores medios y su distribución en la unidad de cuenca, el promedio general de las precipitaciones de las cuatro estaciones es de 1421 mm/año.

Al hacer un análisis de los datos registrados por los 9 pluviómetros instalados en esta investigación, el promedio acumulado anual es de 1396 mm, con

correlaciones superiores a 0.96; los valores promedios registrados se aproximan a los promedios generados en las estaciones de INETER en el año 2013, (Tabla 16).

Tabla 16. Pluviometría en la unidad de cuenca del Río Papaturro, año 2013.

<b>Estaciones de INETER</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>mm/año</b>
<b>Rivas 69070</b>	172	214	203	142	267	248	106	09	1363
<b>La Virgen 69026</b>	203	152	203	158	229	381	0	0	1326
<b>Tola 70001</b>	191	179	153	148	271	223	81	09	1245
<b>SJS 72001</b>	152	186	122	145	221	230	57	03	1116

INETER.

Utilizando el método de isoyetas con datos pluviométricos de INETER (1999-2013), la precipitación media llega a 1426 mm/año, distribuida en la unidad de cuenca en dirección Sureste, iniciando en la zona de La Chocolatea con 1500 mm/año, y finalizando en las áreas de Bernardino con 1350 mm/año (Figura 12). Se puede observar mayor pluviosidad en el sector Este de la unidad de cuenca, donde hay mayor vegetación y las elevaciones interceptan la lluvia que vienen en este sentido.



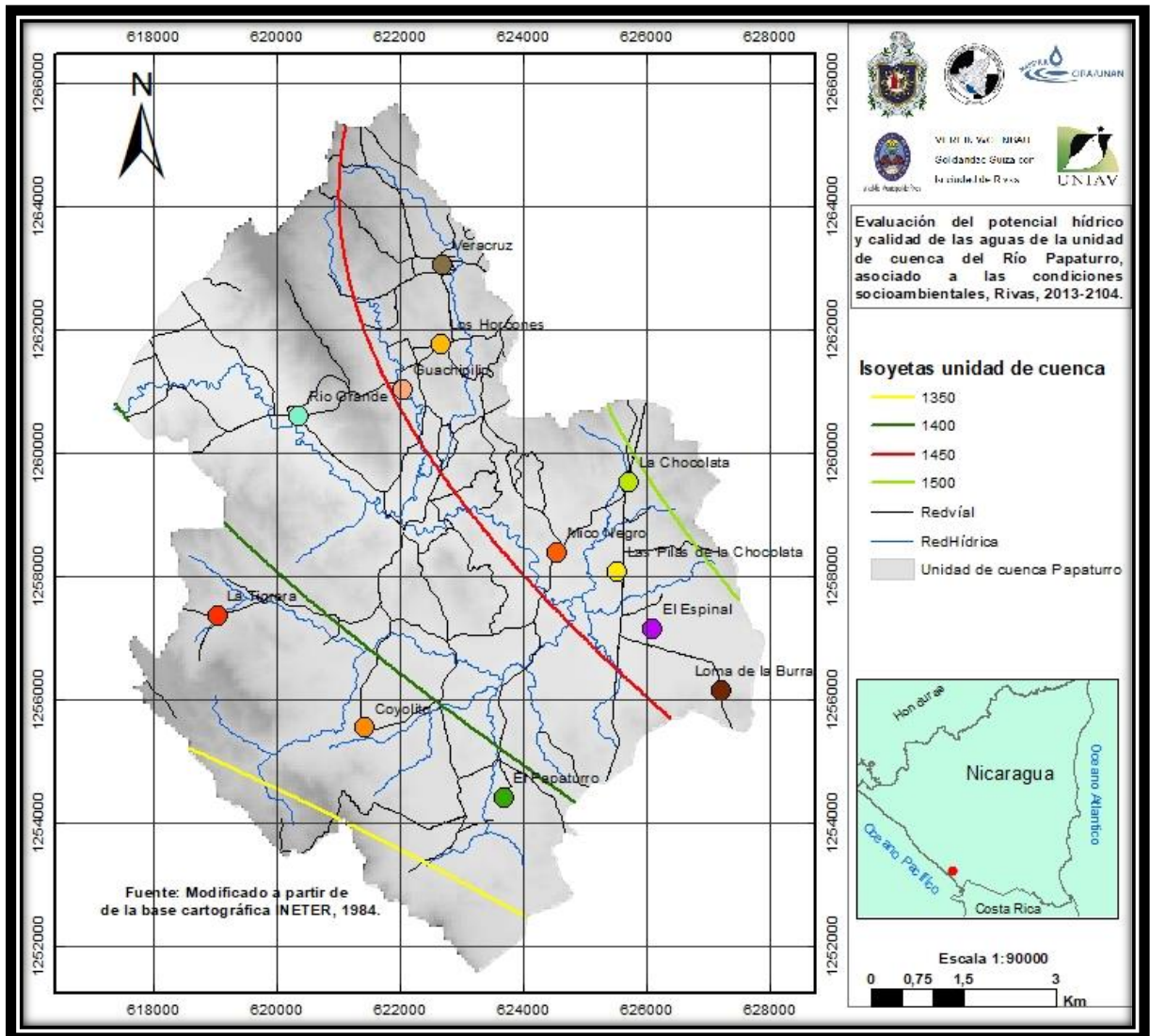


Figura 12. Distribución de las precipitaciones en la unidad de cuenca.

Las temperaturas medias conforme los registros de las últimas décadas (1970-2013) son de 27.1°C, en el Anexo 8.5 se presentan la temperatura promedio mensual (mínima, media y máxima) desde los años 1969 hasta el 2013. Es importante destacar que en el 2013 se refleja un aumento en la temperatura de 3 décimas, es decir 27.4°C. La temperatura máxima de la zona es de 30.5°C, incrementándose en el 2013 en 0.9°C; y la temperatura mínima es de 24.1°C, de la misma manera se aumenta en 0.4 °C. Gráficos 2 y 3. Los datos de la estación Rivas 69070 se muestran en (Anexo 8.2).

Los otros parámetros meteorológicos tienen muy poca variabilidad y por tanto no se discutirán en este trabajo.

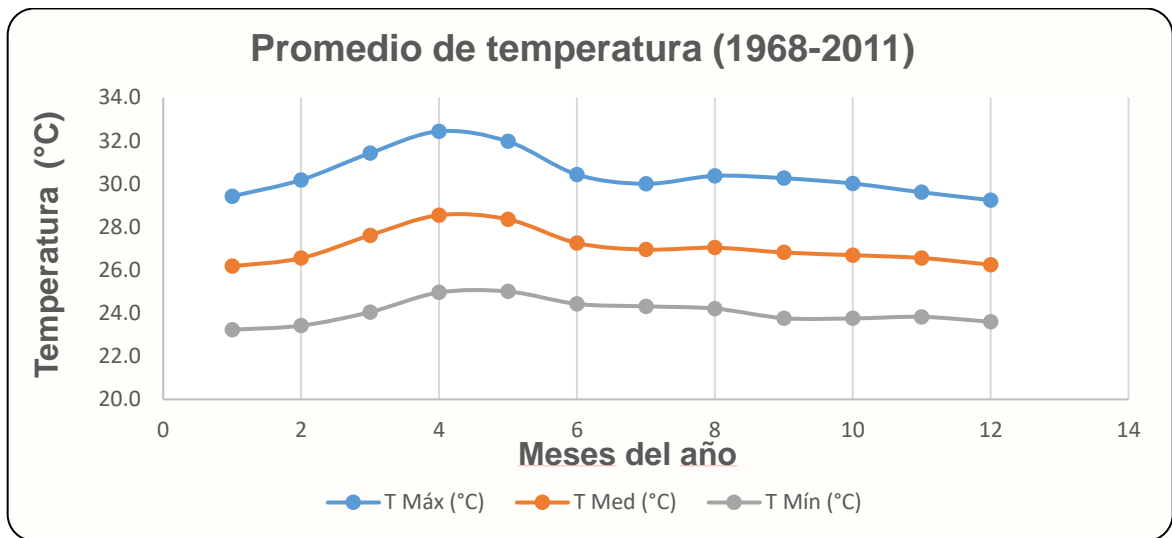


Gráfico 2. Temperaturas registradas en la estación de INETER Rivas 69070, promedios mensuales 1968-2011.

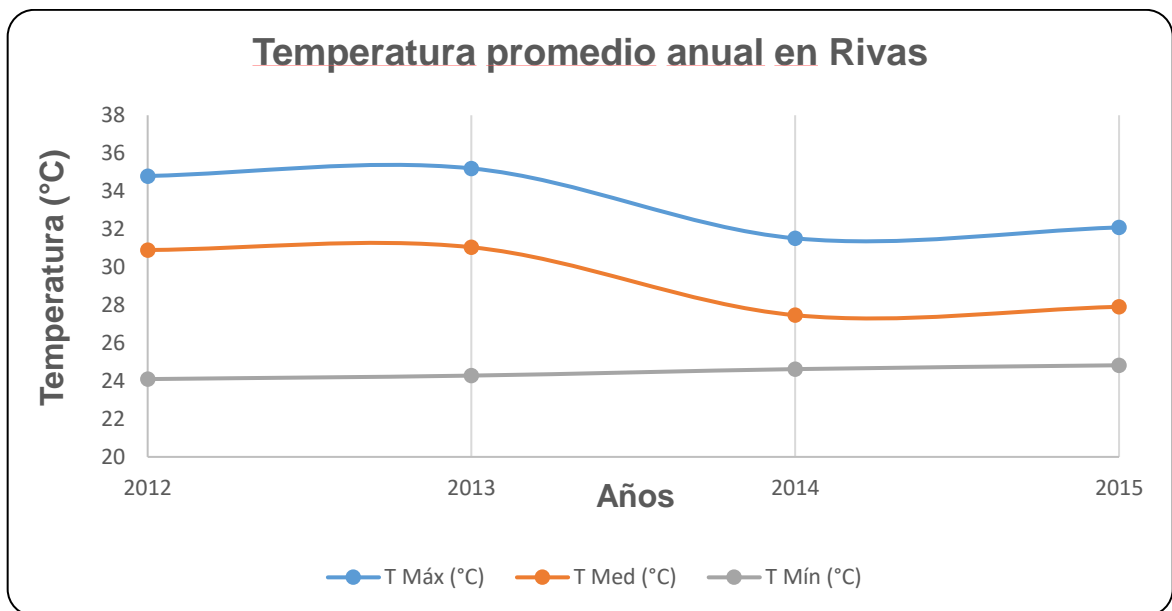


Gráfico 3. Temperaturas medias registradas en estación INETER Rivas 69070, en los años 2012 al 2015.

Se evidencia que a medida que inician las precipitaciones desciende la temperatura y se logran las máximas precipitaciones en los meses de septiembre y octubre, el gráfico presenta lomo de camello, con precipitaciones bajas en los meses de julio y agosto (Gráfico 4).

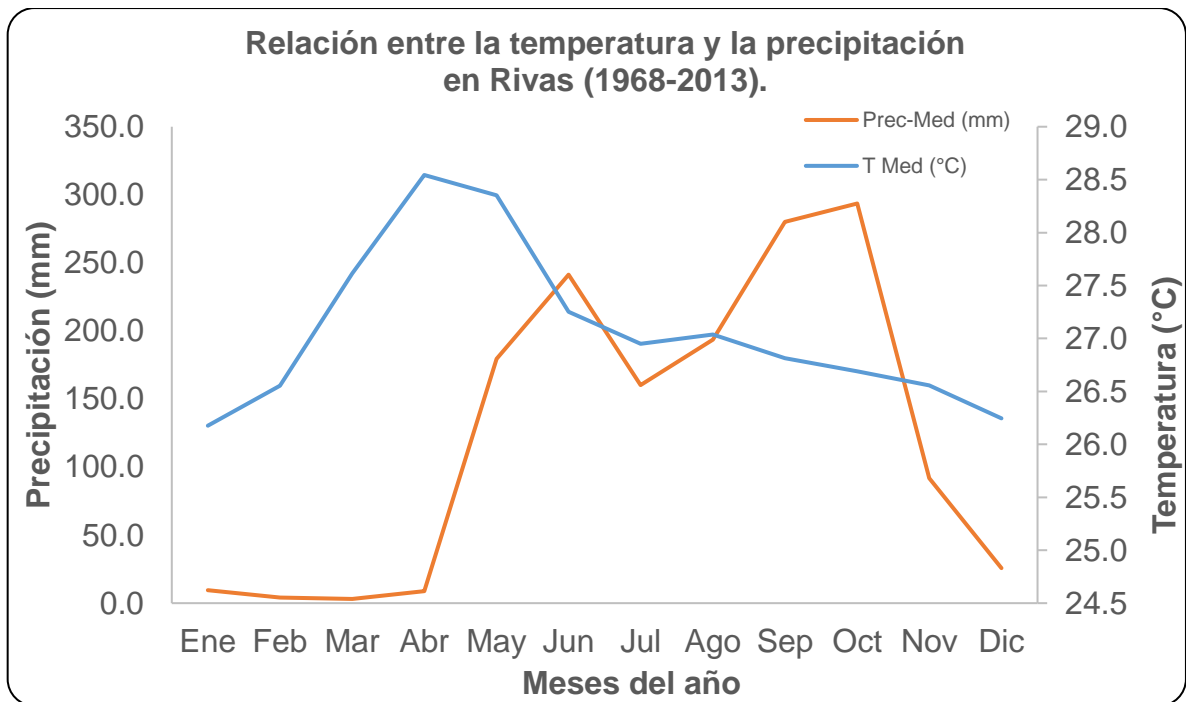


Gráfico 4. Comportamiento de la temperatura media mensual con respecto a la precipitación media mensual en la unidad de cuenca.

#### 4.5.3 Escorrentía

Se determinó la escorrentía en la unidad cuenca analizando los registros de las precipitaciones diarias del año 2013. Utilizando el método de la curva número se obtuvo un valor de coeficiente de escorrentía igual a 0.8081 lo que significa un volumen de escorrentía de 89.11 MMCA; esto incluye escorrentía superficial y subsuperficial. En los Anexos 8.3 se registran datos de la curva número.

#### 4.5.4 Medición de caudales en ríos

Los caudales se midieron en seis sitios seleccionados de la red hídrica (Foto 8). En el Anexo 8.4 se presentan registros de la determinación del caudal en la unidad de cuenca.

A través del Río Grande la unidad de cuenca descarga hacia el océano Pacífico, caudales que van desde 0.041 m<sup>3</sup>/s (febrero) hasta 1.821.0 m<sup>3</sup>/s (noviembre), (Figura 13, Tabla 17, Gráfico 5). En las observaciones realizadas del comportamiento del caudal en 30 días continuos, se observa una pérdida por el curso del río de 9.38 MMCA. Puede observarse que tan pronto como disminuyen

las lluvias en la unidad de cuenca, el flujo de los ríos también disminuye, hasta desaparecer totalmente.

A partir de septiembre (con el inicio de mayores precipitaciones) comienza a elevarse el caudal de los ríos, llegando a su máximo pico en noviembre, para posteriormente descender bruscamente en diciembre. El flujo base se observa importante hasta los primeros días de febrero, luego presenta un caudal mínimo en el Río Grande, durante el mes de marzo y abril. En la Tabla 17, se muestran los caudales medidos en cinco afluentes antes de su descarga al río principal.

Tabla 17. Caudales de los afluentes y del río principal ( $m^3/s$ ), unidad de cuenca del Río Papaturro.

Meses	Papaturro	Pedernal	Veracruz	Chorrera	Cascabel	Río Grande
12-oct-13	0.128	0.013	0.040	0.018	0.012	0.887
23-nov-13	0.452	0.070	0.167	0.054	0.174	1.821
15-dic-13	0.233	0.038	0.084	0.027	0.084	0.509
13-ene-14	0.018	0.025	0.041	0.019	0.013	0.206
23-feb-14	0.000	0.000	0.001	0.004	0.002	0.041



Foto 7. Determinación de la sección transversal y de la velocidad de flujo con molinete.

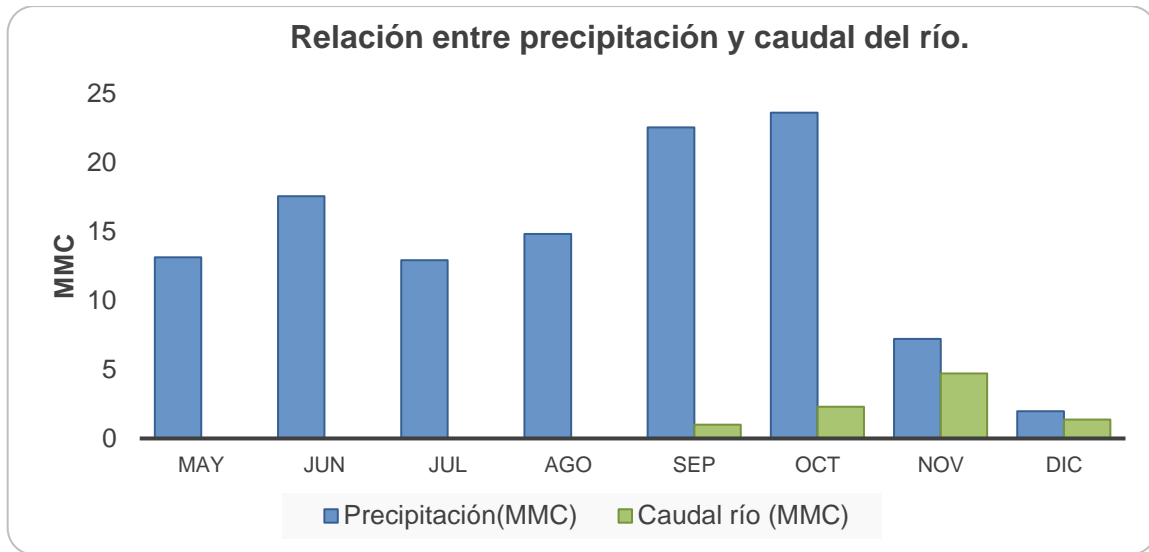


Gráfico 5. Relación entre la precipitación y caudal del río en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

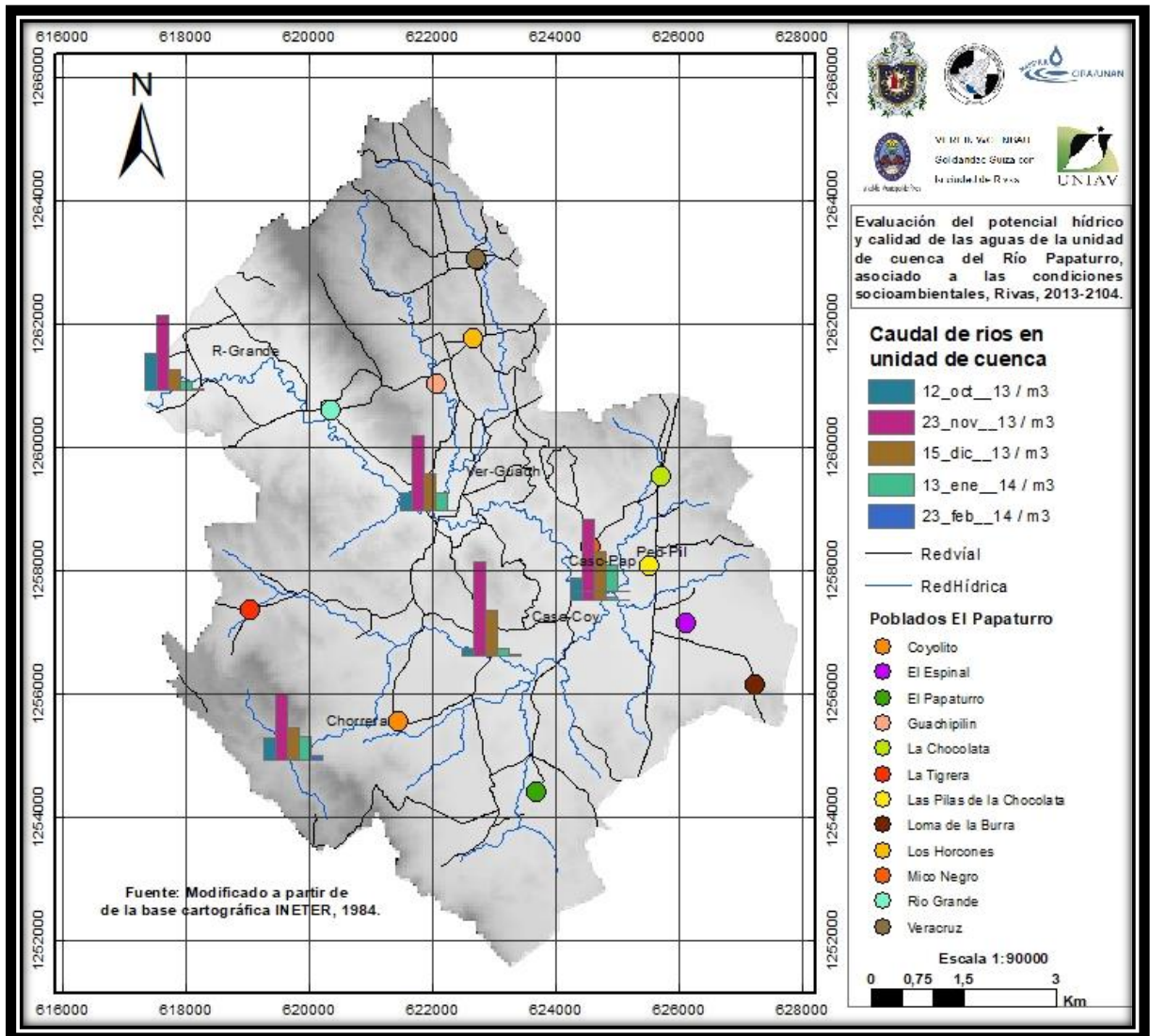


Figura 133. Caudales medidos ( $m^3/s$ ) en la unidad de cuenca.

## Interacción río-acuífero

Para determinar la interacción del río-acuífero, se instalaron seepagemeters y minipiezómetros (Foto 8 en los sitios punto 1 y 2 de afloros).



Foto 8. Instalación de seepagemeters en los sitios seleccionados.

En el punto 1 de aforo (0624710 E, 1257601 N) donde se unen los afluentes El Pedernal, Las Pilas, El Madroñal con El Cascabel y El Papaturre, en el sector de Mono Negro; el gradiente hidráulico es de 0.03 y una conductividad hidráulica de  $1.97 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . El resultado es que el acuífero alimenta al río.

En el punto 2 de aforo (621944 E, 1258956 N) en el sector de Guachipilín, donde se unen los afluentes Guachipilín y Veracruz con el Río Grande; el gradiente hidráulico es de 0.08, presenta conductividad hidráulica de  $4.33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; y el acuífero sigue siendo influente al río.

En el punto 3 de aforo (617798 E, 1260928 N) en el sector de La Junta, se realizó la instalación de un minipiezómetro (Foto 9 a y b), obteniendo un gradiente de 0.06 y conductividad hidráulica de  $1.94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Se observa que desde Río Grande hasta Las Juntas el acuífero se alimenta del agua del río.

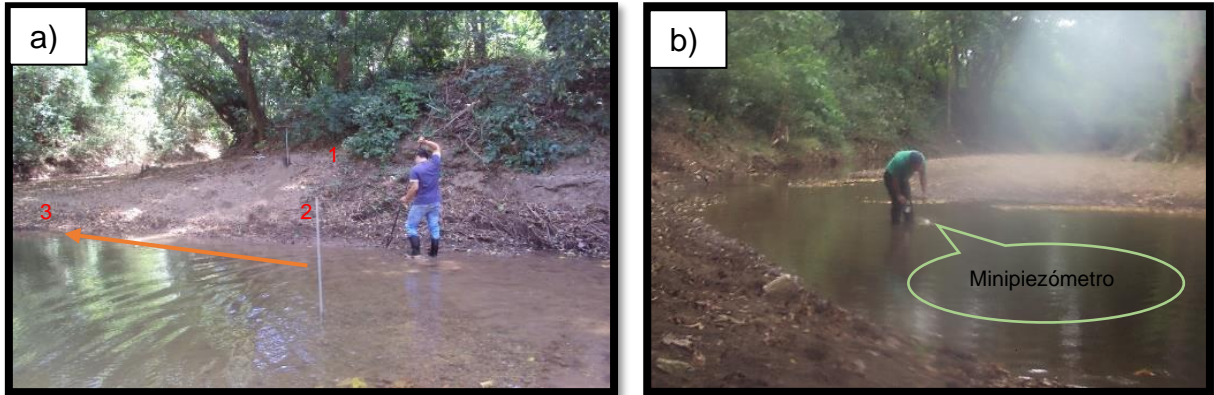


Foto 9. Instalación de minipiezómetros; en punto de aforo 1 (a), punto de aforo 2 (b).

Como resultado de estas instalaciones, se concluye que en los primeros dos puntos el río aporta el agua al acuífero; y que en el último punto el acuífero es el que le aporta el agua al río, manteniendo de esta manera un caudal base en ese sector del río.

## 4.6 Hidrogeología

### 4.6.1 Piezómetro

Del inventario de pozos que se realizó para la unidad de cuenca (Anexo 8.6), se seleccionó la red de monitoreo mensual de niveles de agua, con la cual se construyó el mapa piezométrico (Foto 11). En el mapa de isopiezas (Figura 14), se evidencia las direcciones de flujo y las anomalías causadas por el aprovechamiento del agua.

Se observa un descenso en los niveles de agua medidos al inicio de abril 2013, con respecto a los medidos al final de enero 2014. El 59% de los pozos tienen profundidades menores a 10m y el 41% restante, tienen profundidades mayores a 10m (Anexo 8.5).

En el mapa de isopiezas resultante se identifica que en general, el acuífero aporta el agua que drenan hacia corrientes superficiales que son afluentes del Río Grande; aunque se puede observar que en la zona de La Tigra el río es quien aporta al acuífero (Figura 14).



En la zona de Nevada, la Tigrera y Horcones; debido a que la profundidad del acuífero es inferior a los 10m, y está próxima a la zona de contacto del basamento (Formación Brito), muchos de estos pozos se secan, ya que el gradiente hidráulico en la Tigrera es de 0.047, en los Horcones de 0.029 y en Nevada es de 0.027 lo cual favorece la descarga hacia el río y menor reserva del acuífero.



Foto 100. Gira de reconocimiento, inventario de pozos y monitoreo de aguas subterráneas en la unidad de cuenca del Río Papaturo.

Aplicando la Ley de Darcy se determinó que el volumen agua subterránea descargando es de 26.2 MMCA.

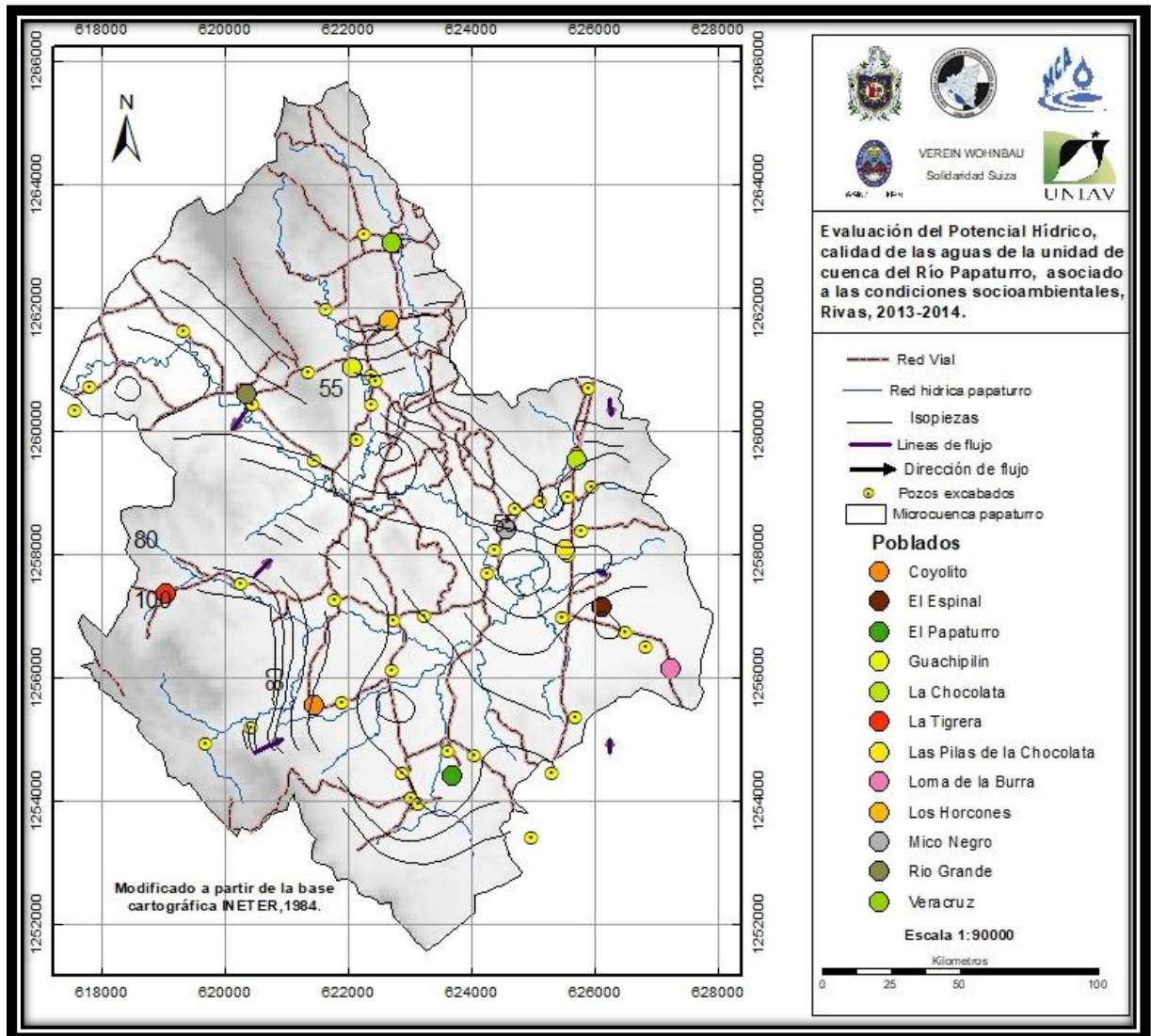


Figura 144. Isopiezas y dirección de flujo subterráneo en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

#### 4.6.2 Recarga en el acuífero

##### Análisis de la infiltración

De acuerdo con los resultados de las pruebas de infiltración, la zona alta por encima de los 120 msnm presenta un promedio de infiltración de 224 mm/h, la zona media que está entre los 70 msnm y menores a 120 msnm, presenta infiltraciones promedios de 161 mm/h, y la zona baja con elevaciones menores a 70 msnm tienen infiltraciones promedios de 96 mm/h, esta zona baja generalmente está formada de vertisoles utilizados para la ganadería y la compactación producida por el pisoteo limita la infiltración en algunos casos. Los coeficientes de infiltración encontrados

están en el rango de 0.73 a 1.24 relativamente altos. En la Foto 7, se muestra la instalación de los infiltrómetros de doble anillo y en la Figura 13, se observa la ubicación y el comportamiento de la infiltración en unidad de cuenca.



Foto 11. Pruebas de infiltración con doble anillo (instalación y lectura).

El 20% del suelo tienen texturas arcillosas, 67% de los suelos son de textura franca con el subsuelo arcilloso y el 13% son coluviales y aluviones de textura franca a franca arenosa. Debido al tipo de textura predominante del suelo y a su cobertura, su rango de infiltración es de moderada a alta. Utilizando el método de recarga hídrica de suelo, nos da una infiltración de 102.43 MMCA; ahora si lo comparamos los resultados utilizando el método de la curva número para el año 2013, se determina una infiltración efectiva del **19.20%** equivalente a 21.16 MMCA en la

unidad de cuenca, cabe destacar que en este año se presentaron alteraciones en la duración e intensidad de las lluvias producto del cambio climático.

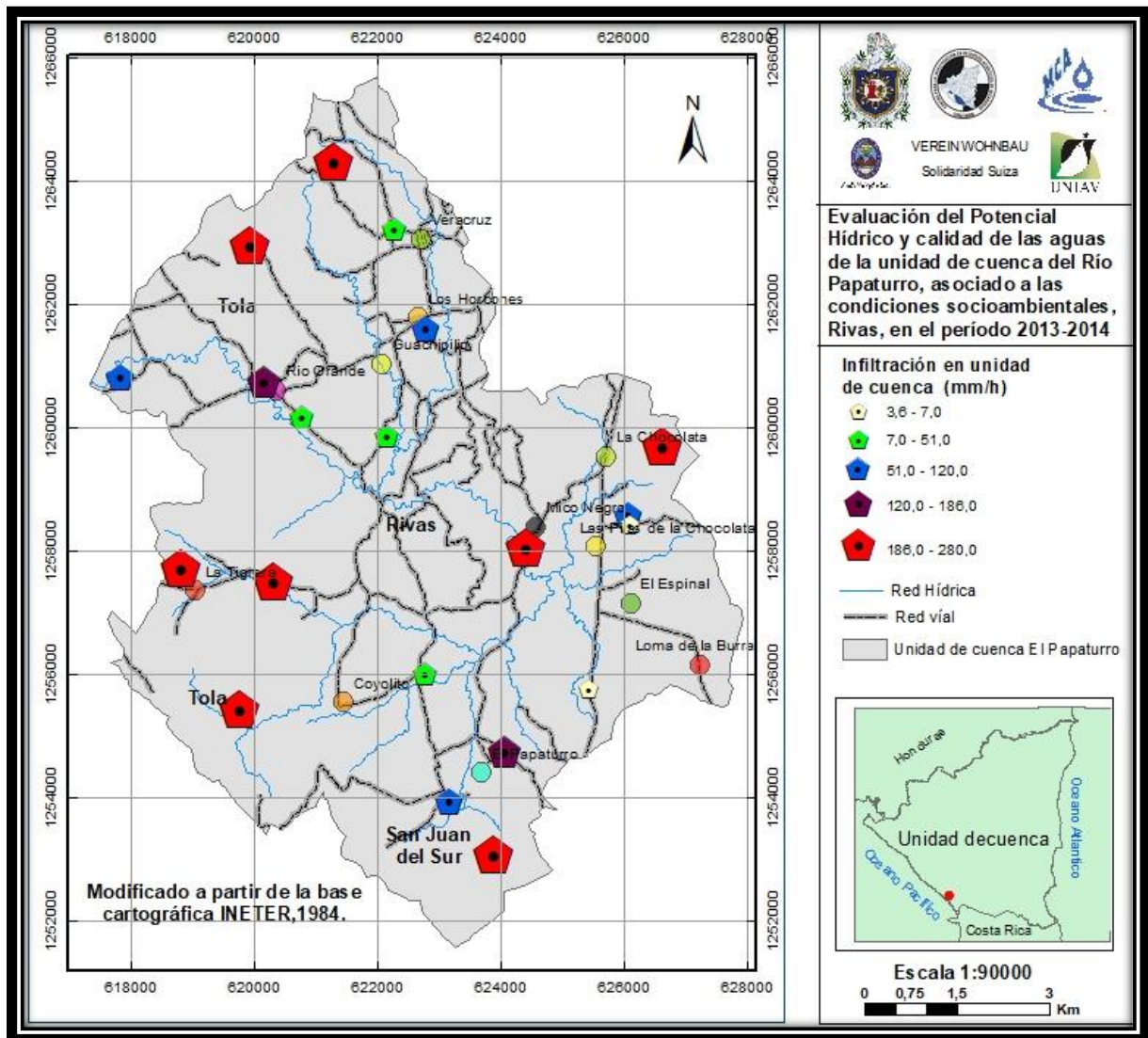


Figura 15. Ubicación y tasa de infiltración en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Tomando en cuenta los valores de infiltración encontrados en la zona alta, media y baja de la unidad hidrográfica, esta presenta una alta capacidad de recarga.

Utilizando la información obtenida de las pruebas de infiltración y aplicando el método de recarga hídrica de suelo (Schosinsky & Losilla, 2006), en la parte alta de la unidad de cuenca se obtuvo una recarga de 5.5 MMCA, en la parte media 8.0

MMCA, y en la parte baja de 13.2 MMCA, para un total en toda la unidad hidrográfica de 26.7 MMCA (Figura 16). Los meses en que ocurre la recarga son de julio a octubre. En la parte alta se presenta una pendiente promedio del 33% y suelos de franco a franco-arcillosos, y en todos los casos los valores de los coeficientes de infiltración son superiores a uno. Prácticamente la recarga potencial es del 22.2% del agua que se precipita durante el año.

Al utilizar los registros de precipitación y temperatura de los últimos 16 años, aplicando el método de recarga hídrica de suelo (Schosinsky & Losilla, 2006), se alcanza un valor de precipitación que escurre de 13.97 MMCA, en la unidad hidrográfica. En la zona alta de la unidad de cuenca se tienen 2.88 MMCA, en la zona media 4.18 MMCA y en la zona baja 6.91 MMCA de escorrentía superficial.

#### **4.6.3 Zonas de recarga**

Tanto en la parte alta, media y baja de la unidad hidrográfica, la recarga tiene características similares; aunque las condiciones de pendiente, textura, cobertura vegetal e infiltración básica sean diferentes, en todas las zonas se recarga alrededor de 0.33 MMCA/km<sup>2</sup>. En la Figura 16 se muestran las zonas de recarga determinadas.

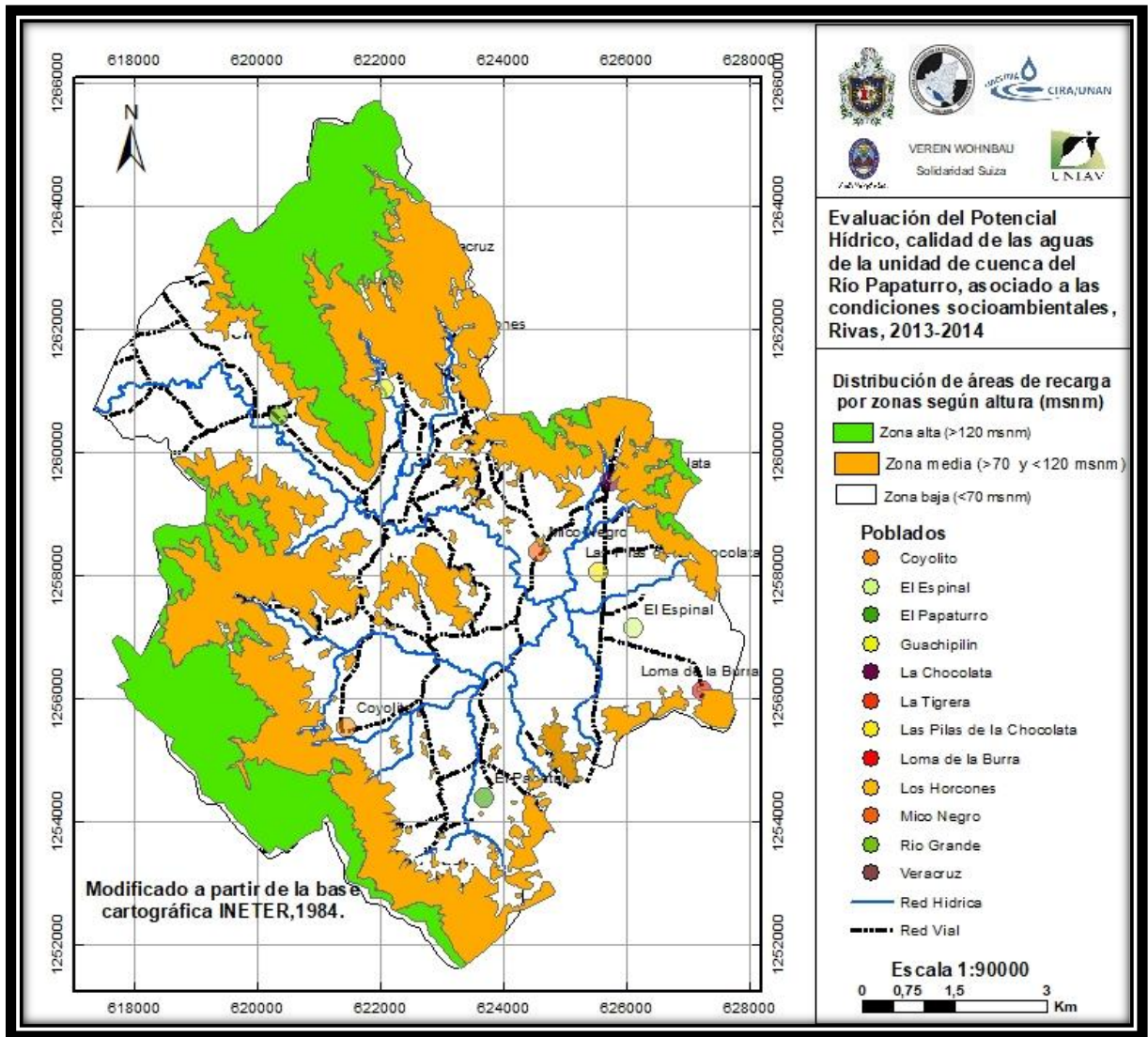


Figura 16. Distribución del área de recarga en las zonas alta, media y baja de la unidad de cuenca.

#### 4.6.4 Parámetros hidráulicos del acuífero

Con los datos registrados durante la prueba de bombeo del pozo perforado número cinco (PP-5) en Los Horcones (622811E, 1261775N), se determinó la transmisividad por el método de Jacob, obteniéndose un valor de  $73.63 \text{ m}^2\text{d}^{-1}$  y considerando un espesor del acuífero de 20 m, la permeabilidad obtenida es de 3.68 m/d,

Un nuevo pozo fue perforado en la comarca de Los Horconcitos [PP-4; (622842 E, 1262136 N y 87 msnm)] para abastecer a 130 familias, Se realizó una prueba de bombeo (7 de abril 2017), la cual fue procesada por el método de Jacob, determinándose una transmisividad de 12.75 m<sup>2</sup>/d y con un espesor de 20m, una permeabilidad de 0.64 m/d. Las transmisividades menores de 500 m<sup>2</sup>/d se clasifican como baja (Fenzl, 1989). En la Foto 12 se observa un momento de la perforación del pozo, el perfil estratigráfico y la prueba de bombeo. Los estratos se reportan en la Tabla 18.



Foto 12. Perforación, estratigrafía y prueba de bombeo en pozo N°4 Horconcitos.

Tabla 18. Estratos de pozo perforado (PP4) Los Horconcitos, los números entre paréntesis indica el estrato, en el gráfico a continuación.

No.	Profundidad de perforación	Características del estrato	Estratigrafía
1	0 a 5 ft	Tierra vegetal	
2	De 5 a 15 ft	Tierra arcillosa color café	
3	De 15 a 25 ft	Cascajo color café	
4	De 25 a 30 ft	Arcilla arenosa color gris	
5	De 30 a 65 ft	Cascajo color café oscuro (acuífero)	
6	De 65 a 85 ft	Roca consolidada color azul	

7	De 85 a 90 ft	Roca fracturada color gris (acuífero pequeño)	
8	De 90 a 120 ft	Cascajo color café oscuro (acuífero pequeño)	
9	De 120 a 145 ft	Roca consolidada color gris	
10	De 145 a 150 ft	Amalgama de bolones con arcilla color gris	
11	De 150 a 160 ft	Roca fracturada color gris (acuífero mínimo)	
12	De 160 a 250 ft	Roca consolidada color azul, Formación Brito.	

Fuente: informe de prueba de bombeo, (Taller Electromecánico, 2017).



#### 4.7 Extracciones por bombeo en el río

A lo largo del Río Grande (desde el sector de Mono Negro hasta La Junta; Foto 13, Figura 17) se ubican 18 bombas extractoras de agua de 1.5" de diámetro y cada una de ellas bombea 3.33 litros por segundos; para extraer un total de 64735 m<sup>3</sup>/año. Esta extracción la realizan de noviembre a abril (periodo crítico para los cultivos), con un bombeo de seis horas diarias. El agua bombeada se utiliza para regar cultivo de plátano o para fabricar ladrillos.



Foto 13. Sitios de extracción de agua de río utilizando bombeo.

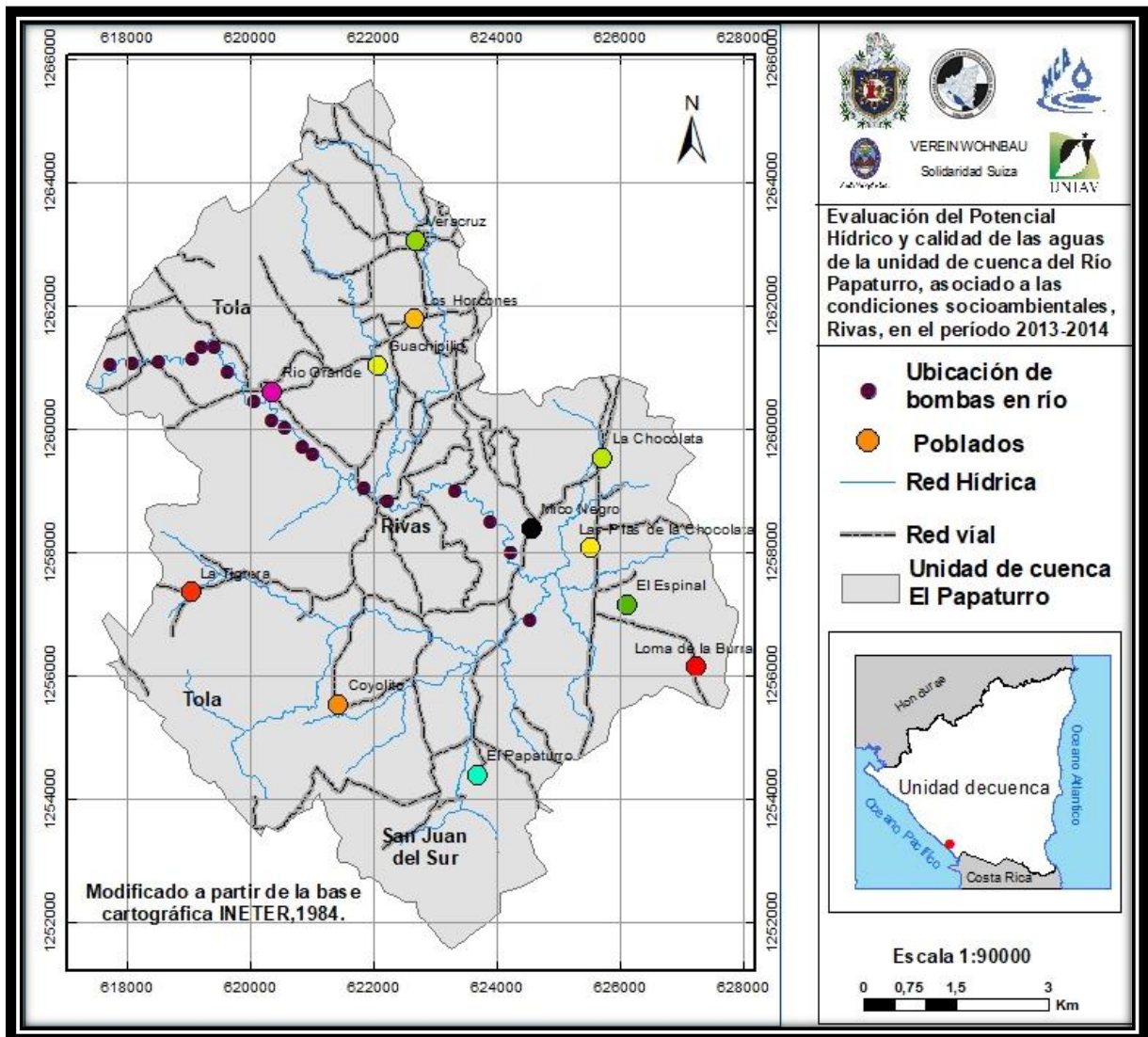


Figura 17. Ubicación de bombas de extracción sobre Río Grande.

En los meses en que el río deja de fluir, el lecho se convierte en norias para continuar con la extracción. Se calcula que en este período (desde 01 febrero hasta el 15 de mayo) se extraen alrededor de unos 32378 m<sup>3</sup> de agua.

Las estrategias de extracción del recurso hídrico en Nicaragua han priorizado el uso de agua subterránea, la cual representa el 67% para uso agrícola y ganadero y sólo el 15% para uso doméstico en la región del pacífico de Nicaragua (OPS-OMS-ENACAL, 2004). De la extracción total de agua en el año 2008, el sector agropecuario ha consumido el mayor volumen de agua (83%), seguido por el sector

industrial (14%) y luego por el sector doméstico (3%). Este mismo patrón de distribución de consumo de agua se ha estimado para los próximos años (IANAS, 2012).

#### **4.8 Balance Hídrico**

Como la fuente principal de recarga son las precipitaciones anuales, las que aportan 116.4 MMCA; a partir de ellas, y utilizando el método de (Schosinsky & Losilla, 2006) para recarga de suelo, se obtuvo una recarga potencial de 26.77 MMCA.

La mayor parte del agua se pierde por evapotranspiración (75.66 MMCA), precipitación que escurre (13.97 MMCA), caudal del río Grande durante el tiempo que mantiene su curso (10.85 MMCA), estos valores fueron encontrados considerando el caudal continuo, por treinta días de cada mes que el río mantiene su curso.

Tomando en cuenta el gasto de agua por cada familia en sus distintas actividades (agua de pozo 0.48MMCA), el gasto en el bombeo para cultivos (agua de ríos 0.066MMCA), lo que se pierde por escorrentía, evapotranspiración y el caudal que sale de la cuenca; hay un déficit por precipitación de 11.48 MMCA (Tabla 19).

La recarga potencial en los suelos tanto francos como arcillosos con precipitaciones de 1438 mm/año, es la descrita anteriormente, pero debido a que la concentración de las lluvias se da en períodos cortos, alta intensidad y con baja frecuencia, mucha de esta agua se pierde por escorrentía, tal como se describe en (Schosinsky, 2006). Otro aspecto determinante en la recarga y que permite mantener el flujo de las fuentes de agua, es la cobertura vegetal. En las partes donde la cobertura vegetal supera el 40%, se mantiene el curso de agua, en los meses de enero a febrero; mientras que en aquellas que están por debajo del 20% de cobertura vegetal se pierde el curso de agua en menor tiempo. El proceso de retención que provoca la cobertura es muy importante para que el agua se infiltre

con mayor facilidad, y de esta manera se recargue el acuífero. También se

<b>Componentes del balance hídrico</b>	<b>Volumen de agua (MMCA)</b>
<b>Precipitación Acumulada</b>	116.4
<b>Salidas</b>	
Evapotranspiración real	75.66
Precipitación que escurre	13.97
Volumen de agua que sale a través del río	10.85
Recarga potencial	26.77
Gasto de agua por la población (hogar)	0.147
Gasto de agua por abreviar animales	0.341
Gastos para cultivos	0.082
Gasto de agua por extracción del río	0.06
<b>Disponibilidad de agua en la unidad de cuenca</b>	<b>-11.48</b>

disminuye la evaporación directa provocada por los rayos del sol.

Tabla 19. Componentes del balance hídrico en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Si tomamos en cuenta una dotación de 75 l/hab/día (NTON, 1999), partiendo en el 2013 de una población de 3783 habitantes, y un crecimiento poblacional que varía del 2013 al 2030 de 0.8% a 0.6 % (INIDE-MAGFOR, 2013), el consumo de agua varía de 0.104 MMCA a 0.115 MMCA. Lo cual no afectaría en nada la disponibilidad de agua en la unidad de cuenca, para consumo humano. En consulta con la población ellos dan a conocer que el consumo de agua es de 0.147 MMCA. Sin embargo, hay que considerar que para las comunidades de La Tigra, Nevada y Los Horcones, al estar asentadas sobre el basamento del acuífero, su disponibilidad de agua es menor, y ésta problemática se acentúa más en La Tigra, por ser una comunidad distante y de difícil acceso; mientras que en Nevada y Los Horcones son suministrados con agua a través de pipas que proveen las Alcaldías de San Juan del Sur y de Rivas, respectivamente. Es necesario considerar otros mecanismos o estrategias para dar respuesta efectiva y permanente a estas comunidades, que no cuentan con el recurso a lo largo del año.

El déficit de agua se compensa con la descarga subterránea calculada en 26.2MMC anuales.

#### 4.9 Calidad del Agua

En el área de estudio se colectaron 11 muestras de aguas subterráneas y 4 muestras de aguas superficiales en dos periodos (noviembre 2013 y febrero 2014), para evaluar la calidad físico-química y microbiológica (a través de cuatro indicadores) de éstas. En la Foto 14, se ilustran las etapas para el procedimiento de la colecta de las muestras de agua subterránea y superficial; así como también parte del protocolo de muestreo y custodia de las muestras. Estas muestras fueron analizadas en los laboratorios de aguas naturales y de microbiología del CIRA/UNAN-Managua, siguiendo los protocolos de campo y custodia de las muestras. En la Figura 18 se describe su distribución en el territorio en estudio.



Foto 14. Colecta de muestras de agua superficial y subterránea, y medición de parámetros físico-químicos de campo.

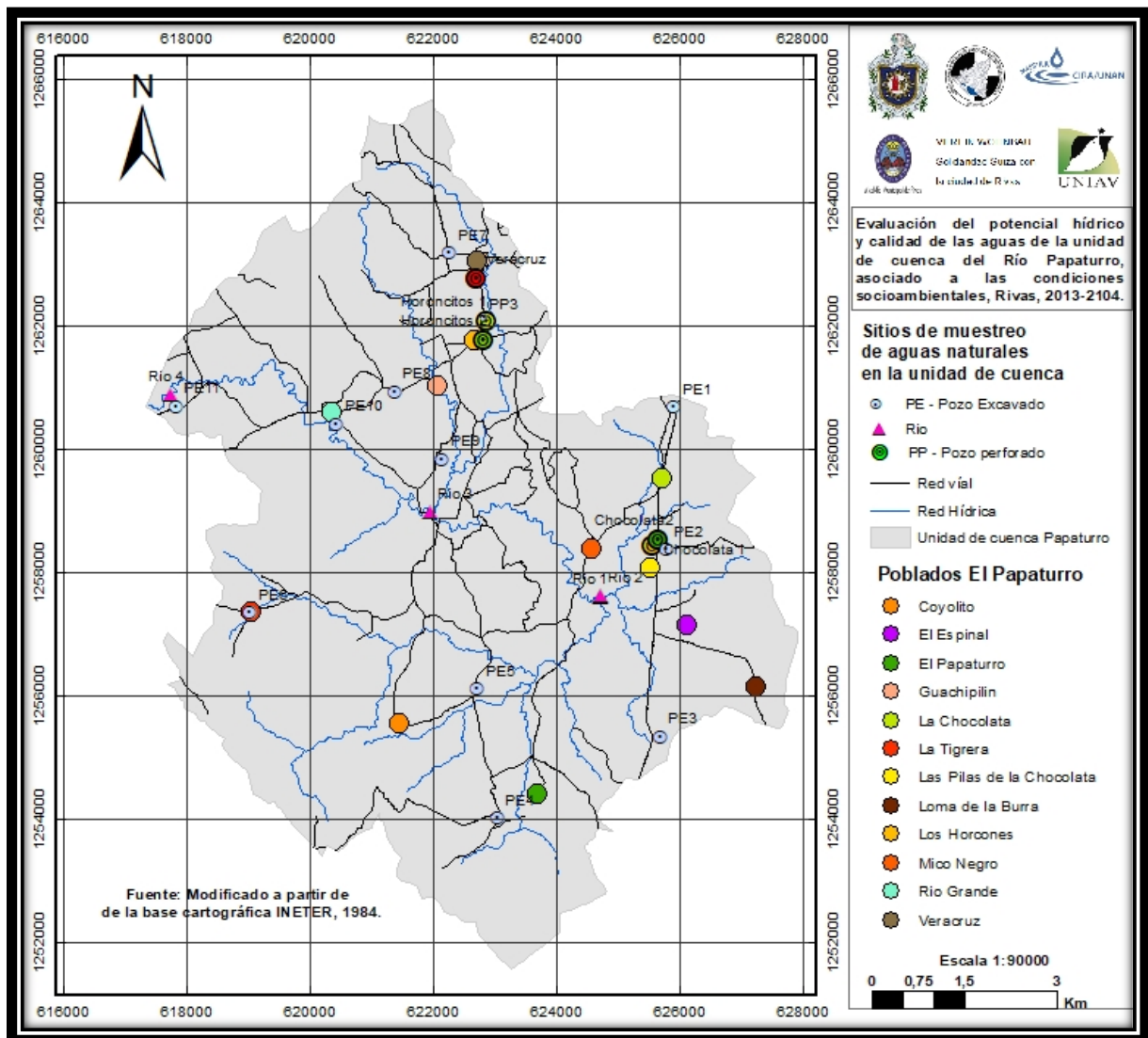


Figura 18. Ubicación de los sitios de muestreo de aguas superficiales y subterráneas (noviembre 2013 y febrero 2014).

#### 4.9.1 Parámetros físico-químicos de campo

Para el monitoreo de las aguas subterráneas se seleccionaron 43 pozos, tomando en cuenta su uso y distribución en la unidad de cuenca, estos parámetros fueron: conductividad eléctrica (CE), pH y sólidos totales (Foto15; Anexo 8.5).



Foto 15. Medición de parámetros de campo en agua subterránea, en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

La conductividad eléctrica, oscila entre 470-1200 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), lo cual está fuera del rango de la norma (CAPRE, 1994) y de la Norma Técnica para el Diseño y Potabilización del Agua (NTON, 1999) que es de 400 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Se observan variaciones de 200 a 300  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en la conductividad eléctrica del agua durante el año, la cual puede estar influenciada por (los períodos húmedo y seco) y por el material geológico (material rico en calcio y sodio). En la Figura 19 se presentan las variaciones de conductividad eléctrica en el período de mayo-junio del año 2013 en toda la unidad de cuenca; las partes en blanco en la figura se deben a que en esa área no hay pozos. De la misma manera el contenido de sales disueltas tiende a variar en el orden de 20  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , obteniendo rangos entre 212-617  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  que es característico de la Formación Rivas (Fenzl, 1989).

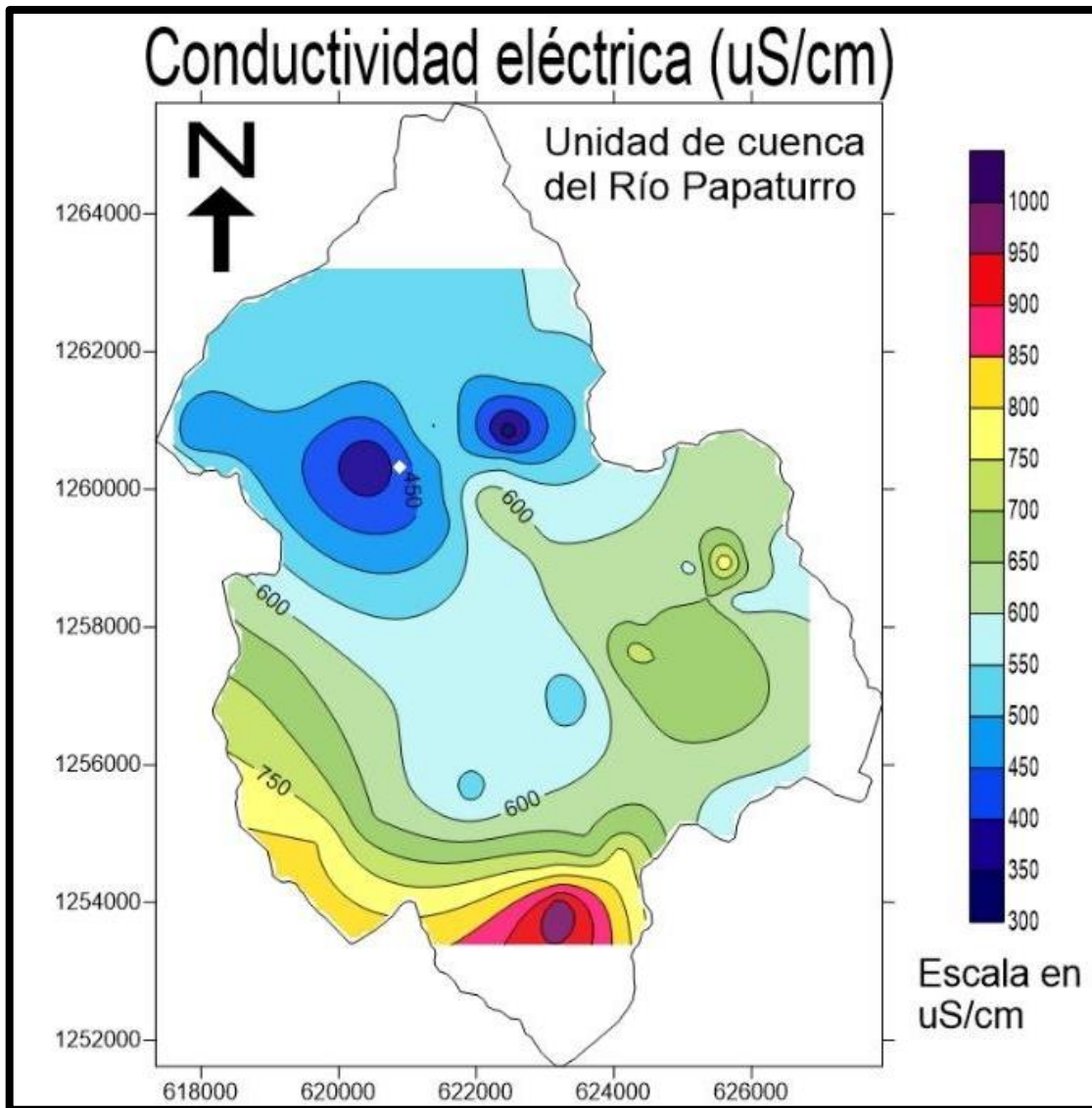


Figura 19. Mapa de isóneas de conductividad eléctrica.

El pH tiende a ser estable durante todo el año, salvo ligeros cambios producto del aumento de bicarbonatos provenientes del material de origen sedimentario. Los rangos de pH, en la unidad hidrográfica oscilan entre 7.10 – 7.40 unidades de pH, para aguas subterráneas (Gráfico 6), salvo el pozo 10, el cual presenta un valor de 6.8 unidades de pH en el período húmedo; producto probablemente de la fermentación de materia orgánica (hojas y raíces). Como puede observarse los valores de pH en el acuífero y los ríos se encuentran por debajo de las 8.5 unidades de pH, que es límite máximo recomendado por las normas (CAPRE, 1994), (NTON, 1999).



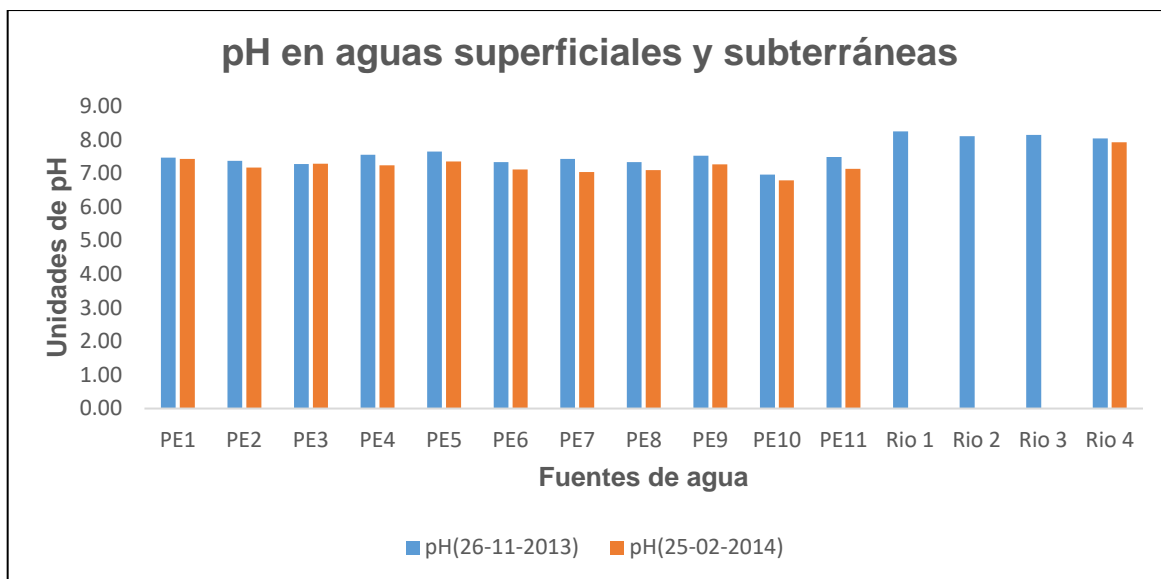


Gráfico 6. Valores de pH en la unidad de cuenca Río Papaturro (26-11-2013 y 25-02-2014).

El rango de oxígeno disuelto en los ríos está en el rango de 3.9 a 4.8 mg·l<sup>-1</sup> y entre el 52 y 61% de saturación OD. Los ríos transportan cierta carga orgánica por los arrastres de estiércol animal y otros residuos que consumen el oxígeno disuelto (Anexo 8.4, Tablas 39 - 41).

#### 4.9.2 Calidad físico-química del agua subterránea y superficial

Con los resultados de los análisis físico-químicos, se determinó la composición (tipo) hidroquímico del agua utilizando los datos de la Tabla 20; se evaluó su calidad físico-química para consumo humano (Tablas 20. 21 y 22), y su calidad para irrigación; siendo éstas las dos principales actividades socioeconómicas presentes en el área de estudio.

#### Composición hidroquímica del agua

El tipo hidroquímico predominante en las aguas subterráneas de la unidad hidrográfica es el bicarbonatado cálcico; con excepción en el sector de Bernardino que es bicarbonatada clorurada cálcica. En la Figura 20, se muestra el Diagrama de Piper con la clasificación hidroquímica para ambas épocas de muestreo, (Fenzl, 1989) menciona que en la zona de Rivas las características hidroquímicas de las

aguas son predominantemente bicarbonatada cálcica; seguida de las bicarbonatadas sódica. La clasificación hidroquímica de las aguas de los ríos, es del tipo bicarbonatada cálcica. El tipo hidroquímico no experimenta cambios en ambos periodos de muestreo.

Tabla 20. Resultados analíticos de concentraciones de cationes y aniones mayores en las aguas superficiales y subterráneas de la unidad de cuenca del Río el Papaturre.

Concentraciones (mg·l <sup>-1</sup> )														
Fechas	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14
Fuente	Calcio (Ca <sup>+2</sup> )		Magnesio (Mg <sup>+2</sup> )		Sodio (Na <sup>+1</sup> )		Potasio (K <sup>+1</sup> )		Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )		Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )		Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	
NTON	100 mg·l <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>		30 mg·l <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>		25 mg·l <sup>-1</sup>		10* mg·l <sup>-1</sup>		SR		25 mg·l <sup>-1</sup>		25 mg·l <sup>-1</sup>	
PE1	280.5	282.5	56.7	62.9	21.9	24.9	0.9	0.8	414.9	414.9	23.8	22.2	20.4	10.5
PE2	304.5	252.5	40.0	92.5	19.3	19.1	0.6	0.3	368.6	368.6	42.7	15.1	19.0	4.9
PE3	232.5	242.5	58.8	68.8	20.5	21.8	0.4	0.2	373.4	366.6	11.0	9.1	4.9	5.0
PE4	412.8	370.8	66.7	60.8	48.7	44.9	0.6	0.3	383.2	436.9	152.0	70.5	44.1	63.1
PE5	226.8	242.5	50.0	30.4	25.7	25.2	0.4	0.3	349.0	346.6	19.3	14.1	7.8	5.6
PE6	342.3	360.8	45.8	45.8	25.9	26.5	0.6	0.4	427.1	456.4	27.0	23.2	21.4	25.5
PE7	196.0	202.5	64.6	62.9	17.3	18.0	1.2	1.2	336.8	336.8	7.7	5.0	0.1	1.2
PE8	204.3	214.5	83.3	62.9	24.3	24.2	0.4	0.6	361.2	346.6	18.3	15.1	4.9	8.8
PE9	264.0	261.5	29.2	50.0	18.2	18.6	0.9	1.0	390.5	383.2	10.6	2.0	3.4	5.3
PE10	94.8	92.3	81.3	79.2	18.4	17.8	0.5	0.4	197.7	195.3	26.0	34.0	2.9	2.0
PE11	144.3	116.3	87.5	105.4	20.2	20.5	1.1	1.3	292.9	283.1	11.6	13.0	6.7	5.3
PP3	SD	220.5	SD	60.8	SD	19.1	SD	0.94	SD	361.2	SD	14.2	SD	3.5
Río 1	251.5	SD	58.3	SD	23.4	SD	5.7	SD	373.4	SD	24.1	SD	11.3	SD
Río 2	262.0	SD	64.6	SD	23.1	SD	7.1	SD	390.5	SD	33.8	SD	3.5	SD
Río 3	206.3	SD	66.7	SD	18.0	SD	4.3	SD	346.6	SD	12.5	SD	5.4	SD
Río 4	227.0	200.5	50.0	80.8	19.8	24.2	6.3	4.4	350.3	383.2	16.0	12.0	7.5	6.8

PE: pozo excavado. SD: sin datos. SR: sin referencia. Los valores en rojo sobrepasan la norma. \*: valor máximo sugerido.

Nota: Los datos de calcio y magnesio se deben expresar en forma de carbonato de calcio; por tanto, el contenido de Ca se multiplicó por el factor 2.5; y el magnesio por el factor 4.167 para convertirlo a carbonato de calcio (NTON, 1999).

Tabla 21. Resultados de laboratorio, parámetros físicos, aguas superficiales y subterráneas unidad de cuenca del Río Papaturre (noviembre 2013 y febrero 2014).

Fecha	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14
Fuente	Turbidez (UNT)		pH (unidades)		CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )		STD ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		Color V. ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Pt-Co)		Hierro total ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		Sílice ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )	
<b>NTON</b>	<b>1-5*</b>		<b>6.5 a 8.5</b>		<b>400</b>		<b>1000*</b>		<b>1-15*</b>		<b>0.3*</b>		<b>SR</b>	
PE1	1.8	0.9	7.5	7.43	730	783	460.9	451.1	5	5	<ld	<ld	58.7	53.7
PE2	2.5	0.9	7.4	7.18	744	672	462.2	393.0	5	5	0.03	0.58	51.1	51.1
PE3	0.3	0.5	7.3	7.29	601	651	389.1	389.0	5	5	0.09	<ld	55.7	54.1
PE4	2.1	0.8	7.6	7.24	1315	1147	684.9	616.0	5	5	0.02	<ld	58.7	58.5
PE5	2.6	1.3	7.7	7.36	589	628	398.1	386.4	15	10	<ld	0.02	68.0	64.9
PE6	4.8	2.8	7.3	7.12	772	879	484.5	503.0	5	5	0.29	0.16	49.9	52.3
PE7	0.9	0.7	7.4	7.04	514	557	352.1	356.8	5	5	0.04	<ld	63.3	67.0
PE8	1.4	0.7	7.3	7.1	599	633	387.4	369.5	5	5	<ld	<ld	56.3	45.3
PE9	0.4	1.15	7.5	7.27	610	659	399.4	381.9	5	5	0.03	0.04	57.5	47.8
PE10	0.8	1.0	7.0	6.8	385	383	289.2	285.1	5	5	<ld	<ld	82.4	75.8
PE11	3.7	1.7	7.5	7.14	477	493	368.5	352.9	5	5	0.30	0.03	103.1	98.5
PP3	SD	0.4	SD	7.35	SD	596	SD	385.7	SD	5	SD	0.06	SD	62.6
Río 1	4.4	SD	8.3	SD	634	SD	409.7	SD	5	SD	0.13	SD	41.4	SD
Río 2	1.8	SD	8.1	SD	685	SD	424.0	SD	5	SD	0.11	SD	37.4	SD
Río 3	3.2	SD	8.2	SD	544	SD	376.0	SD	15	SD	0.20	SD	65.1	SD
Río 4	4.4	3.8	8.0	7.93	571	641	375.9	400.3	15	20	0.04	0.36	50.9	63.5

Fuente: datos obtenidos de los análisis de agua (pozos y ríos). PE: pozo excavado. SD: sin datos. ld: límite de detección  
\*: valor máximo sugerido.

Tabla 22. Concentraciones de dureza total, Alcalinidad total, y especies nitrogenadas en el agua superficial y subterránea de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Concentraciones (mg·l <sup>-1</sup> )										
Fechas	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14
Fuente	Dureza Total		Alcalinidad Total		Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )		Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> )		Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	
NTON	400		SR		25-45*		0.1-1*		0.05-0.5*	
PE1	336	344	340	340	5.4	6.9	0.010	0.007	0.021	0.161
PE2	342	302	302	302	16.9	8.1	0.003	0.016	0.161	0.144
PE3	290	308	306	300	6.0	5.9	0.007	0.007	0.049	0.085
PE4	478	430	314	358	11.2	0.7	0.020	0.003	0.125	0.021
PE5	275.8	270	286	284	2.6	2.3	0.007	0.013	0.048	0.024
PE6	386.9	384	350	374	1.8	0.6	0.007	<ld	0.076	0.023
PE7	259.3	264	276	276	3.0	2.7	0.007	<ld	0.026	0.041
PE8	286	276	296	284	4.0	4.4	0.007	<ld	0.064	0.022
PE9	292.2	304	320	314	4.2	4.2	0.010	0.003	0.022	0.048
PE10	174.9	170	162	160	4.3	3.3	0.010	0.007	0.008	0.015
PE11	230.5	220	240	232	3.1	3.4	0.063	0.003	0.039	0.036
PP3	SD	280	SD	296	SD	4.9	SD	0.007	SD	0.050
Rio 1	308.7	SD	306	SD	5.5	SD	0.003	SD	0.117	SD
Rio 2	325.2	SD	320	SD	6.8	SD	0.007	SD	0.094	SD
Rio 3	271.7	SD	284	SD	1.7	SD	0.023	SD	0.076	SD
Rio 4	276.0	280	287	314.0	0.4	1.3	0.010	0.003	0.036	0.059

PE: pozo excavado. SD: sin datos. ld: límite de detección. SR: sin referencia. Datos en rojo: sobrepasan la norma.

\*: valor máximo sugerido.

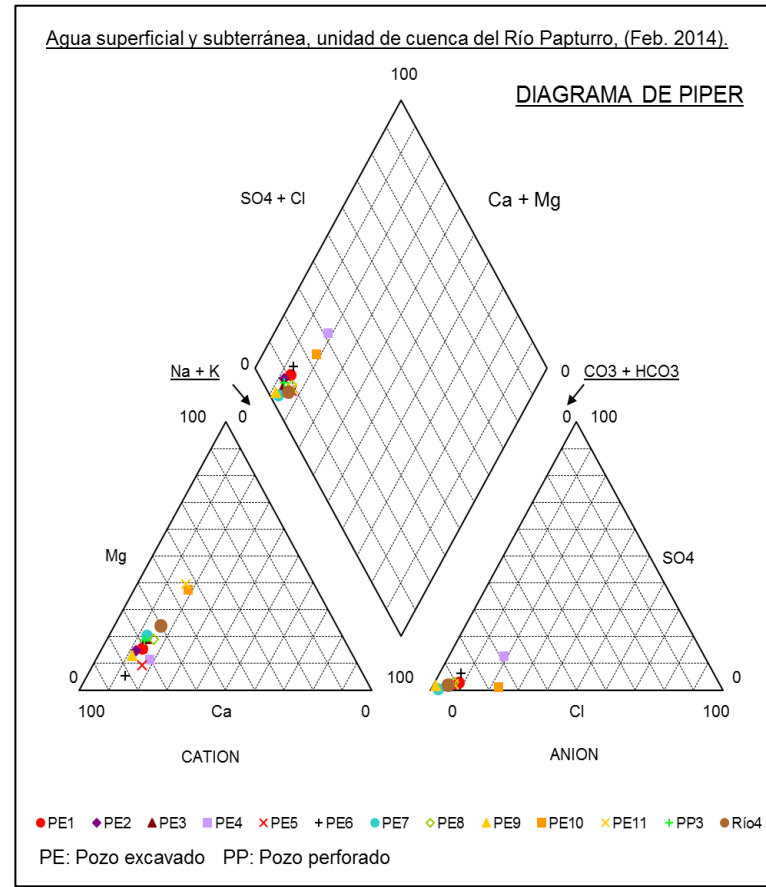
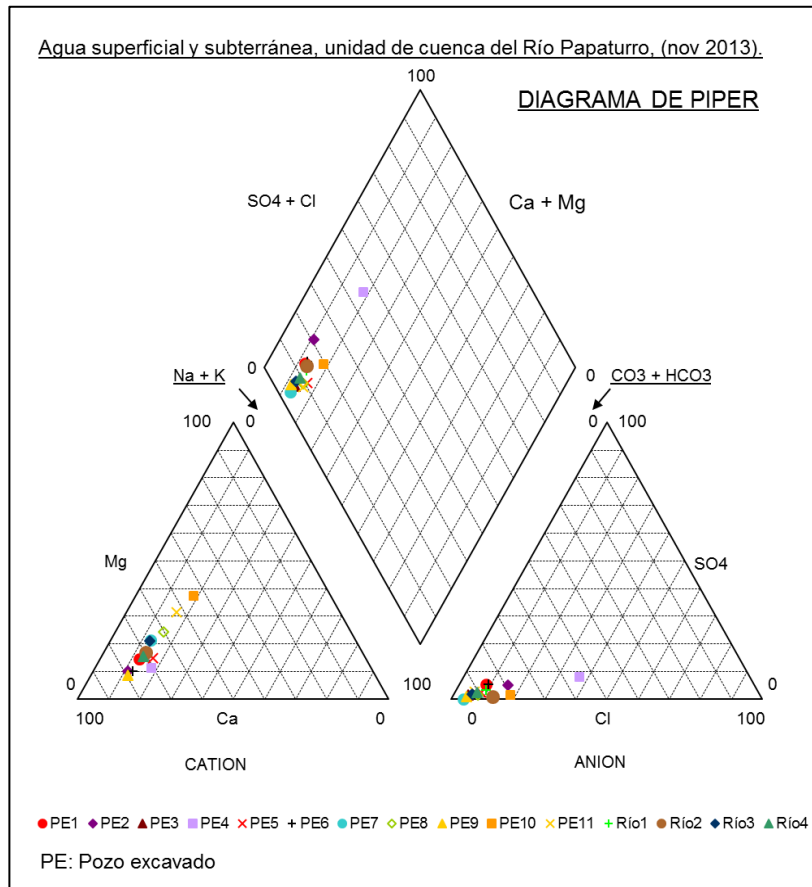


Figura 20. Diagrama de Piper, clasificación hidroquímica de las aguas superficiales y subterráneas de unidad de cuenca del Río Papaturre (febrero 2014).

## Calidad físico química del agua

A continuación, se mencionarán las condiciones físico-químicas en las aguas superficiales y subterráneas de la unidad de cuenca del Río Papaturro, para determinar su calidad para consumo humano. Los resultados de los parámetros físico-químicos se reportan en las (Tablas 20, 21 y 22). Cabe mencionar que en las aguas superficiales solamente se pudo muestrear un punto de las aguas superficiales (Río 4), debido a que los otros puntos se encontraban secos.

El **pH** en la unidad de cuenca se considera de neutro a muy ligeramente alcalino en las aguas subterráneas [(7.00-7.60 unidades de pH, noviembre 2013), (6.80-7.43 unidades de pH, febrero 2014)]; mientras que en las aguas superficiales se considera ligeramente alcalino [(8.00-8.30 unidades de pH, noviembre 2013), (7.93 unidades de pH, febrero 2014)] (Tabla 21). Los valores de pH están en el rango adecuado (6.5-8.5) de acuerdo con lo establecido por la (NTON, 1999), están adecuados para su consumo humano y para riego de cultivos.

La **conductividad eléctrica (CE)** en el agua subterránea varía de 385-1315  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (noviembre 2013) y de 383-1147  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (febrero 2014), observándose que en el período húmedo los valores son ligeramente mayores por la disolución de las sales de carbonatos de calcio, magnesio y sodio. En las aguas superficiales varía entre 571-685  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (noviembre 2013) y 641  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (febrero 2014). El valor recomendado por la (NTON, 1999) es de 400  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , por lo que muchos sitios en la unidad de cuenca superan el valor recomendado por la norma (Tabla 21). Cuando los valores de CE medidos sobrepasan lo recomendado para ingesta humana, el agua presenta mal sabor y afecta la salud de los consumidores, principalmente en las vías urinarias. En la unidad de cuenca del Río Papaturro, las comunidades en las que se reportan más afectaciones de este tipo son La Chocolata, Bernardino Díaz y El Papaturro.

**Color verdadero (CV)** del agua subterránea fue bastante similar en ambas épocas de muestreo, presentando mayores valores en la época seca [5-15 unidades (noviembre 2013) y de 5-10 unidades (febrero 2014)]; los máximos valores se reportan para el PE5], esto se debe a que el pozo no tiene tapa, usan mecate y este

va al suelo, por tanto, se contamina. En aguas superficiales se obtuvo el mismo rango de valores que en el agua subterránea para noviembre 2013; sin embargo, en el único punto muestreado en febrero 2014 se obtuvo un valor de 20 unidades (Tabla 21). Los mayores valores de CV en las aguas superficiales de la unidad de cuenca, son producto de la suspensión de partículas por la actividad de animales (cerdo, vacas, perros) en los cauces de los ríos. La mayoría de los valores de CV en las aguas subterráneas y aguas superficiales (para noviembre 2013) están dentro del valor recomendado y el máximo admisible (1 y 15  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectivamente), a excepción del PE5 y del sitio Río 4 (febrero 2014), por lo que en general, el agua no presenta ningún problema para el consumo.

La **turbidez** medida en el agua subterránea es de 0.3-4.8 UNT (noviembre 2013) y de 0.5-2.8 UNT (febrero 2014); mientras que en las aguas superficiales fue de 1.8-4.4 UNT (noviembre 2013) y de 3.8 UNT (febrero 2014). Los valores de turbidez medidos en las aguas superficiales y subterráneas son aceptables y no presentan riesgo para la salud, al estar entre el rango recomendado por la (NTON, 1999) (Tabla 21).

El contenido de **sólidos totales (ST)** en las aguas de la unidad de cuenca del Río Papaturro para ambos periodos de muestreo (Tabla 21), está por debajo del máximo admisible [ $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , (NTON, 1999)] y no afecta la salud de la población, ni a los cultivos al usarla en riegos [en las aguas subterráneas fue de 289.21-684.86  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) y de 285.12-615.65  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014); en las aguas superficiales fue de 376-424  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) y de 400.3  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014)].

En cuanto al contenido de los **cationes mayores (calcio, magnesio, sodio y potasio)** para ambos periodos de muestreo se reporta en la Tabla 20. En las aguas subterráneas, las concentraciones de **calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )** fueron de 94.8-412.8  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) y de 92.3-370.8  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014) observándose una mayor concentración de este elemento para el periodo húmedo debido a la disolución de las rocas calizas y foraminíferas (Marín, 1972), (Navarro, 2008) presentes en el área de estudio. En aguas superficiales el contenido de calcio fue



de 206.3-262.0 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 200.5 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). Las concentraciones de calcio presentes en las aguas de la unidad de cuenca, sobrepasan los valores máximos admisibles en un 90% de los sitios monitoreados, lo que puede generar infecciones en el sistema urinario, afectando así la salud de los pobladores. Las concentraciones de calcio son aptas para riego de cultivos (Monge, 2017).

En cuanto al **magnesio (Mg<sup>2+</sup>)** presente en las aguas subterráneas de la unidad de cuenca fue de 29.2-87.5 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 30.4-105.4 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). Las aguas superficiales presentaron un contenido de magnesio de 50.0-66.7 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 80.8 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). En las aguas superficiales, el contenido de magnesio va de 50.0-66.7 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 80.8 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). La (NTON, 1999) reporta un valor recomendado de 30 mg·l<sup>-1</sup> y el máximo admisible de 50 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (expresado de esta manera por el método de titulación con EDTA) para consumo humano, por lo que el 80% de los sitios monitoreados sobrepasa el máximo admisible, presentando un posible riesgo para la salud; por lo que se consideran aptas para riego (Monge, 2017), pero no para consumo humano.

El **sodio (Na<sup>+</sup>)** se encuentra concentraciones de 17.3-48.7 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 17.8-44.9 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014) en las aguas subterráneas de la unidad de cuenca; mientras que en los ríos los valores fueron de 18.0-23.4 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 24.2 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). Las concentraciones de sodio medidas en la unidad de cuenca no representan un riesgo para la salud humana, ya que se encuentran dentro del valor recomendado de 25 mg·l<sup>-1</sup> y el máximo admisible de 200 mg·l<sup>-1</sup> (NTON, 1999).

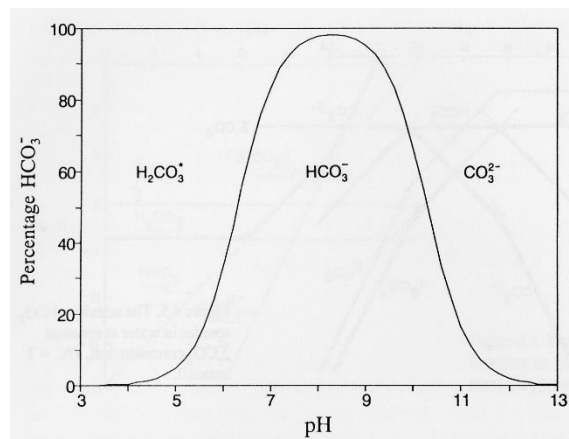
El **potasio (K<sup>+</sup>)** presenta concentraciones muy similares en las aguas subterráneas para ambos períodos de muestreo: de 0.40-1.19 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 0.20-1.20 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). En las aguas superficiales de la unidad de cuenca, los contenidos de potasio alcanzan concentraciones de 6 a 10 veces más que las determinadas en las aguas subterráneas, variando entre 4.3-7.1 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) a 4.4 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). Sin embargo, aunque las

concentraciones de potasio son mayores en las aguas superficiales que en las subterráneas, estos contenidos son adecuados para el consumo humano (valor máximo admisible de  $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , (NTON, 1999)). Aunque el potasio es un elemento abundante y sus sales son altamente solubles, éste raramente ocurre en altas concentraciones en las aguas naturales (Hem, 1989). Los iones de potasio asimilados por las plantas, se encuentran disponibles para re-solución cuando las plantas maduran y mueren, o cuando las hojas y otras partes se vierten al final de la temporada de crecimiento. En el reciclaje natural que se produce en bosques y pastizales, este potasio se lixivia en el suelo por lluvias durante la temporada latente o puesto a disposición. Por el deterioro gradual de la materia orgánica. Algunas fugas de potasio al agua subterránea y escurrimiento durante estos procesos serían esperadas (Hem, 1989). El contenido de potasio presente en la unidad hidrográfica es adecuado para riego de cultivos (Monge, 2017).

En la Tabla 20, también se presentan los contenidos de los **aniones mayores (bicarbonatos, carbonatos, cloruros y sulfatos)**. Los iones que tienen un comportamiento casi estable tanto en período lluvioso como en el seco, son los **bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )**, variando de  $197.7\text{-}427.1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) a  $195.26\text{-}456.4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014) en las aguas subterráneas; y de  $346.6$  a  $390.5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) a  $383.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014) en los ríos monitoreados. Con respecto al contenido de **carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ )** en las aguas tanto superficiales como subterráneas se encuentra en una concentración menor que  $2.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (que es el límite de detección del método analítico); por tanto, su contribución en las características de las aguas de la unidad de cuenca es baja. La (NTON, 1999) no reporta un valor recomendado ni máximo admisible para estos aniones; sin embargo, la presencia de iones **bicarbonato o carbonatos** contribuyen a aumentar la dureza de las aguas, y por tanto su incremento representa un peligro para la salud; así mismo tienden a aumentar la alcalinidad del suelo.

La presencia de iones bicarbonatos y carbonatos está regida por el valor del pH presente en las aguas (promedio de 7.42 unidades para ambos periodos de muestreo), a como se muestra en la Figura 21, de ahí la predominancia de bicarbonatos en las aguas subterráneas y superficiales; aunado a la disolución de

las rocas calizas y sedimentos marinos del Terciario inferior y medio presentes en un 42% del área de la unidad de cuenca.



**Figura 21. Diagrama de pH vs. Fracción de concentraciones de bicarbonato (Appelo, 1996).**

Los **cloruros (Cl<sup>-</sup>)** varían entre 7.7-151.95 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) a 2.01-70.48 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014) en las aguas subterráneas, observándose una considerable disminución en el rango de una época a otra. En las aguas superficiales el contenido de cloruros fue de 12.5-33.8 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y 12.0 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014). Las concentraciones de cloruros determinadas tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales, no tiene ningún impacto en la salud de los consumidores ya que el contenido recomendado por (NTON, 1999) es de 25 mg·l<sup>-1</sup> y el máximo admisible es de 250 mg·l<sup>-1</sup>. Con estas concentraciones de cloruros, las aguas son óptimas para regadío (García, 2012).

En cuanto a los **sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**, que sufren un aumento en período seco, variando de 0.07-44.1 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) a 1.2-63.12 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014) en las aguas subterráneas. En aguas superficiales es de 3.5-11.2 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y de 6.8 mg·l<sup>-1</sup> en (febrero 2014). El valor recomendado es de 25 mg·l<sup>-1</sup>, llegando a un máximo admisible de 250 mg·l<sup>-1</sup> (INAA, 1999), por lo que el agua en la unidad de cuenca se considera buena para el consumo humano y para irrigación, ya que el contenido de sulfatos está por debajo del máximo admisible.

La dureza es un parámetro que está relacionado con el contenido de sales de calcio y magnesio, en especial las bicarbonatadas/carbonatadas, las cuales a su vez están reguladas por el pH del agua. La **dureza** del agua para noviembre 2013

se reportó de 174.93-478.0 mg·l<sup>-1</sup> y en febrero 2014 de 170.0-430.0 mg·l<sup>-1</sup> en las aguas subterráneas; siendo el PE-4 el que supera el valor recomendado por las normas. Para las aguas superficiales va de 271.7 a 325.2 mg·l<sup>-1</sup> (noviembre 2013) y 280.0 mg·l<sup>-1</sup> (febrero 2014) (Tabla 22). El valor recomendado por (NTON, 1999) es de 400 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, considerándose en general de aguas duras a muy duras (contenido mayor a 150 mg·l<sup>-1</sup> y 300 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>, respectivamente), y por tanto, presenta riesgos para la salud de la población (Beltran, 1994).

Tabla 23. Clasificación de la dureza (EPA, 1986) para las fuentes de agua en la unidad de cuenca.

Contenido de dureza (expresada como mg·l <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	Clasificación de la dureza	Tipo de fuente en la unidad de cuenca Río Papaturre	
		Agua subterránea	Agua superficial
0-75	Blanda	--	--
75-150	Moderadamente dura	--	--
150-300	Dura	PE5, PE7, PE8, P10, PE11, PP3	Río3, Río4
>300	Muy dura	PE1, PE2, PE3, PE4, PE 6, PE9	Río1, Río2

Los valores de **alcalinidad total** varían de 162-350 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (noviembre 2013) y entre 160-374 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (febrero 2014) en las aguas subterráneas; y de 284.0 a 320.0 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (noviembre 2013) con 314.0 mg·l<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (febrero 2014) en las aguas superficiales (Tabla 23). Su variación va ligada a la dureza ya que esta contribuye a su aumento.

Al correlacionar los valores de alcalinidad y dureza en las aguas superficiales y subterráneas, su variación es mínima al compararla entre los valores de los dos períodos, observándose una mayor desviación en el PE-4, donde la dureza se aproxima casi a los 500 mg·l<sup>-1</sup> (Gráfico 7).

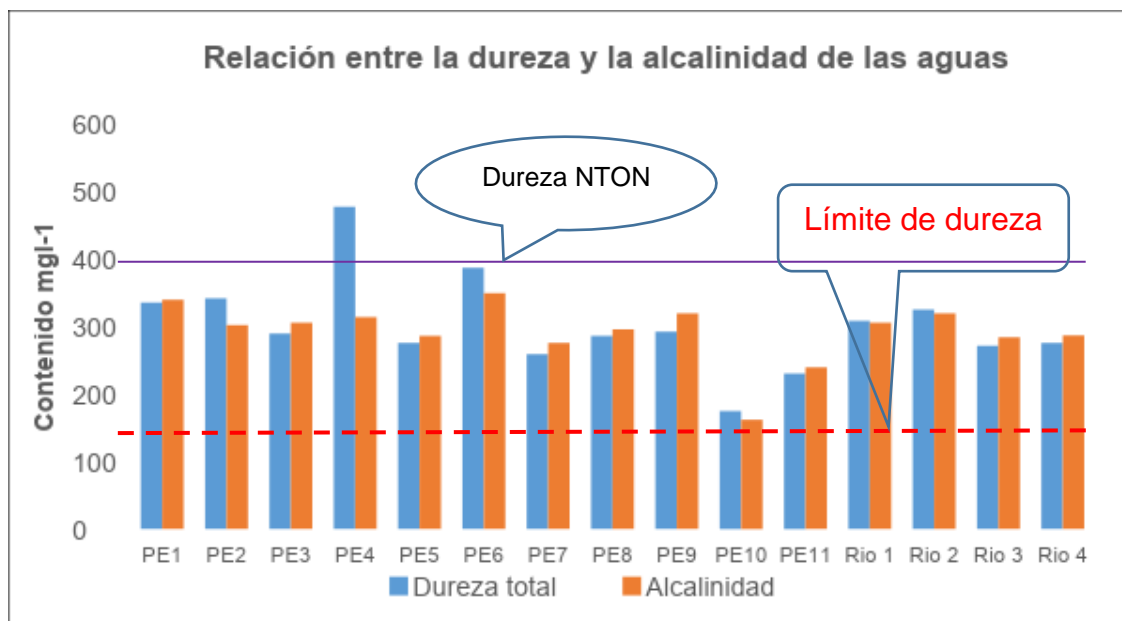


Gráfico 7. Relación entre la dureza y la alcalinidad en las aguas superficiales y subterráneas de la unidad de cuenca del Río Papaturre.

Las concentraciones de **nitratos, nitritos y amonio** en aguas subterráneas para noviembre 2013, fue de: 1.8-16.93 mg·l<sup>-1</sup>; 0.003-0.063 mg·l<sup>-1</sup>; y de 0.008-0.161 mg·l<sup>-1</sup>, respectivamente; y en febrero 2014 de 0.6-8.1 mg·l<sup>-1</sup>; <ld-0.016 mg·l<sup>-1</sup>; y de 0.015-0.161 mg·l<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 22). Mientras que en las aguas superficiales las concentraciones de estos compuestos fueron de: 0.4-6.8 mg·l<sup>-1</sup>; 0.003-0.023 mg·l<sup>-1</sup>; y de 0.036-0.094 mg·l<sup>-1</sup> para noviembre 2013. En febrero 2014, las concentraciones en los ríos fueron: 1.3 mg·l<sup>-1</sup>; 0.003 mg·l<sup>-1</sup>; y 0.059 mg·l<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabla 22).

El valor recomendado por (NTON, 1999) para los nitratos en el agua para consumo humano es de 25 mg·l<sup>-1</sup> y el máximo admisible es de 50 mg·l<sup>-1</sup>; para los nitritos es 0.1 mg·l<sup>-1</sup> y el máximo admisible es de 1.0 mg·l<sup>-1</sup>; y para el amonio es de 0.05 y el máximo admisible es de 0.5 mg·l<sup>-1</sup>. De acuerdo con estos criterios, los valores de estos compuestos nitrogenados se encuentran por debajo de los valores establecidos por la norma (solamente el PE-2, se acerca al valor recomendado para nitrato, el resto queda por debajo) y no representan ningún riesgo para la salud humana (Gráfico 8).

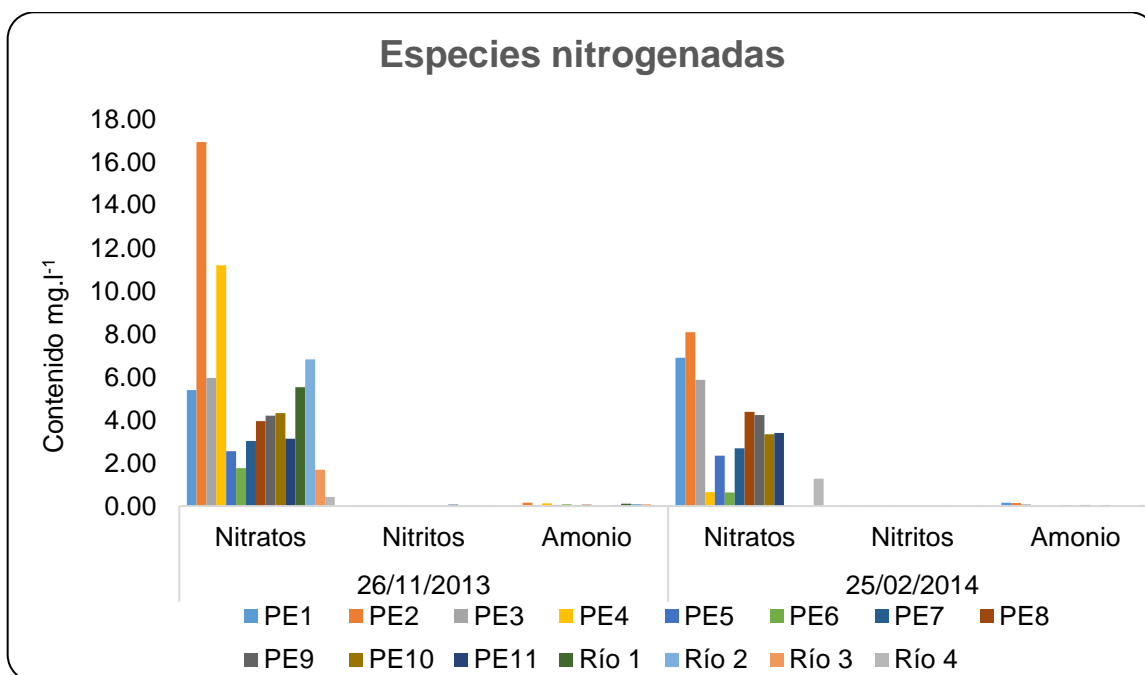


Gráfico 8. Contenido de especies nitrogenadas (nitratos, nitritos y amonio) en las aguas subterráneas y superficiales de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

El contenido de **hierro** (Tabla 21) en aguas subterráneas varía de menor que el límite de detección (<math><id>-0.02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}</math> (noviembre 2013) a <math><id>-0.58 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}</math> (febrero 2014); mientras que en las aguas superficiales fue de  $0.04\text{-}0.2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) a  $0.36 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014). El valor máximo admisible por (NTON, 1999) es  $0.3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , observándose valores superiores a los máximos admisibles en algunos pozos. Concentraciones superiores a las recomendadas por la norma, alteran las propiedades organolépticas del agua como sabor y color, ya que el agua presenta mal sabor (sabor a metal) y una coloración parda-rojiza, los cuales no son agradables para el consumo humano. No obstante, agua con contenido ligeramente mayor al establecido por la norma, no reporta daño para la salud.

El contenido de **sílice reactivo disuelto** varía de  $49.88\text{-}103.08 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (noviembre 2013) y de  $45.28\text{-}98.46 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (febrero 2014). No hay valor recomendado por la norma para regular a este parámetro; sin embargo, se puede observar que la variación es mínima de un periodo a otro (Tabla 21). Estos resultados son característicos de acuíferos en los que las rocas calcáreas, dolomitas

y foraminíferas son abundantes, y las reacciones de hidrólisis y precipitación de carbonatos predominan por sobre la precipitación de silicatos (Appelo, 1996); de ahí las bajas concentraciones de silicatos presentes en las aguas.

Algunos parámetros presentaron concentraciones por arriba de lo recomendado por la norma, en algunos de los sitios monitoreados tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas, por lo que ciertos tratamientos previos deben de ser considerados antes de consumir esa agua, o ser destinadas únicamente para riego, de existir otra fuente de agua de la cual puedan hacer uso. Sin embargo, los valores de conductividad eléctrica se encuentran por arriba de lo recomendado por la norma para consumo humano en lo referente a ese parámetro, por lo que es necesario reducir esta conductividad, lo cual se logra hirviendo el agua.

Otros parámetros que presentan valores no recomendables en algunas fuentes de agua, son el calcio, magnesio, sodio y hierro (que están asociados al material geológico del área de estudio), los cuales pueden ser perjudiciales para la salud de los pobladores. Cabe mencionar que algunos de estos parámetros están condicionados porque los pozos están en medio o próximos a los corrales de ganado, los lavaderos están muy cerca de los pozos, de igual manera las letrinas; se tienen pozos sin protección, con los brocales fracturados y utilizan mecates y baldes que muchas veces se colocan en el suelo.

En general se puede decir que sólo el pozo P10 presentan una buena calidad físico-química de sus aguas, ya que las concentraciones de estos parámetros están dentro de los estándares propuestos por la (NTON, 1999), exceptuando sólo el contenido de magnesio.

### **Clasificación del agua para riego**

Para poder determinar si las aguas de ríos y pozos son aptas para riego, se utilizaron las normas de calidad de agua para riego de FAO (Monge, 2017). El coeficiente de adsorción de sodio en el agua (RAS) se calculó con la Ecuación 21; dando valores entre 0.4 y 2.7 unidades en las aguas de la unidad hidrográfica, dichos valores son bajos, considerando que de acuerdo a las características de

suelo (22-24) % arcilla y entre (3-4) % de materia orgánica, los valores que presentan riesgo están entre 10-15.

Las aguas de ríos y pozos en general se consideran aptas para ser utilizadas en regadíos, al clasificarlas del tipo C2-S1 (salinidad media apta para el riego y baja en sodio); y del tipo C3-S1 (salinidad alta y bajo contenido de sodio), véase Gráfico 9 y 10. Este último tipo de agua sólo debe utilizarse en suelos bien permeables y con cultivos tolerantes a la salinidad, (FAO, 1992), (Tabla 24).

Tabla 24. Parámetros relacionados (máxima concentración recomendada) con el agua de irrigación, unidad de cuenca del Río Papaturro.

Fecha	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14
Parámetro	CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )		STD ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		RAS (Unidades)	
FAO	3000		2000		15	
PE1	730	783	460,9	451,1	0,5	0,6
PE2	744	672	462,2	393,0	0,5	0,5
PE3	601	651	389,1	389,0	0,5	0,5
PE4	1315	1147	684,9	616,0	1,0	0,9
PE5	589	628	398,1	386,4	0,7	0,7
PE6	772	879	484,5	503,0	0,6	0,6
PE7	514	557	352,1	356,8	0,5	0,5
PE8	599	633	387,4	369,5	0,6	0,6
PE9	610	659	399,4	381,9	0,5	0,5
PE10	385	383	289,2	285,1	0,6	0,6
PE11	477	493	368,5	352,9	0,6	0,6
PP3	SD	596	SD	385,7	SD	0,5
Río1	634	SD	409,7	SD	0,6	SD
Río2	685	SD	424,0	SD	0,6	SD
Río3	544	SD	376,0	SD	0,5	SD
Río4	571	641	375,9	400,3	0,5	0,6



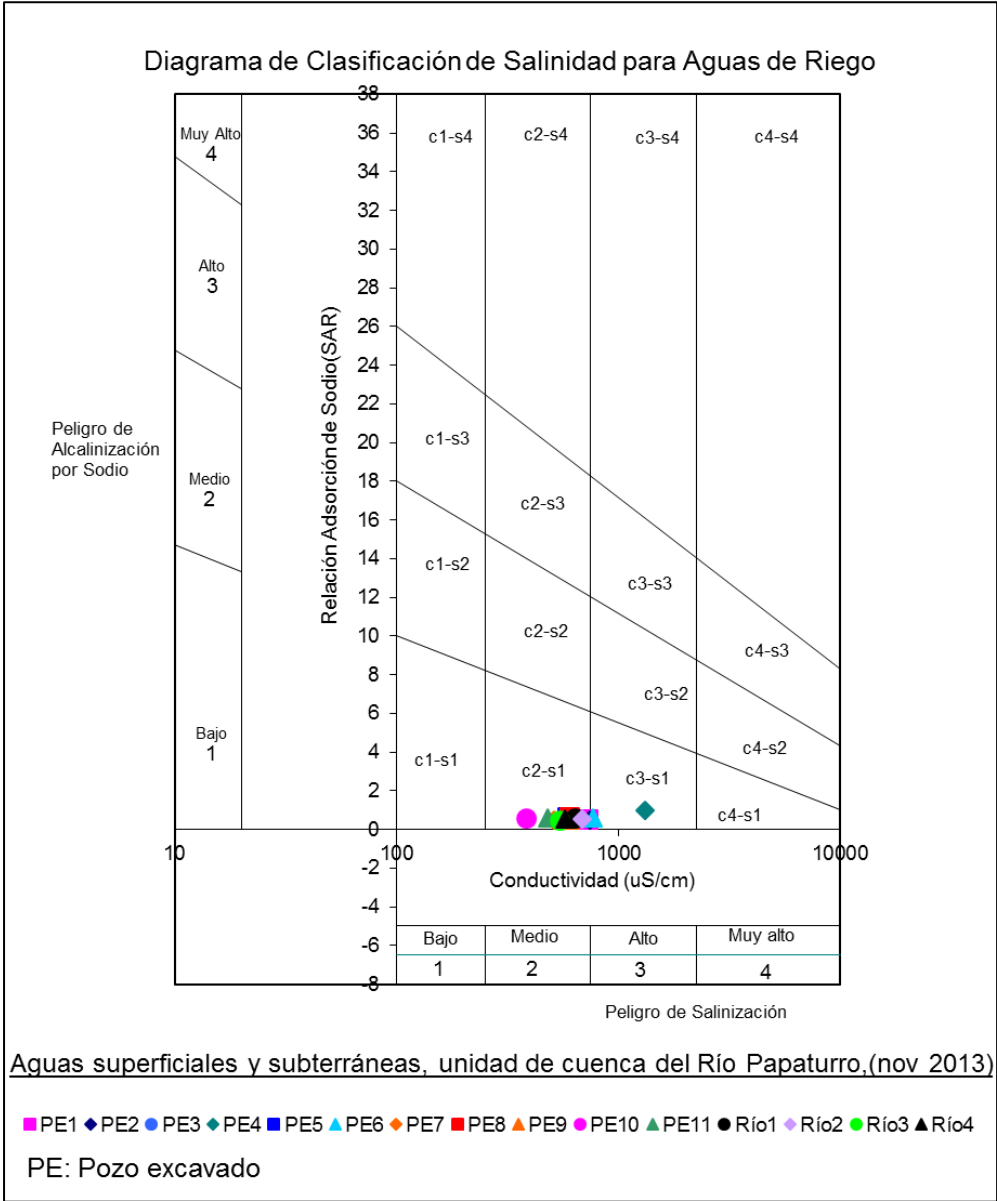
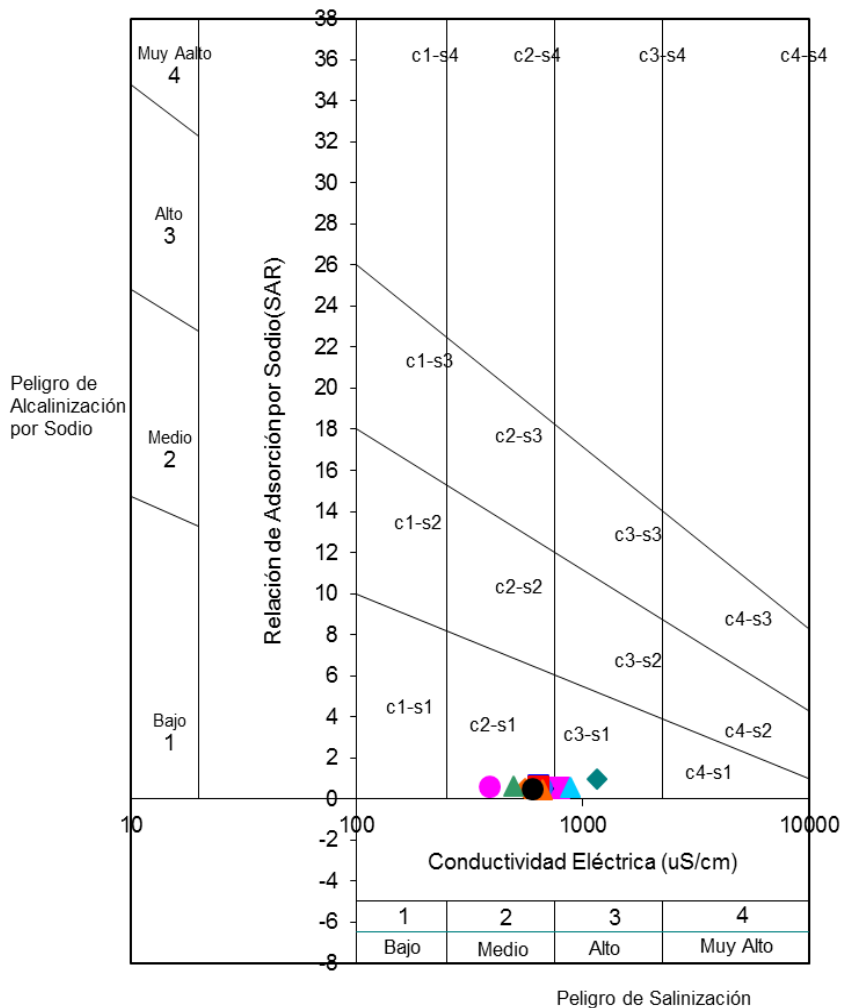


Gráfico 9. Diagrama de salinidad para aguas de irrigación, unidad de cuenca del Río Papaturre (noviembre 2013).

### Diagrama de Clasificación de Salinidad para Agua de Riego



Agua superficial y subterránea, unidad de cuenca del Río Papaturre, (Feb 2014).

■ PE1 ◆ PE2 ● PE3 ◆ PE4 ■ PE5 ▲ PE6 ◆ PE7 ■ PE8 ▲ PE9 ● PE10 ▲ PE11 ● PP3 ◆ Río4

PE: Pozo excavado      PP: Pozo perforado

Gráfico 10. Diagrama de salinidad para aguas de irrigación, unidad de cuenca del Río Papaturre (febrero 2014).

#### 4.9.4 Calidad microbiológica del agua

Para evaluar la calidad microbiológica de las aguas de la unidad de cuenca, se consideraron cuatro indicadores de contaminación microbiológica: Coliformes totales, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* y Enterococos Fecales. Los resultados de estos indicadores en aguas subterráneas y superficiales se reportan bajo las unidades de NMP/100 ml, a como se reflejan en la Tabla 25 y Gráficos 11 y 12.

En las aguas subterráneas, el contenido de los **Coliformes Totales** varía entre  $1.40E+02$  y  $1.70E+04$  (noviembre 2013) y de  $<1.8$  a  $3.5E+04$  (febrero 2014); mientras que los **Coliformes Termotolerantes** varían entre  $2.00E+00$  y  $3.30E+03$  (noviembre 2013) y de  $<1.8$ - $4.90E+02$  (febrero 2014): La ***E. coli*** presentó valores de  $<1.8$  a  $3.30E+03$  (noviembre 2013) a  $<1.8$ - $4.90E+02$  (febrero 2014), evidenciando contaminación fecal proveniente de animales de sangre caliente (seres humanos y animales). Se tomaron muestras de agua de cinco pozos perforados (PP1, PP2, PP3, PP4, PP5), utilizando el método de Petrifilm, se observa un abundante crecimiento de *Escherichia coli* en todos los casos (Foto 16).

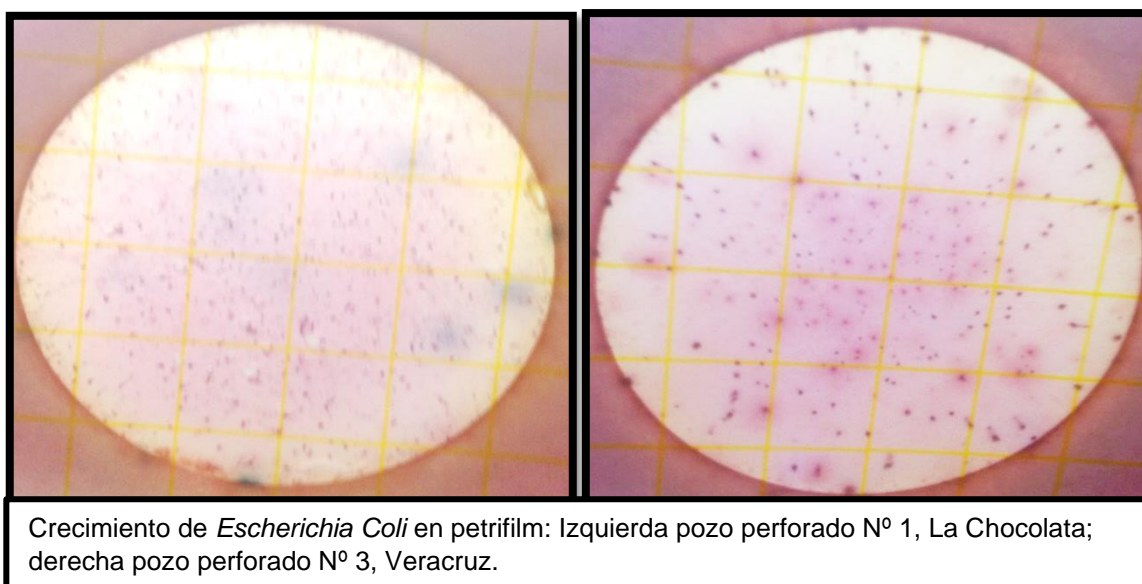


Foto 16. Presencia de *Escherichia coli* en pozos perforados en la unidad de cuenca Río Papaturro.

Por último, los **Enterococos Fecales**, varían de  $1.40E+01$  a  $4.60E+03$  en noviembre 2013, y de  $<1.8$  a  $3.90E+01$  en febrero 2014; observándose una drástica disminución en este contenido.

En lo que respecta a las aguas superficiales, los contenidos de indicadores microbiológicos fueron: Coliformes Totales [ $7.90E+02$  a  $1.30E+04$  (noviembre 2013), y de  $2.30E+03$  (febrero 2014)], Coliformes Termotolerantes [ $4.90E+02$  a  $1.40E+03$  (noviembre 2013), y  $7.90E+01$  (febrero 2014)], *E. coli* [ $4.90E+02$  a  $1.40E+03$  (noviembre 2013) y  $7.90E+01$  (febrero 2014)] y Enterococos Fecales [ $1.10E+02$  a  $3.30E+02$  (noviembre 2013) y de  $1.10E+01$  (febrero 2014)].

La (NTON, 1999) sugiere que las aguas para consumo humano no deben tener presencia de ninguna bacteria; por lo tanto, la mayoría de los resultados arrojados en las muestras de agua subterránea como superficial presentan contenido de todos o la mayoría de estos indicadores, tanto en período húmedo (noviembre 2013) como en el período seco (febrero 2014); por lo que no son recomendables para el consumo humano sin tratamiento primario. Estos resultados son producto de que muchos pozos se encuentran sin protección, permitiendo la entrada de basura o de material de origen orgánico (como las hojas de los árboles que se descomponen dentro de la columna de agua del pozo); así como también por el uso de los baldes (los cuales no son lavados con frecuencia) y del descuido que se tiene de que el mecate no sea depositado en el suelo, contaminándose con el suelo y las bacterias depositadas en él, las cuales posteriormente son introducidas en el pozo, contaminando el agua. Los pozos no sólo están expuestos a las fuentes de contaminación mencionadas anteriormente, sino que están ubicados gradiente debajo de las fuentes de contaminación como los corrales o las letrinas.

En la unidad de cuenca del Río Papaturro, las fuentes de contaminación son las heces fecales de animales y de seres humanos (por defecación al aire libre o por infiltración de las letrinas y corrales)

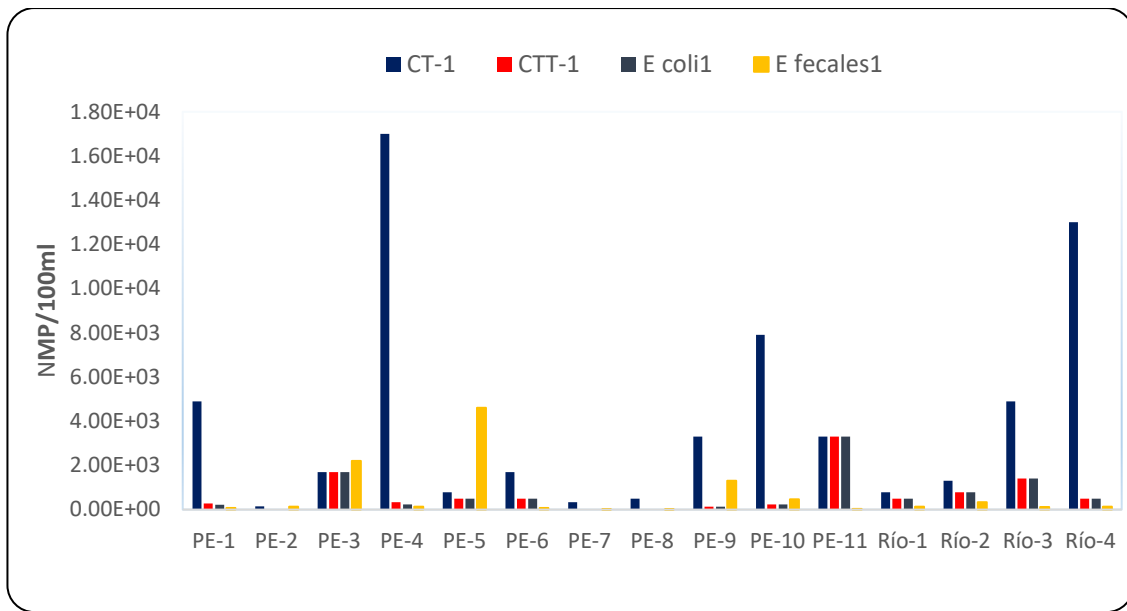


Gráfico 119. Calidad microbiológica de las aguas superficiales y subterráneas en unidad de cuenca del Río Papaturro, durante el período lluvioso (noviembre 2013).

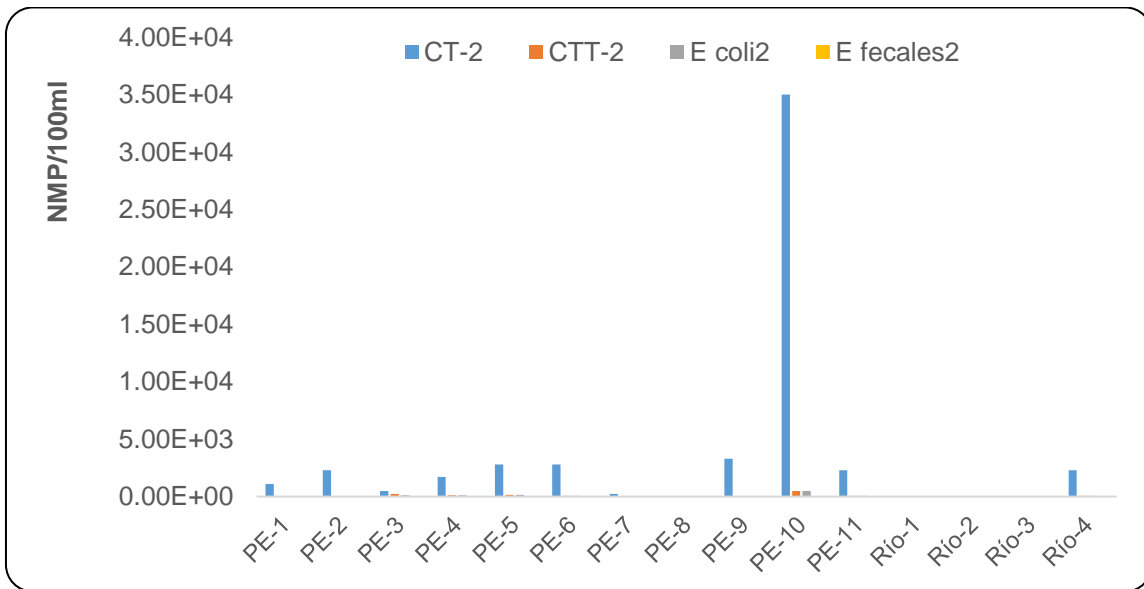


Gráfico 10. Calidad microbiológica de las aguas superficiales y subterráneas en unidad de cuenca del Río Papaturro, durante el período seco (febrero 2014).

Como puede observarse el contenido bacteriológico siempre está presente, afectando gravemente la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, ya sea en períodos húmedos como secos. Se observa en general que las concentraciones de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli*, y Enterococos

fecales tienden a aumentar su contenido en el período lluvioso; sin embargo, el pozo número 10, presenta mayor contenido en tres de los parámetros en época seca.

También los pozos 2, 5 y 6 presentan mayor contenido de Coliformes Totales en el período seco, probablemente porque estos pozos presentan mayor uso por la población y no se toman las medidas sanitarias necesarias para proteger la calidad del agua y, por ende, la salud de la población.

Tabla 25. Resultados analíticos de indicadores microbiológicos en aguas superficial y subterránea de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Concentraciones (NMP/100ml)								
Fechas	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14	11/13	2/14
Fuente	Coliformes totales		Coliformes termotolerantes		<i>Escherichia coli</i>		Enterococos fecales	
<b>NTON</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
PE-1	4.90E+03	1.10E+03	2.80E+02	2.70E+01	2.20E+02	2.70E+01	7.00E+01	4.50E+00
PE-2	1.40E+02	2.30E+03	2.20E+01	7.80E+00	<1.8	7.80E+00	1.30E+02	3.90E+01
PE-3	1.70E+03	4.90E+02	1.70E+03	2.20E+02	1.70E+03	1.30E+02	2.20E+03	1.70E+01
PE-4	1.70E+04	1.70E+03	3.30E+02	1.10E+02	2.30E+02	1.10E+02	1.30E+02	9.20E+00
PE-5	7.90E+02	2.80E+03	4.90E+02	1.40E+02	4.90E+02	1.40E+02	4.60E+03	3.90E+01
PE-6	1.70E+03	2.80E+03	4.90E+02	7.00E+01	4.90E+02	7.00E+01	7.90E+01	4.50E+00
PE-7	3.30E+02	2.30E+02	9.30E+00	<1.8	9.30E+00	<1.8	2.00E+00	3.30E+01
PE-8	4.90E+02	<1.8	2.00E+00	<1.8	2.00E+00	<1.8	1.40E+01	<1.8
PE-9	3.30E+03	3.30E+03	1.30E+02	3.30E+01	1.30E+02	3.30E+01	1.30E+03	2.60E+01
PE-10	7.90E+03	3.50E+04	2.30E+02	4.90E+02	2.30E+02	4.90E+02	4.60E+02	2.60E+01
PE-11	3.30E+03	2.30E+03	3.30E+03	7.90E+01	3.30E+03	7.90E+01	3.30E+01	2.70E+01
PP3	SD	2.30E+02	SD	<1.8	SD	<1.8	SD	2.70E+01
Río-1	7.90E+02	SD	4.90E+02	SD	4.90E+02	SD	1.30E+02	SD
Río-2	1.30E+03	SD	7.90E+02	SD	7.90E+02	SD	3.30E+02	SD
Río-3	4.90E+03	SD	1.40E+03	SD	1.40E+03	SD	1.10E+02	SD
Río-4	1.30E+04	2.30E+03	4.90E+02	7.90E+01	4.90E+02	7.90E+01	1.30E+02	1.10E+01

SD: sin datos. <1.8: menor que el límite de detección.

#### 4.10 Condiciones socioambientales de la unidad de cuenca

La descripción y el análisis de las condiciones socioambientales ayuda a describir y analizar el área de influencia, cuya suma condiciona el comportamiento y forma del ser del hombre: el hombre en todas sus facetas; su relación con el mundo vivo (animales y vegetales) y el mundo anímico (sueños, mitos, religión, etcétera), (Serrano, 2019), (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014).

Para tal fin, se implementó una encuesta. El número de encuestados fue de 85, calculado con la Ecuación 1 y 2. En la Foto 17 se ilustra las visitas a las familias seleccionadas para la aplicación de la encuesta. El formato de la encuesta está en el Anexo 8.5.



Foto 17. Visitas a las familias para la realización de encuestas: foto izquierda, Los Horconcitos; foto derecha, El Coyolito.

##### 4.10.1 Edad de la población, nivel de escolaridad, salud y acceso a la salud

De manera general, la población se distribuye según la edad de la siguiente forma: el 20% son niños de uno a 10 años; el 11% está entre los 11 a 15 años; un 8% tiene edades entre 16 y 20 años; y el 61% de la población son mayores de 20 años (Gráfico 16). Como puede observarse la mayor parte de la población de la



unidad de cuenca son adultos, esto permitirá en el futuro tomar acciones que ayuden a mejorar las condiciones de la unidad de cuenca.

El nivel de escolaridad por composición familiar está en: 3% en preescolar, 54% en primaria, 28% en secundaria, el 5% en nivel técnico o universitario, y un 10% sin estudios (Gráfico 17).

El 72% de la población estudiantil recorre entre 1 y 2 km para asistir a los centros escolares; el 14% recorre entre 5 y 6 km, y el 86% camina entre 2 y 5 km. Para la gran mayoría de la población, los centros escolares están accesibles y esto posibilita un mejor desarrollo para estas comunidades.

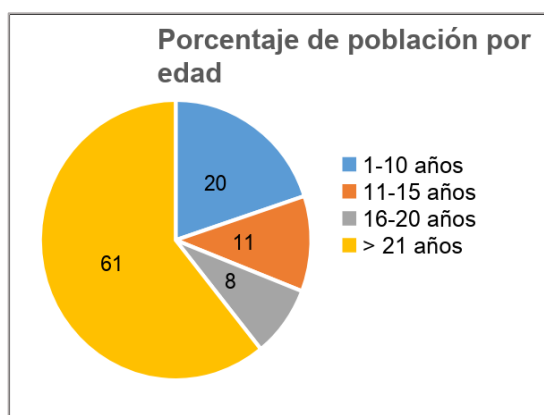


Gráfico 11. Porcentaje de edad de la población.

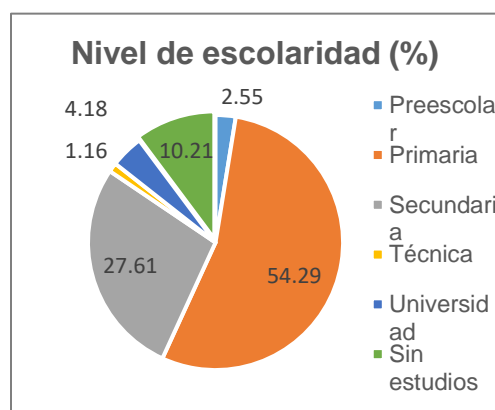


Gráfico 12. Nivel de escolaridad (%).

Las enfermedades que se padecen en la unidad de cuenca, están relacionadas con el agua de consumo (Gráfico 18). El mayor porcentaje es para la diarrea esporádica (30.59%), la cual, por lo general se da en los primeros meses del período lluvioso (mayo-junio). e infecciones de las vías urinarias (18,82%) en cualquier período del año. Al comparar los datos obtenidos de las encuestas con los datos estadísticos del (SILAIS-Rivas, 2013), se tiene un registro de 19.13% de afectaciones por enfermedades de las vías urinarias, tanto en adultos como en niños; estos últimos en un 40% de los casos.

La población tiene asistencia médica a través del centro de salud en La Chocolata, Veracruz, Rivas, San Juan del Sur y Tola. El 45% de la población recorre distancias entre 1.5 a 5 km para ser atendidos en estos centros (Gráfico 19).

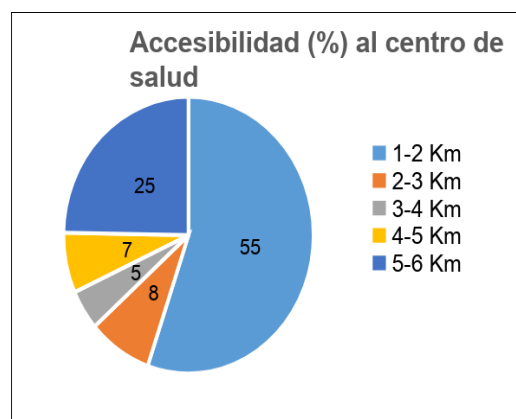
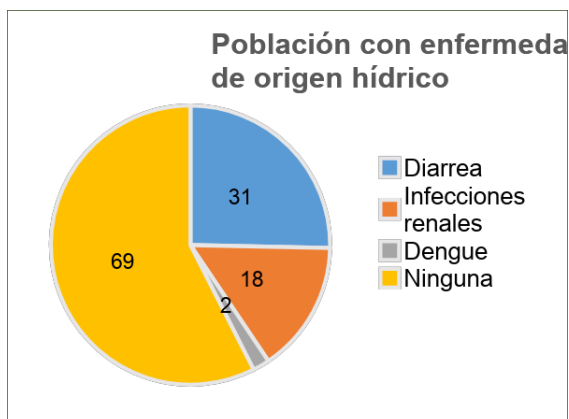


Gráfico 13. Enfermedades en la unidad de cuenca. Gráfico 14. Accesibilidad al centro salud.

#### 4.10.2 Uso y consumo de agua del río y pozos

El 61% de los pobladores expresan que desde hace cuatro años atrás el río no mantiene su curso quedando empozado entre los meses de febrero y marzo. Las aguas del río son muy importantes para los productores ya que un 40% de la población la utiliza para dar de beber al ganado y para riego de cultivos, también permite la sobrevivencia de la vida silvestre.

Normalmente 68% de las familias utilizan el agua de los pozos para cocinar y lavar ropa; un 27% para abreviar el ganado y un 5% la utilizan para regar pequeñas áreas de hortalizas, que son utilizadas para subsistencia propia (Gráfico 20). En la unidad de cuenca, se cuenta con el 20% de conexiones domiciliarias y el 80% de la población utiliza agua de pozo; de estos el 90% utiliza balde con mecate para extraer el agua, el cual generalmente está expuesto a la contaminación al ser dejado sobre el suelo.

Presentan un consumo de agua de 0.15MMCA en el hogar, 0.34 MMCA para los animales y 0.08MMCA para riego de cultivos (Gráfico 21).

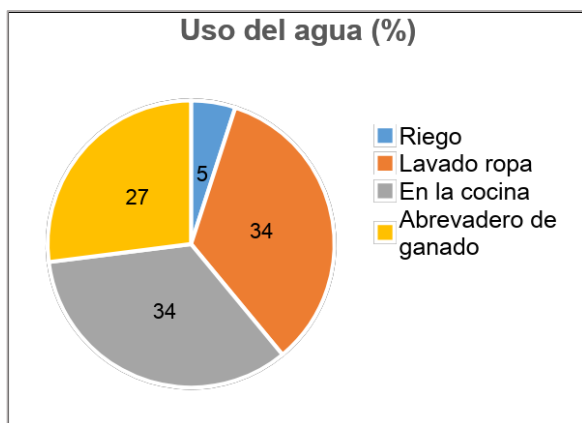


Gráfico 15. Uso del agua.

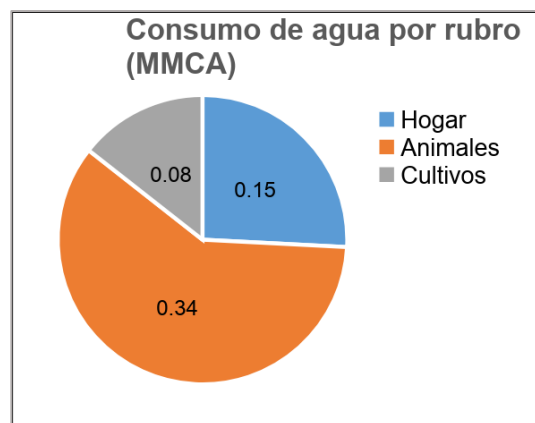


Gráfico 16. Consumo de agua en MMCA

El 98% de las familias tiene pozos excavados, con menos de 20 m de profundidad; de los cuales un 66% fueron construidos hace más de veinte años, y su infraestructura se ha dañado con el tiempo. El mantenimiento que las familias le realizan a su pozo, consiste en el lavado cada 6 meses, y la desinfección con cloro líquido. Un 26% de los pozos excavados en la unidad de cuenca presentan depresiones alrededor del brocal, y el 20% presenta grietas (Gráfico 22) por donde infiltra el agua superficial, la cual proviene en muchos de los casos de las áreas de lavado y baños. En estas comunidades las instalaciones ganaderas y las letrinas están generalmente ubicadas en la parte superior del relieve y el 49.41% de los pozos están ubicados en la parte baja, cerca de los cursos de agua, expuestos a contaminación por flujo subsuperficial o subterráneo. Muchas de las fuentes de contaminación están próximas a los pozos, de tal manera que el 48.24% de estos están a menos de 20 m de distancia. La profundidad de los pozos se describe en el (Gráfico 23), 34% están a menos de 10 m, 24% entre 11m y 15 m, 22% entre 16m y 20m, 5% entre 21m y 25m, y 3% a profundidades mayores de 26m. Por lo general, los niveles de agua descienden entre abril y mayo, meses en los cuales algunos de estos pozos se secan; y empiezan a ascender a partir de septiembre, llegando a su máximo nivel en el mes de octubre, producto de la recarga subterránea.

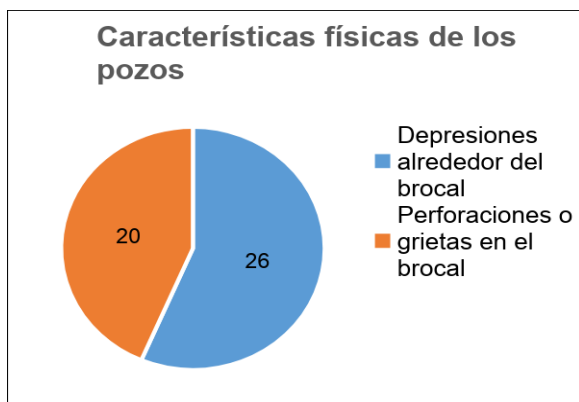


Gráfico 17. Características físicas de los pozos.

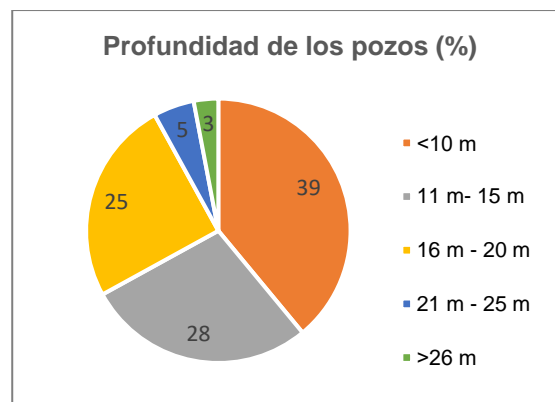


Gráfico 18. Profundidad de los pozos.

En cuanto a calidad del agua, la población la considera buena en un 85%, aunque mencionan que jamás se le ha realizado un análisis al agua para determinar sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas; un 15% de las familias expresan que el agua presenta sabor y olor a sarro o a lodo, es de color amarillenta y además quedan muchos residuos al hervirla (Gráfico 24); así lo comentaron los habitantes de las comunidades Bernardino Díaz y Río Grande.

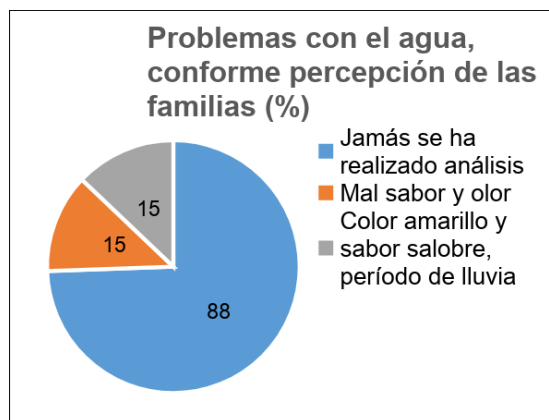


Gráfico 19. Problemas en el agua.

### 4.10.3 Sistemas sanitarios y manejo de la granja

El 96.47% de la población tiene letrinas o fosas sépticas y desagües, casi la mitad de estos (42.35%) (Gráfico 25); se localizan a menos de 31 m de charcas, arroyos o estanques, posibilitando la contaminación del agua, mermando la calidad de esta para consumo humano y afectando la salud de la población.

Un 87.06% de las familias tiene animales de granja, con instalaciones localizadas a menos de 31 m de las fuentes de agua (41.18%) y un 52.94% de estas instalaciones están ubicada en un nivel superior. Así también se observa que un 28.24% de las familias almacenan estiércol a menos de 76 m de las fuentes de

agua y un 45% deja los animales en forma libre (Gráfico 26). En la unidad de cuenca se tiene un hato compuesto por: diez mil gallinas, nueve mil vacas, dos mil cerdos y unos mil caballos (cada familia dispone de un promedio de 12 cabezas de ganado bovino, 1 caballo, 3 cerdos y 13 gallinas). Todo esto contribuye con las deyecciones fecales y sus lixiviados que percolan a través del suelo y subsuelo, llegando al manto de agua contaminando el acuífero, Estos son otros factores que afectan la calidad y características organolépticas del agua para el consumo humano.

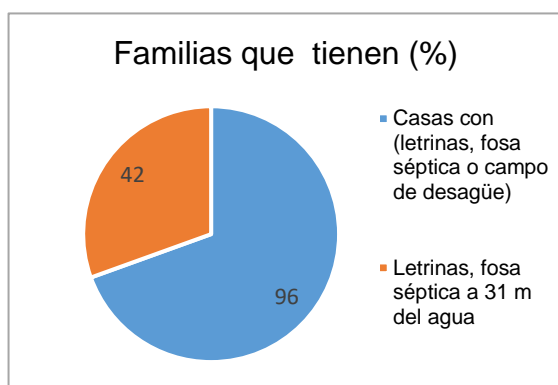


Gráfico 20. Contaminación por sistemas sépticos.

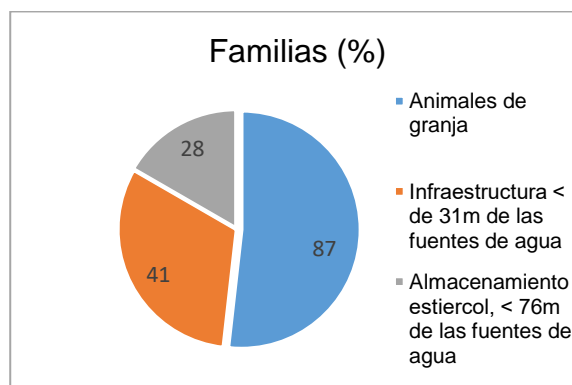


Gráfico 21. Porcentaje de familias con animales de granja, infraestructura y almacenamiento de estiércol.

#### 4.10.4 Uso de suelos, bosque y plaguicidas

En cuanto a tenencia de la tierra se refiere, ésta se distribuye principalmente entre los pequeños productores, ya que el 56% posee entre 1 y 10 manzanas, el 39% posee entre 10 y 50 manzanas, el resto (5%) posee entre 50-500 manzanas, esto nos muestra que existe una alta presión sobre los recursos naturales.

Según los productores han distribuidos los usos de la tierra de la siguiente forma: 39.08% del área la utilizan para agricultura, siembran granos básicos, musáceas y pequeñas parcelas de hortalizas; la parte pecuaria ocupa el 40.76% del área; y la parte forestal, con especies como Madero Negro, Laurel, Guácimo, Guanacaste y Papatirro, entre otros, ocupa el 20.16% del área (Gráfico 27). En general el terreno está cubierto con pastizales y cercas vivas (71.76%), y una

cobertura vegetal entre el 10-20%. El 78.54% de las familias expresan que el bosque es producto de regeneración natural con más de 15 años de edad (Gráfico 28), condiciones que desfavorecen la recarga al acuífero por disminuir la infiltración de las precipitaciones (Ríos, 2006).

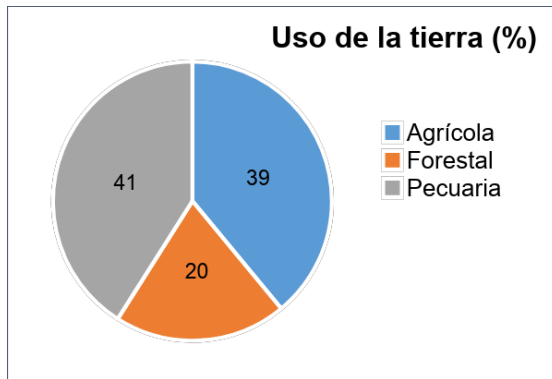


Gráfico 22. Uso de la tierra.

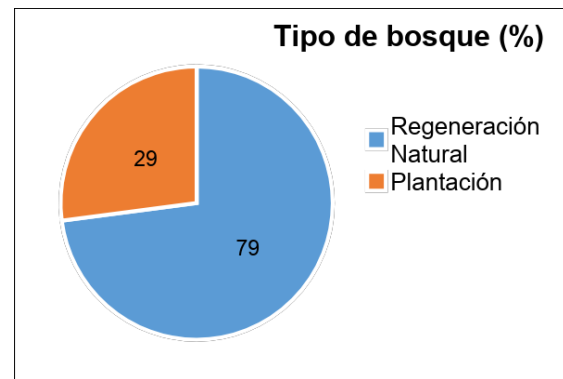


Gráfico 23. Tipo de bosque.

Un 71.76% de los productores mencionan que aplican fertilizantes en forma fraccionada según el desarrollo del cultivo; no utilizan estiércol en sus campos como enmiendas, ni han realizado análisis de suelos en los últimos 4 años. Muchos de los pozos están próximos a las áreas de cultivos.

El 50.59% de la población tiene alguna actividad referida a la conservación de recursos naturales, y sólo el 36.47% están realizando prácticas de conservación de suelos y agua como cercas vivas, barreras vivas, zanjas de ladera, cultivos en contorno, pero sin mayor amplitud y resultados observables. El 72.94% de la población, considera que la infiltración de agua en el suelo es lenta y que la profundidad de la roca está a más de un metro de profundidad. El 82.35% expresan que el manto acuífero está a más de 3 m, salvo en el período lluvioso que ascienden hasta el brocal y en el 90.59% de los casos el agua escurre generalmente hacia charcas, ríos y arroyos. Con acuíferos de poca profundidad en la zona aluvial, el agua se tiende a contaminar con mayor facilidad.

El 83.53% de la población opina que los restos de plaguicidas los maneja de forma adecuada (no dejan los envases tirados en el campo, mantienen los plaguicidas, equipos y sus utensilios alejados de los niños y de las fuentes de agua;

y dan tratamiento a los envases en fosas específicas para su destrucción); a su vez, mencionan que sería importante participar en capacitaciones sobre el manejo adecuado de plaguicidas. No guardan productos para otros años, ni envases dañados; y el 60% de los usuarios lee la etiqueta parcialmente. El 20% de las familias calibra la boquilla de la bomba antes de aplicar; y el 69.41% no realiza mezcla de plaguicidas, ni lavado de los aplicadores cercanos a los 48 m de las fuentes de agua.

El análisis refleja las características socioculturales que la población tiene en estas comunidades con respecto al manejo del agua, en su calidad y cantidad. Es importante ver cómo lo que se ha venido determinando experimentalmente se relaciona directamente con la opinión de los pobladores, y de las observaciones realizadas en campo; y de cómo estas se vinculan con los niveles de contaminación química y microbiológica del agua con un inadecuado manejo de los residuos agropecuarios, lo cual afecta las propiedades organolépticas y de calidad del agua al presentar indicadores microbiológicos de contaminación; así como el incremento de ciertos parámetros tanto en las aguas superficiales como subterráneas que conlleva a que ciertas fuentes de agua no sean aptas para el consumo humano sin tratamiento previo alguno. Otro aspecto importante es cómo la ubicación de las instalaciones pecuarias, letrinas o fosas sépticas, influyen en la calidad del agua de consumo humano; también el uso actual de la tierra cuando aplican plaguicidas y fertilizantes en zonas cercanas a las fuentes de agua, lo cual altera su calidad y afecta la salud de los pobladores.

#### **4.11 Inventario forestal**

Se realizó el análisis de 18 parcelas de muestreo distribuidas en la unidad de cuenca (en Anexo 8,7 se muestra su ubicación), con el objetivo de determinar la cobertura forestal (Figura 22). En la Foto 18 se presentan las actividades desarrolladas durante el inventario forestal. El análisis indica que muchas de estas áreas están destinadas a pastizales más árboles dispersos; otras en áreas de cultivo con árboles y cercas vivas; unas pocas en bosque intervenido; y algunas en barbecho con árboles.

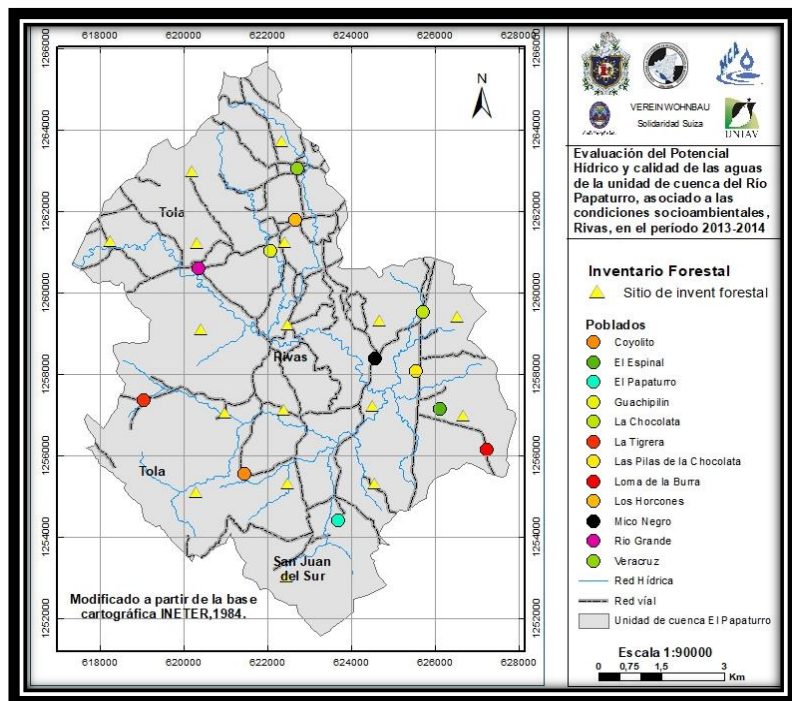


Figura 22..Ubicación de las parcelas de muestreo para realización del inventario forestal



Determinando diámetro a la altura del pecho.

Determinando porcentaje de sombra bajo la copa.

Vista de cobertura forestal en la unidad de cuenca.

Foto 18. Actividades desarrolladas en inventario forestal.



Como resultado del inventario forestal, se realizó un recuento de 278 especies vegetales que las clasificamos en 31 familias, distribuidas de la siguiente manera: *Boraginaceae* (22%), *Sterculiaceae* (17%) y las *Anacardiaceae* (14%); las que dominan la unidad de cuenca. De las familias menos numerosas fueron: *Annonaceae*, *Bixaceae*, *Bombacaceae*, *Cecropiaceae*, *Sapotaceae*, *Simarubaceae* y *Tiliaceae* que representaron cada una el 1%. En el Gráfica 29 se muestran las familias dominantes en porcentaje. Las de menos representación se agruparon en un solo conjunto para fines ilustrativos.

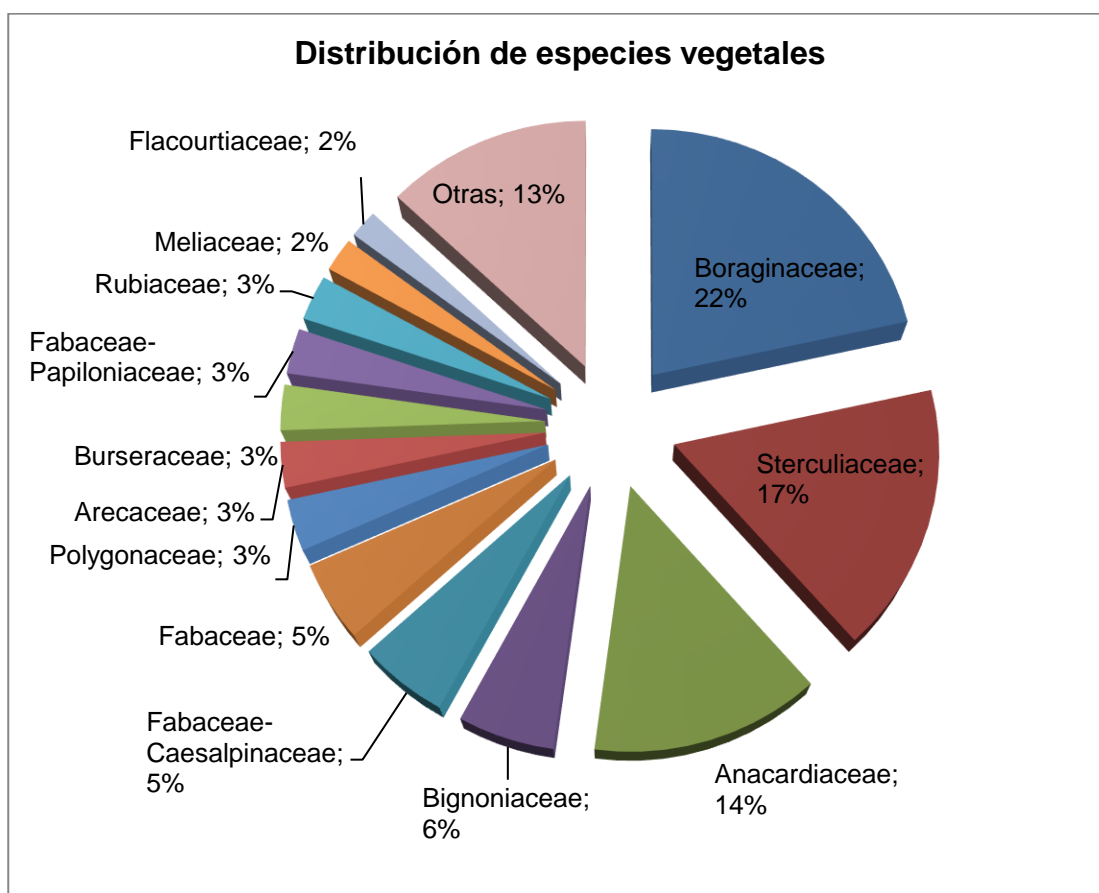


Gráfico 24. Especies vegetales distribuidas en la unidad de cuenca del Río Papaturre.

Por especie, se encontró que las más dominantes en la unidad de cuenca del Río Papaturre son: laurel (*C. alliodora*) ( $DE \pm 14.46$ ,  $n = 60$ ) y guácimo (*G. ulmifolia*) ( $DE \pm 13.71$ ,  $n = 47$ ) las cuales fueron las únicas especies de esta familia. En el Anexo 8.8 (Gráficos 51-53) se muestran estos resultados, a la vez que se resaltan otras especies que fueron de importancia en estos parajes.

La diversidad forestal en la unidad de cuenca del Río Papaturo está compuesta en su mayoría de árboles usados como madera para la construcción de muebles y leña; sin embargo, no son los más gruesos, generalmente presentan un diámetro a la altura del pecho ( $DAP \geq 10$  cm). Los árboles protectores encontrados principalmente en el bosque ripario (protector) son los de mayor diámetro a la altura del pecho, así como árboles dispersos en las cercas vivas. La mayoría de los terrenos tienen sitios de barbecho (árboles de sotobosque) y estos al igual que los medicinales presentan diámetro a la altura del pecho mucho mayor.

La composición del bosque es de especies preciosas y maderables, como pochote, cedro, caoba, roble y laurel; con diámetro a la altura del pecho cercano a 10 y 30 cm, y con baja cobertura de sombra. Se ha determinado que la cobertura vegetal o de sombra en los últimos años, llega al 48% (promedio por parcela), la cual ha sido muy afectada, ya que el bosque es secundario y terciario, dejando desprotegido el suelo. Las especies vegetales se han reducido y se observa una población arbórea muy joven, considerando su altura y su diámetro a la altura del pecho; la densidad de población encontrada es en promedio 16 árboles por parcela. Esto afecta la cuenca en cuanto a que deja desprotegido el suelo, hay menor profundidad de raíces, los poros del suelo se sellan, se limita el efecto de detención de la escorrentía y por tanto disminuye la infiltración y la recarga efectiva en la unidad de cuenca. Aunado a que esto también incrementa la erosión en la unidad de cuenca, y el posterior arrastre del suelo por escorrentía superficial hacia los cauces de los ríos, provocando la colmatación de éstos, y alteración en su calidad debido al incremento de sólidos totales, turbidez y hierro entre otros factores. La erosión también resulta en la sedimentación en los cuerpos lénticos.

En el Gráfica 30, se observa el uso que se le ha dado al suelo en la unidad de cuenca desde 1980 hasta el 2011 (INETER, 1984). Muchas de las áreas que fueron intervenidas con cultivos y pastizales en distintos períodos, actualmente se encuentran cubiertas de tacotales y matorrales; el bosque latifoliado cerrado que existía en los años 80, a partir del año 2000 pasa a ser bosque latifoliado abierto, el que presenta amplias áreas sin coberturas, expuestas a la erosión y disminuye la infiltración de las precipitaciones y por tanto disminuye la recarga.

Desde el 2011, los registros del INETER muestran que se tenía el 50% del área de la unidad de cuenca entre barbecho, matorrales y vegetación arbustiva (INETER, 1984). Todas estas áreas con manejo de la reforestación natural, aumentarían considerablemente (en un 70%) las áreas de cobertura vegetal, asegurando así, una mayor infiltración del agua, menor erosión y por tanto mayor recarga hídrica.

En áreas con coberturas superiores al 40% y con especies apropiadas en la zona de recarga, se mantiene el flujo del agua en los manantiales y/o quebradas, logrando la presencia de esta hasta que vuelven las nuevas precipitaciones; permitiendo el desarrollo de la vida silvestre y el consumo de agua de los acuíferos fracturados y/o colgados, con las condiciones climáticas históricas presentes en la zona, para las diferentes actividades antropogénicas.

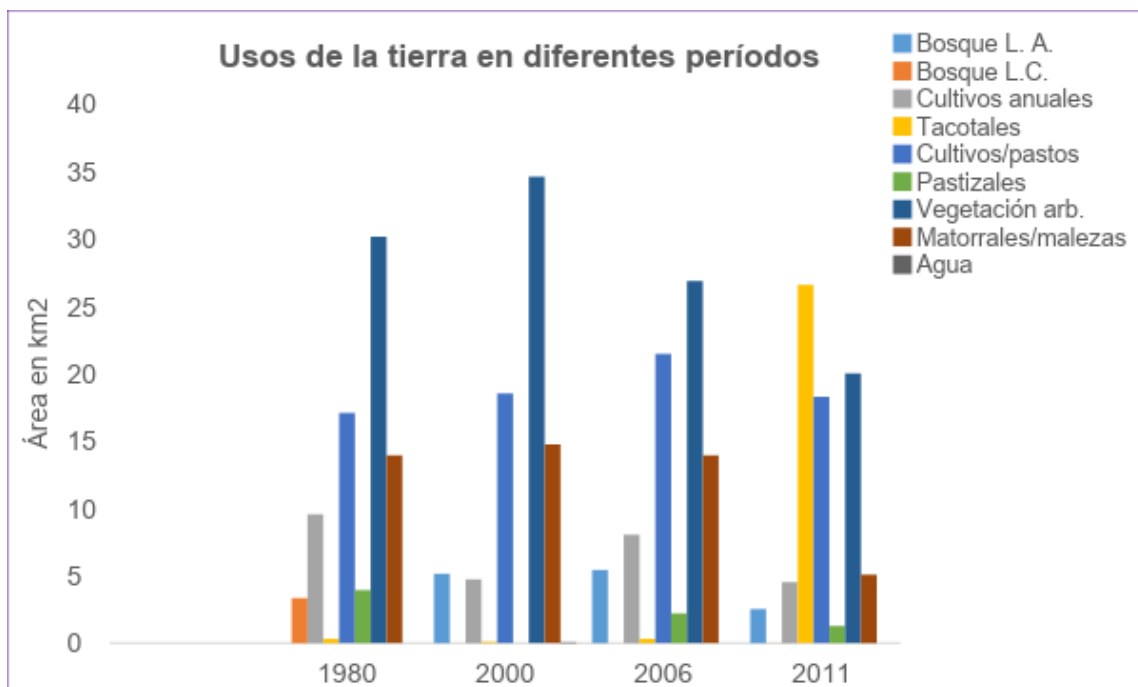


Gráfico 25. Relación de uso de suelos desde 1980 hasta el 2011.

De igual manera, en el Anexo 8.8 se reportan algunas características de la cobertura vegetal (uso, abundancia, distribución).

El uso actual que se pudo destacar en la realización de este estudio es para cultivos anuales, pasto con árboles dispersos y bosque latifoliado abierto. Al contrastar con los mapas de uso desde los años 80 hasta la actualidad se observa una reducción del bosque, para dar paso a los pastizales y el barbecho. Estos suelos presentan un uso potencial para bosques de producción y ganadería extensiva.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

La unidad de cuenca del Río Papaturro en su mayoría está conformada por acuíferos fracturados, y una pequeña porción por acuíferos aluviales cercanos a las zonas ribereñas (50 a 100 m) y de poca profundidad; sin embargo, las comunidades de La Tigra, Los Horcones y Nevada están asentadas sobre la Formación Brito, que es considerada el basamento del acuífero.

Con excepción de las comunidades antes mencionadas, la disponibilidad de agua en la unidad de cuenca del Río Papaturro se considera suficiente a lo largo del año, de acuerdo con el uso que realiza la población y a la proyección del futuro crecimiento demográfico.

Las aguas superficiales de la unidad de cuenca del Río Papaturro son insuficientes, ya que la mayor parte de las precipitaciones se pierden por evapotranspiración, escorrentía superficial y por el carácter influente del río en la mayor parte de su recorrido.

El carácter influente en gran parte de su recorrido, para la mayoría de los ríos de la unidad de cuenca; así como las pérdidas por evapotranspiración y escorrentía superficial, resultan en volúmenes insuficientes de agua. No obstante, en los ríos El Coyolito, El Pedernal y Veracruz, la cobertura vegetal y su distribución permiten que los niveles de agua superficial se mantengan durante todo el año.

La geología presente en la unidad de cuenca, le confiere un carácter bicarbonatado-cálcico-magnésico ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ) a las aguas superficiales y subterráneas; con excepción del PE-4 cuya agua es bicarbonatada cálcica sódica ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ ).

Las aguas de la unidad de cuenca no son aptas para consumo humano sin un tratamiento previo; esto debido a la presencia de indicadores de contaminación fecal, así como a los elevados contenidos de carbonatos de calcio y magnesio, y la presencia de cloruros y sulfatos en el suroeste del área de estudio.

Las aguas superficiales y subterráneas son aptas para la irrigación de cultivos, con excepción del PE-4 el cual es apto para riego de cultivos tolerantes a la salinidad.

Las inadecuadas prácticas de saneamiento e higiene, así como el daño en la infraestructura de los pozos, afectan la calidad del agua y por ende la salud de la población.

## **CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES**

Realizar un plan de acción enfocado a priorizar las actividades de captación de agua para las comunidades de La Tigrera, Nevada y Los Horcones, en el cual participen las Alcaldías de Rivas, Tola, y San Juan del Sur en conjunto con las organizaciones de pobladores de la unidad de cuenca.

Mejorar y extender la cobertura vegetal de la unidad de cuenca, a través de la reforestación; la regeneración natural; manejo del barbecho y matorrales; la implementación de sistemas de cultivos adecuados a las condiciones del área; la realización obras de conservación de suelos y agua, que garanticen una mejor detención e infiltración de las precipitaciones; contribuyendo a proteger las zonas de recarga y la disponibilidad de agua.

Promover la participación comunitaria de la unidad de cuenca en temas de educación ambiental dirigida a la conservación y sostenibilidad de los recursos hídricos; así como también con la salud, saneamiento y el uso de los filtros de agua.

Que las alcaldías y organizaciones locales gestionen proyectos que permitan acciones de mejora de infraestructura, mantenimiento y cuidado de los pozos; y la re-ubicación de estos con respecto a las fuentes de contaminación.

## CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, F. (2008). *Suelos, Capacidad de uso de la tierra y conflictos de uso*. Rivas, Nicaragua.: AMUR.
- Anaya. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica de Chinchao*. Huánuco, Perú.
- Anaya, O. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca Chinchao, Huanuco*. Tingo María, Perú: Universidad Agraria de la Selva.
- Appelo, C. P. (1996). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam: Third corrected print. A.A .
- Bateman, A. (2007). Hidrología básica y aplicada. Grupo de investigadores en transporte de sedimentos. *UPC WWW.gts.ws*.
- Beltran, J. (1994). *Calidad del Agua Subterránea. Diseño de un sistema de análisis de agua*. Santafé de Bogotá, Colombia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil.
- Borgia, A. (2003). *The volcano-tectonic evolution of Concepción, Nicaragua*. *Bull Volcano*. DOI 10. 1007/s00445-002-0256-8.
- Boul, S. H. (1991). *Génesis y clasificación de suelos*. México: Trilas, río Churubusco.
- Breña, & Jacobo. (2006). *Principios y fundamentos de hidrología superficial*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Buitrago, N. (2005). *Evaluación del potencial hídrico del entorno de la ciudad de Boaco. Tesis de grado*. Managua.: RED CARA, CIRA-UNAN, Managua.
- Caballero, Y. (2007). *Potencial hídrico y calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Ochomogo*. Managua: Tesis de grado, RED CARA, CIRA-UNAN, Managua.
- Campos, A. (1987). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luís Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luís Potosí, México.
- CAPRE. (1994). *Norma de calidad de agua para consumo humano*. Zapote, San José, Costa Rica.: Comité coordinador regional de instituciones de agua potable y saneamiento de centroamérica, Panamá y República dominicana.
- CATASTRO. (1971). *Levantamiento de suelos del pacífico de nicaragua, Vol. II, parte 2. Descripción de suelos*. Managua, Nicaragua.
- CATASTRO. (1971). *Levantamiento de suelos del pacífico de Nicaragua, Vol. II, parte 2. Descripción de suelos*. Managua, Nicaragua.
- CENAGRO, I. (2005). *III Censo Nacional Agropecuario 2005*. Managua: Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR).
- CIRA. (2007). *Evaluación del estado actual (calidad y cantidad) y estimación de la dinámica de recarga de los mantos freáticos en la franja costera del Municipio de Tola*. Alcaldía de Tola, Cooperación Técnica Alemana, GTZ Masrenace, Tola. Managua, Nicaragua: CIRA-UNAN.
- Cisneros, J. C. (2012). *Erosión hídrica, principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto-Córdoba, Argentina.: 1° edición, UNIRIO.



- CNNTMED. (2008). *Norma técnica para el diseño y potabilización el agua*. Managua, Nicaragua.: Comisión Ncional de Nrmalización Técnica, Ministeri de Economía y Desarrollo.
- CONAGUA. (2015). *Actualización e la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chilpansingo (1228)*. Guerrero, México: CONAGUA. Recuperado el 2016
- Custodio. (2001). *Hidrología Subterránea* (Vol. 2ª Edición). Barcelona., ESpaña.: Ediciones Omega. S. A.
- Custodio, E. y. (1976). Barelona, España.: Ediciones Omega S. A., Brelona. Primera edición . Tomo I y II.
- Davie, T. (2002). *Fundamentals of hidrology* (Vol. Second edition). (J. Gerrard, Ed.) London and New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Del'Amico, J. M. (2011). Cultivos tropicales. Monitoreo de la calidad del agua para fuentes de abasto subterráneo en la parte alta de la cuenca Almendares-Vento. *Instituto ncional de ciencias agrícolas, Ministerio de Educación Superior, Cuba, Vol 32, N° 4., 71-81 p.*
- Delgadillo, O., & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del agua (Centro agua), Universidd mayor de San Simón.
- Domínguez, F., Gómez, A., & Gómez, A. (2003). *El análisis morfométrico con sistemas de información geográfica, una herramienta para el manejo de cuencas*. Instituto de investigaciones sobre los recursos naturales, Morelia.
- ENACAL. (2004). <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Acervo/003135/003135Cap04.pdf>. Managua: ENACAL.
- EPA. (1986). *Quality Criteria for Water*. Washington DC, USA: United Stater Enviromental Protection Agency.
- Fagundo, J. G. (2005). Hidrogeoquímica. *Centro nacional de medicina natural y tradicional, Ministeri de salud pública, la Habana, cuba*.
- FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture-FAO irrigation and drinage*. Roma, Italia. doi:ISBN 92-5-103135-5
- FAO. (2009). *Manual para la recolección de datos integrados de campo. Monitoreo y evaluación de recursos forestals nacionales*. Roma, Italia.: FAO.
- FAO. (2015). *Geología, clima y población*. Nicaragua: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/NIC/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/NIC/indexesp.stm).
- FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para gestión y uso sostenible de los suelos en areas rurales*. Bogota, Colombia.
- FAO/OMS. (2011). *Normas alimentarias*. Ginebra, suiza: FAO/OMS.
- Fenzl, N. (1989). *Nicaragua: Geografía, clima, geología e hidrología*. . Managua, Nicaragua: Belem, UFP/INETR/INAN.
- Fetter, C. (2001). *Applied hidrogeology*. (U. o. -Oshkosh, Ed.) New Jersy: 4th. Ed. Prentice Hall. International.
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos, laboratorio de Física de Suelos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, depto de edafología.
- Forsythe. (1985). *Física de suelos: manual de laboratorio*. San José, Costa Rica: IICA.

- Forsythe, W. (1967). *Densidad de partículas de suelos, método con agua y querosene, curso de física de suelos*. Turrialba, Costa Rica: IICA.
- Galindo, M. (1996). *Métodos y técnicas de investigación*. México.: Editorial Trillas, tercera reimpresión.
- García, A. (2012). *Criterios modernos para evaluar la calidad del agua para riego*. [http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6%20Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-la hp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf).
- Guía, L. (23 de Julio de 2007). *La Guía 2000*. Recuperado el 03 de Octubre de 2018, de La Guía 2000: <https://geografia.laguia2000.com/climatologia/nicaragua-clima-y-vegetacion>
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Prentice Hall.
- Hecht. (1989). Mapa Hidroquímico de la región del Pacífico. INETER.
- Hem, J. D. (1989). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 604 South Pickett St. Alexandria, VA 22304, United States of America: U. S. Geological Survey - Supply Paper 2254.
- Hiscock, K. (2005). *Hidrogeology, principles and practice*. 311p. Malden, Oxford.: Blackwell Science. Ltd.
- Hodgson, G. (1998). *fundamentos de geología relativo a Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Tercera edición, 194 p.
- IANAS. (2012). Diagnóstico del agua en las Américas. ISBN: 978-607-9217-04-4. *Foro consultivo científico y tecnológico, Ac (IANAS)*.
- INAA. (1999). *Norma para el diseño de sistemas de abastecimiento y potabilización de las aguas (NTON 09003-99)*. Managua, Nicaragua: INAA, ENACAL.
- INEC. (2005). *VIII Censo de población y IV de vivienda, cifras oficiales*. Managua, Nicaragua: Censos Nacionales.
- INETER. (1984). *Shape WGS84, de ordenamiento territorial, cobertura vegetal (1980,2000,2006,2011) y otros elementos del territorio*. Managua: INETER.
- INETER. (1998). *Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua*. 170 p. Managua: Dirección de recursos hídricos, dirección Hidrogeológica. INETER.
- INETER. (2005). *Estudio climatológico de la región del Pacífico de Nicaragua*. Managua: INETER.
- INETER. (2013). *Datos meteorológicos de nicaragua*. Managua, Nicaragua.
- INETER, ANA, UNI, GIZ-PROATAS. (2014). *Cuencas hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. Managua, Nicaragua: INETER.
- INETER, COSUDE, GTZ. (1998). *Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: INETER.
- INIDE-MAGFOR. (2013). *IV Censo Nacional Agropecuario, Instituto Nacional de información de desarrollo (INIDE) y Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), departamento de Rivas y sus municipios*. Managua.
- IV CENAGRO. (2011). *IV Censo Nacional Agropecuario del 2011*. Managua: Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), Ministerio de Agricultura y Forestal (MAGFOR) .
- Kennedy, A. (2000). *Manual de aforos*. México.: Reimp. 2° ed-<méxico: IMTA.
- Krásný. (1998). *Estudios Hidrogeológicos e Hidroquímicos de la Región Pacífica de Nicaragua*. Managua, Nicaragua.: COSUDE: INETER: GTZ.

- Krásný, J. (1998). *Hidrogeología de la Zona Pacífica de Nicaragua*. INETER. Managua: INETER. Recuperado el 05 de octubre de 2018
- Kuang, J. (1971). *Estudio geológico del pacífico de Nicaragua, división de geología. informe N°3*. Managua, Nicaragua.: CATASTRO e inventario de recursos naturales.
- Losilla, M. (1986). Protección de las zonas de recarga de los acuíferos, en bases hidrológicas para el manejo de cuencas. *Revista Geológica de América Central. Costa Rica*.
- MAGFOR. (2003). *Plan nacional de desarrollo. Estrategia para el desarrollo productivo. Managua, Nicaragua*. Managua.
- MARENA. (2003). *plan de acción nacional ante el cambio climático*. Managua, Nicaragua.: Ministerio de Agricultura y el ambiente.
- Marín Castillo, E. J. (Mayo de 2017). NicaraguaGeología de la Región Pacífica NicaraguaGeología de la Región Pacífica NicaraguaGeología de la Región Pacífica NicaraguaGeología de la Región Pacífica NicaraguaGeología de la Región Pacífica NicaraguaGeolog. *Revista de Temas Nicaragüenses*(109), 305-3018. Recuperado el 03 de Octubre de 2018, de <http://www.temasnicas.net/>
- Marín, E. (1972). Geología de la región pacífica de Nicaragua. *Revista de temas Nicaragüenses*, 14.
- McJunkin, E. (1986). *Agua y salud humana*. Mexico: Limusa S.A.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas*. Mexico.
- Monge, M. (24 de Abril de 2017). Interpretación de un análisis de agua para riego. *iagua*. Recuperado el 26 de marzo de 2019, de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>
- Mostacedo, B. F. (2000). *Manual de métodos básicos e muestreo y análisis en ecología vegetal*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: El país.
- Navarro, S. (2008). Escala de tiempo geológico, para la geología de Nicaragua. 14.
- NTON. (1999). *Norma técnica para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua*. Managua: INAA.
- OMS. (1987). *Guía para la calidad del agua potable. Vol 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Publicación científica N° 506*. Washington D.C.: OMS.
- OMS. (2006). *Guías para el comité coordinador regional de instituciones de agua potable y calidad del agua potable, Vol I, recomendaciones*. Washinton, D.C.: OMS.
- OPS-OMS- ENACAL. (2004). *Análisis sectorial del agua y saneamiento en Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Gobierno de Nicaragua y OPS.
- Ordoñez G, j. J. (2011). *Cartilla técnica: aguas subterráneas- acuíferos*. Lima-Perú: Sociedad geográfica de Lima.
- Ordoñez, J. (2011). *Qué es cuenca hidrográfica, cartilla técnica aguas subterráneas superficiales*. Lima, Perú.: Foro Peruano para el agua GWP Perú.
- Peña, M. H. (2011). *Plan de Manejo y ordenamiento de fincas en Microcuenca Papaturro*. INAFOR, AMUR y Alcaldía de Rivas, Rivas, Nicaragua.

- Porta, J., & López, M. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Ríos, N. (2006). *Parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica*. Turrialba, Costa Rica: Recursos Naturales y el Ambiente, Costa Rica.
- Roldan, G. (1992). *Fundamentos de la Limnología neotropical*. Medellín, Colombia.: Editorial Universidade Antioquía.
- Rosenberry, D. a. (2008). *Field Techniques for Estimating Water Fluxes Between surface Water and Ground Water. Techniques and methods 4-D2*. U. S. Department of the Interior, Reston , Virginia.: U. S. Geological Survey. .
- Salas-Aguilar, V. M., Pinedo-Álvarez, C., Viramontes-Olivas, O. A., Báez-González, A. D., & Quintana-Martínez, R. M. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, V(1), 34-42.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del trópico características y manejo. Departamento de ciencias del suelo*. Carolina del Norte, Raleigh, EUA.: Primera edición en español por IICA, 643p.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del trópico características y manejo. Departamento de la ciencia del suelo*. Carolina del Norte, Raleigh, EUA.: Primera impresión en español por IICA, 643p.
- Schosinsky & Losilla. (13 de Noviembre de 2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. (E. C. Geología, Ed.) *Revista Geológica de America Central*, 23:43-55, 2000, 18.
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. . *Revista Geológica de América Central*, 34-35: 13-30. ISSN: 0256-7024. Año 214-2060, Costa Rica.
- Serrano, L. A. (2019). *Importancia del análisis socioambiental*. Recuperado el 26 de marzo de 2019, de <https://www.monografias.com/trabajos92/importancia-del-analisis-socioambiental/importancia-del-analisis-socioambiental.shtml#estrategia>
- SILAIS-Rivas. (2013). *Estadística de morbilidad en el departamento de Rivas*. Rivas: SILAIS- Rivas.
- Solcolov, A. y. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico: Guía internacional de investigación y método*. Instituto de hidrología de Madrid, España. Madrid, España.: UNESCO, Servicio de ediciones del Centro de Estudios Hidrológicos de España con el número 141.
- Staff, Soil survey. (1975; 2003). *Soiltaxonomy: a basic sistem of soil clasification for making and interpretation soil survey*. Washington DC: US Department of agriculture soil conservation service.: A.H. 436.
- Suthersan, S. (1997). *Remediation Engineering. Design Concepts*. Edition CRS Lewis.
- Taller Electromecánico. (2017). *Construcción de pozo N° 3, CAPS Los Horconcitos, Rivas*. Rivas, Rivas.
- Thomas, W., Judson, H., & William, A. (1998). *Grand water and surface water a single resource*. Denver, Colorado, US: U. S. Geological Survey circular 1139.

- UNESCO. (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevideo, Uruguay.
- Villanueva Martínez, M., & Iglesias López, A. (1984). POZOS Y ACUÍFEROS. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO. En V. M. Manuel, & A. Iglesias López, *POZOS Y ACUÍFEROS. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO* (pág. 17). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Villanueva, M., & Iglesias, A. (1984). *Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Madrid, España: Talleres gráficos Iberguesa.
- Villon, M. (2002). *Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola*. Lima, Perú: 2° Edic. Ediciones Villon.
- Weight, W. D. (2004). *Manual of Applied Field Hydrogeology*. Mc Graw Hill.
- Weight, W. D. (2004). *Manual of Applied Field Hydrogeology*. En W. D. Weight, *Manual of Applied Field Hydrogeology* (págs. 224, 234-242). McGraw Hill.
- West, P. (2009). *Tree and forest measurement*. . Lismoe, Australia: 2° edicion, School of Enviroment Science and Management. Southern cross University.
- WHO. (2008). *Guidelines for drinking water quality. Therd edition. incorporation the first and second ADDENDA. Valume recomendation*. Genova: Wold Health Organization.
- Wisconsin, G. (2010). *Estudio hidrogeológico- abastecimientode agua potable de San Francisco (Los Horconcitos, Veracruz, Rivas)*. Empresa perforadora de pozos. Ingeniería para el Desarrollo. S. A., Rivas, Rivas.

## CAPÍTULO 8. ANEXOS

### 8.1 Características de suelos

Tabla 26. Características de suelos en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Comunidad	Densidad Aparente	Textura	Prof (cm)	Horizonte	% MO oxidable	Capacidad de campo (%)
Veracruz	1.124	253936FA	20	A1	2.68	23.82
Veracruz	1.213	253736FA	40	A2	1.21	29.86
Veracruz	1.302	273835FA	60	A2B	0.26	29.41
Veracruz	1.402	183448A	120	B	0.26	30.71
Veracruz	1.532	303535FA	180	BC	0.13	23.71
Veracruz	1.642	403822F/FA	5	A1	4.5	24.52
Veracruz	1.721	252946A	50	A2	2.68	26.59
Veracruz	1.575	273538FA	120	BC	1.32	22.82
Veracruz	1.627	582616Fa	90	Bs	0.23	21.88
Veracruz	1.727	192754A	83	A2B	1.45	31.04
Veracruz	1.240	423424F	20	A1	3.04	29.16
Veracruz	1.130	394318F	45	A2	0.39	34.53
Veracruz	1.342	423820F	60	A2b	0.53	33.5
Veracruz	1.423	334027FL/FA	90	B1	0.79	36.97
Veracruz	1.456	305317FL	130	B2	0.53	34.42
Veracruz	1.502	413227FL/FA	160	B2C	0.13	33.29
Veracruz	1.556	453322F	200	C	4.24	33.69
Mono Negro	1.231	543016 Fa	15	A1	2.7	25.14
Mono Negro	1.342	681814 Fa	30	A2	2.4475	23.44
Mono Negro	1.701	662014 Fa	90	B	2.445	25.4
Mono Negro	1.532	502822 F-Faa	167	C	1.855	25
Mono Negro	1.672	441640 FA-A	180	D	1.5725	31.47
Mono Negro	1.231	563014 Fa	20	A1	2.115	24.02
Mono Negro	1.678	622612 Fa	49	A2	2.205	23.4
Mono Negro	2.018	502624 FAa	62	A2B	2.0075	25.99
Mono Negro	2.031	462232 Faa	75	B1	1.695	28.73
Mono Negro	2.052	523018 F-Fa	140	B2	1.4325	26.4
Nevada	2.074	641026 FAa	80	A1	2.0975	29.22
Nevada	1.976	582022 FAa	145	A2	1.575	28.83
Nevada	1.914	562024 FAa	200	B	1.3625	29.47
Loma Burra	1.835	562618 Fa	40	A	2.7325	37.53
Loma Burra	1.871	402040 A	80	B	1.215	26.87
Loma Burra	1.859	401644 A	120	BC	1.1925	29.17

Loma Burra	1.803	602416 Fa	55	A	2.25	34.53
Loma Burra	1.832	582218 F	75	B1	1.8625	30.45
Loma Burra	1.887	572120 F	200	B2	0.6125	24.26
Loma Burra	1.558	701614 Fa	25	A1	2.5575	24.18
Loma Burra	1.736	681418 Fa	41	A2	2.4275	26.57
Loma Burra	1.623	661420 Fa-FAa	46	B1	2.33	28.85
Loma Burra	1.5201	621820 Fa-FAa	200	B2	2.105	29.31
Loma Burra	1.583	761212Fa	7	A	3.33	25.89
Loma Burra	1.663	562816 Fa	97	B	1.7	28.28
Loma Burra	1.435	523216F/Fa	200	C	1.47	27.7
La Chocolata	1.253	463420F	30	A	0.13	25.89
La Chocolata	0.877	503218F	54	b	0.14	25.49
La Chocolata	1.525	423424F	90	BC	0.88	23.42
La Chocolata	2.73	582616Fa	100	C	0.64	19.72
Coyolito	1.623	602614Fa	20	A	0.4	25.5
Coyolito	1.828	462430FAa	70	B1	3.75	29.97
Coyolito	1.866	443026F	125	B2	1.64	31.42
Chocolata	1.734	582814 Fa	70	A1	2.415	24.36
Chocolata	1.888	562024 FAa	145	A2	1.6075	28.35
Chocolata	1.831	523018 F-Fa	200	A2B	1.7625	28.46

F: franco

Fa: franco arenoso

FA: franco arcilloso

FAa: franco arcillo arenoso.

## 8.2 Datos climáticos

Tabla 27. Temperaturas: medias, máximas y mínimas. del Departamento de Rivas.

Temperaturas máximas medias y mínimas de Rivas.													
Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Md
T Máx (°C)	29.42	30.18	31.42		31.97	30.43	30.00	30.37	30.26	30.01	29.61	29.24	30.44
T Med (°C)	26.18	26.55	27.61	28.54	28.35	27.25	26.95	27.04	26.81	26.69	26.56	26.25	27.07
T Mín (°C)	23.23	23.42	24.05	24.96	25.00	24.43	24.32	24.21	23.77	23.76	23.83	23.60	24.07

Tabla 28. Cálculo de evaporación potencial en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Cálculo de ETP por fórmula de Hargreaves simplificada; utilizando los datos de la estación 69070 (Rivas) de INETER										
Mes	Promedios Mensuales de Temperatura				Radiación Extraterrestre.		Evapotransp. Potencial			
	Temp Máx (°C)	Temp Med (°C)	Temp Min (°C)	(TMx-TMin) <sup>0.5</sup>	RO (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	RO (mm/d)	ETP (mm/d)	Días	ETP mm/mes	
Ene	29.42	26.18	23.23	2.49	31.4	12.8	3.2	31	99.92	
Feb	30.18	26.55	23.42	2.60	34.2	13.9	3.7	28	103.4	
Mar	31.42	27.61	24.05	2.72	36.7	15.0	4.2	31	131.6	
Abr	32.43	28.54	24.96	2.73	38.0	15.5	4.5	30	135.3	
May	31.97	28.35	25.00	2.64	37.8	15.4	4.3	31	133.8	
Jun	30.43	27.25	24.43	2.45	37.3	15.2	3.9	30	115.9	
Jul	30.00	26.95	24.32	2.38	37.4	15.2	3.7	31	115.9	
Ago	30.37	27.04	24.21	2.48	37.7	15.4	3.9	31	121.8	
Set	30.26	26.81	23.77	2.55	37.0	15.1	3.9	30	118.4	
Oct	30.01	26.69	23.76	2.50	34.8	14.2	3.6	31	112.6	
Nov	29.61	26.56	23.83	2.40	32.0	13.0	3.2	30	95.9	
Dic	29.24	26.25	23.60	2.37	30.1	12.3	2.9	31	91.4	
<b>TOTAL</b>									<b>1376</b>	



Tabla 29. Registro pluviométrico (mm/años) en las estaciones de INETER en el Departamento de Rivas.

<b>Estaciones de registro pluviométrico en mm/año.</b>				
<b>Año</b>	<b>San Juan Sur</b>	<b>La Virgen</b>	<b>Tola</b>	<b>Rivas</b>
1970	3034.1	1818.1	1717.4	1714.2
1971	1705.9	1878.7	1868.2	1803.3
1972	1149.7	1105.9	922	1000.5
1973	3082	1786.6	1881.55	1617.6
1974	1634.2	1208.4	1301.2	1358.8
1975	1501.6	1499.2	2022.7	1374.2
1976	691.2	1071.3	728.3	1025.7
1977	980.9	983.5	1121.2	1124.4
1978	1202.8	1477.1	1331	1417.8
1979	2043.4	1608.9	2001.1	2410.1
1980	1622.2	1897.8	1522.6	1831.1
1981	1973.9	1795.3	1712.3	1721.9
1982	873.9	1357.1	1675.4	1590.5
1983	825	1262.5	1257.2	1237
1984	1599.2	1722.5	1623.7	1600.8
1985	786.5	1236.87	1314	1136.2
1986	1054.4	1377.5	1278.4	1530.2
1987	438.9	850.46	676.3	905.2
1988	1196.1	2199.7	2538.2	2117.3
1989	419.94	897	946.5	1163.4
1990	934	1223.9	1050.6	1040.2
1991	594.4	620.9	1182.64	1039.4
1992	414.6	1249.1	774.1	1143.5
1993	764	2075.3	1462.7	1533.4
1994	798.5	1328	941.2	851.9
1995	1581	2195.4	2081.2	2061.2
1996	1747.2	2638.6	1901.5	1601.9
1997	809	1241.7	980	1246.6
1998	1357.4	2030.4	1538.2	1891.5
1999	952.7	1920.8	1417.7	1815.4
2000	820.7	1889.1	1168.8	1317.1
2001	1287.4	1276.7	1260.1	1289.6
2002	1199.1	1616.8	911	1208.6
2003	1407.1	1784	1606.2	1672.2
2004	832.6	1485.9	1190.6	1512.5
2005	1213.4	2362.7	1784.5	2086.8

2006	620.8	695.4	922.62	993.5
2007	1633	1475.9	1707.5	1830.3
2008	1795.4	2533.6	1987.1	1907.6
2009	496.9	935.1	928.4	1162
2010	1147.5	1985.6	1689.4	1684.3
2011	1499.5	1778	1769.3	1892.8
2012	824	965.2	971	1017.9
2013	1066.9	1325.9	1572.3	1363.4
<b>Promedio</b>	<b>1218.5</b>	<b>1537.9</b>	<b>1414.5</b>	<b>1473.7</b>

Tabla 30. Resumen de pluviometría del 2013 (mm/mes) en la unidad de cuenca del Río Papaturro.

<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Sitio</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
623063	1254004	María R.	40	135	155	177	329	405	141	88	1468
624072	1254672	Alba S.	113	251	101	161	413	262	105	0	1406
626135	1258477	EIAG. 1	139	160	144	110	277	245	172	8	1255
627840	1258423	EIAG. 2	185	165	165	168	270	270	205	0	1428
626824	1264479	Est. 69070	172	214	203	142	267	248	106	9	1359
622355	1255916	Tirson J.	201	166	142	197	363	246	140	12	1467
625607	1255266	Paulino R.	95	150	255	157	120	265	302	110	1453
622942	1262451	Alfredo U.	85	130	150	122	266	325	134	0	1212
620309	1257495	Ariel G.	80	170	175	182	296	297	117	0	1317

Valores de N no corregidos

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	—	77	86	91	94
Cultivos en surcos	Surcos rectos	> 1%	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1%	67	78	85	89
	Contorno	> 1%	70	79	84	88
	Contorno	< 1%	65	75	82	86
	Terrazas	> 1%	66	74	80	82
	Terrazas	< 1%	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	> 1%	65	76	84	88
	Surcos rectos	< 1%	63	75	83	87
	Contorneo	> 1%	63	74	82	85
	Contorneo	< 1%	61	73	81	84
	Terrazas	> 1%	61	72	79	82
	Terrazas	< 1%	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1%	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1%	58	72	81	85
	Contorneo	> 1%	64	75	83	85
	Contorneo	< 1%	55	69	78	83
	Terrazas	> 1%	63	73	80	83
	Terrazas	< 1%	51	67	76	80
Pastizales	Sin contorneo	> 1%	68	79	86	89
	Sin contorneo	< 1%	39	61	74	80
	Contorneo	> 1%	47	67	81	88
	Contorneo	< 1%	6	35	70	79
Pradera permanente	--	< 1%	30	58	71	78
Bosques naturales:						
a) Muy ralo			56	75	86	91
b) Ralo			46	68	78	84
c) Normal			36	60	70	77
d) Espeso			26	52	62	69
e) Muy espeso			15	44	54	61
Caminos:						
a) De terracería			72	82	87	89
b) Con superficie dura			74	84	90	92

### 8.3 Escorrentía curva número.

Tabla 31. Valores N corregidos. para cálculo de escorrentía. utilizando curva número.

Tabla 32. Tipo de suelo en función de la textura.

Tipo de suelo	Textura del suelo
<b>A</b>	Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables
<b>B</b>	Arenas finas y limos
<b>C</b>	Arenas muy finas. limos. suelos con alto contenido en arcilla
<b>D</b>	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana; suelos muy impermeables

Tabla 33. Valores de N para corregir. según condición de humedad.

Valores de N corregidos.		
N	N con corrección A	N con corrección B
0	0	0
10	4	22
20	9	37
30	15	50
40	22	60
50	31	70
60	48	78
70	51	85
80	63	91
90	78	96
100	100	100

Tabla 34. Umbral de escorrentía. cuando la precipitación es > 25 mm 0 < 50 mm en 5 días; en la unidad de cuenca del Río Papaturre.

Para 2.5 < P5 < 5 cm ⇒ No se corrige.		Para P5 < 2.5 cm ⇒ Corrección A	Para P5 > 5 cm ⇒ Corrección B
Po (cm)	1.7187152	3.88576068	0.70390072
Po (mm)	17.1872	38.8576	7.03901
<b>Umbral de Escorrentía P<sub>o</sub></b>	$P_n = \frac{(P_{acum} - P_o)^2}{P_{acum} + 4P_o}$		

Tabla 35. Hoja de registro. datos de caudal de ríos. en unidad hidrográfica del Río Papaturro.

<b>Tipo de molinete</b>		Equipo utilizado: Scientific Instruments in: USGS Type AA Model 6200.									
n = r/t		A = As * h		As = (b2-b1)/2							
<b>E:</b> 624774		<b>N:</b> 1257535		<b>Elevacion:</b> 42 msnm				<b>Ancho:</b> 5 m			
v: Velocidad; As: Ancho de la sección; n: Revoluciones por segundo; A: Área de la sección; t: tiempo (s)				<b>Ecuación:</b> V = rev/s x 2.2049+0.0178 x 0.0348				Q = A * v Q: Caudal; A: área; v: velocidad			
Nombre del Río	Dist. (m)	Prof. (m)	Prof. Med. (m)	t. (s)	Rev (n)	n rev/s	v (m/s)	As (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Fecha: 12-10-13
Papaturro-Cascabel	0	0.06	0.036	30	0.2	0.007	0.015	0.25	0.015	0.0002	
	0.5	0.08	0.048	30	0.3	0.010	0.023	0.50	0.040	0.0009	
	1.00	0.110	0.066	30	2.8	0.092	0.203	0.50	0.055	0.0111	
	1.50	0.110	0.066	30	3.4	0.113	0.249	0.50	0.055	0.0137	
	2.00	0.120	0.070	30	3.9	0.130	0.287	0.50	0.060	0.0172	
	2.50	0.160	0.096	30	4.3	0.143	0.317	0.50	0.080	0.0253	
	3.00	0.200	0.120	30	3.6	0.118	0.262	0.50	0.100	0.0262	
	3.50	0.180	0.108	30	2.7	0.091	0.202	0.50	0.090	0.0181	
	4.00	0.150	0.090	30	2.6	0.086	0.190	0.50	0.075	0.0143	
	4.50	0.100	0.060	30	0.3	0.010	0.023	0.50	0.050	0.0011	
	4.75	0.060	0.036	30	0.2	0.01	0.015	0.25	0.015	0.0002	
<b>Total</b>								<b>5.00</b>	<b>0.64</b>	<b>0.13</b>	<b>11102.26 m<sup>3</sup>/d</b>

Tabla 36. Hoja de registro. datos de caudal de ríos. en unidad hidrográfica del Río Papaturro.

Tipo de molinete		Equipo utilizado: Scientific Instruments in :USGS Type AA Model 6200									
n = r/t		A = As * h		As = (b2-b1)/2							
E: 624774		N: 1257535		Elevación: 42 msnm				Ancho: 1.8 m			
v: Velocidad; As: Ancho de la sección; n: Revoluciones por segundo; A: Área de la sección; t: tiempo (s)				Ecuación: V = rev/s x 2.2049+0.0178 x 0.0348				Q = A * v Q: Caudal; h: Profundidad			
Nombre del Río	Dist. (m)	Prof (m)	Prof. Med. (m)	t. (s)	Rev (n)	n rev/s	v (m/s)	As (m)	Area (m²)	Caudal (m³/s)	Fecha
La Chocolata	0.5	0.07	0.042	30	3.42	0.114	0.252	0.5	0.035	0.0088	12-10-13
	1	0.07	0.042	30	0.92	0.031	0.068	0.5	0.035	0.0024	
	1.5	0.04	0.024	30	0.57	0.019	0.042	0.8	0.032	0.0014	
<b>Total</b>								<b>1.8</b>		<b>0.0125</b>	<b>1084 m³/d</b>
<b>E:</b>		<b>N:</b>		<b>Elevación: msnm</b>				<b>Ancho: 1.75 m</b>			
Nombre del Río	Dist. (m)	Prof (m)	Prof. Med. (m)	t. (s)	Rev (n)	n rev/s	v (m/s)	As (m)	Área (m²)	Caudal (m³/s)	Fecha
Veracruz	0.25	0.05	0.03	30	2.17	0.072	0.160	0.25	0.013	0.0020	12-10-13
	0.5	0.07	0.04	30	6.92	0.231	0.509	0.25	0.018	0.0090	
	0.75	0.08	0.05	30	11.00	0.367	0.809	0.25	0.02	0.0162	
	1	0.07	0.04	30	7.00	0.233	0.515	0.25	0.018	0.0091	
	1.25	0.07	0.04	30	1.92	0.064	0.141	0.25	0.018	0.0025	
	1.5	0.05	0.03	30	1.00	0.033	0.074	0.5	0.025	0.0019	
<b>Total</b>								<b>1.75</b>		<b>0.0404</b>	<b>3493 m³/d</b>

#### 8.4 Cambios de nivel de pozos y parámetros de campo, unidad de cuenca del Río papaturro.

Tabla 37. Monitoreo de Pozos. nivel freático del agua subterránea y parámetros de campo.

N°	Coordenadas. de niveles de pozos según Fechas				Agosto-Septiembre (16-17 sep 2013)		
	Este	Norte	NFA (msnm)	CE (μS/cm)	pH	Temp (°C)	STD (mg.l <sup>-1</sup> )
1	625935	1260694	86.45	733	6.48	29.8	370
2	625750	1259626	59.29	618	6.58	30.0	337
3	625139	1258860	55.64	529	6.76	30.6	291
4	624283	1257676	41.67	682	6.85	29.3	370
5	623275	1256990	58.42	463	6.78	29.4	255
6	622762	1256931	59.46	554	6.67	30.3	303
7	621819	1257249	67.00	517	6.46	30.0	284
8	620280	1257503	92.21	529	6.76	29.3	291
9	619087	1257391	98.52	719	6.68	29.7	390
10	622730	1256107	63.22	552	6.88	28.9	303
11	621921	1255579	58.29	535	7.17	30.6	294
12	620449	1255171	84.35	589	6.50	29.7	322
13	622909	1254452	61.04	670	6.82	28.7	365
14	623059	1254029	58.25	863	6.70	28.7	15
15	623178	1253940	67.28	963	6.70	29.0	15
16	623643	1254796	66.20	614	6.84	28.8	335
17	624081	1254728	66.83	740	6.76	29.9	401
18	625006	1253384	81.58	642	6.68	29.6	349
19	625334	1254454	64.28	564	6.58	29.8	309
20	625713	1255336	55.29	459	7.25	29.6	255
21	625506	1256974	62.08	675	6.85	28.4	366
22	625606	1257974	49.51	625	6.72	29.0	341
23	619727	1254918	SD	SD	SD	SD	SD



Tabla 38. Continuación de Tabla, nivel freático del agua subterránea y parámetros de campo.

N°	Coordenadas. de niveles de pozos según Fechas				Agosto-Septiembre (16-17 sep 2013)		
	Este	Norte	NFA (msnm)	CE (µS/cm)	pH	Temp (°C)	STD (mg.l <sup>-1</sup> )
24	625809	1258373	54.26	526	7.23	32.1	288
25	625604	1258931	52.25	729	7.06	29.7	395
26	622298	1263195	83.98	465	6.66	31.5	257
27	622624	1261741	65.75	468	6.68	30.8	256
28	621669	1261962	79.60	509	7.27	28.4	277
29	622414	1260903	SD	SD	SD	SD	SD
30	622407	1260410	61.81	444	6.68	29.9	245
31	622168	1259845	37.91	535	6.95	30.4	294
32	621476	1259509	43.03	338	6.85	28.7	191
33	620466	1260414	41.15	318	6.41	30.6	181
34	619358	1261619	44.79	484	6.84	29.9	287
35	617839	1260700	34.18	424	6.68	30.3	235
36	617598	1260332	37.93	603	6.55	30.3	331
37	624740	1258720	63.01	589	6.74	30.1	321
38	624419	1258055	42.54	602	7.13	29.1	328
39	622470	1260793	57.43	293	6.71	30.8	178
40	621378	1260945	127.21	512	6.71	28.8	282
41	625983	1259086	68.27	652	6.84	30.1	353
42	626849	1256484	52.93	611	6.88	28.9	334
43	626533	1256724	62.55	606	6.88	29.2	331

SD: sin datos.

Tabla 39. Parámetros de campo, unidad de cuenca del Río papaturro.

Fecha	nov-13	ene-14	nov-13	ene-14	nov-13	ene-14	nov-13	ene-14	nov-13	ene-14	nov-13	ene-14
Código	pH (unidades)		CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )		STD ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		Oxígeno disuelto ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ )		Saturación de oxígeno (%)	
PE1	6.93	7.36	761	823	28.3	27.8		410	3.2	4.1	41	52
PE2	6.65	7.04	765	400	29.4	28.4	382	201	2.4	2.6	32	34
PE3	6.68	7.1	633	712	28.2	27.8	316	355	3.2	3.8	42	47
PE4	7.02	7.13	1232	1065	27.9	27.3	617	527	3.1	2.9	39	37
PE5	7.06	7.11	626	671	27.7	26.9	312	337	3.5	2.4	44	30
PE6	6.81	6.95	783	804	28	27.6	393	400	2.9	3.6	38	48
PE7	6.72	6.9	556	802	29.4	29.7	278	404	4.5	3.7	54	48
PE8	6.75	6.93	634	674	28.1	28.1	317	337	2.8	2.8	35	37
PE9	6.63	7.02	650	642	29.1	29.1	324	320	3.4	3.7	45	47
PE10	6.22	6.56	424	391	28.9	29.5	212	195	3.1	3.1	41	42
PE11	6.13	6.56	511	512	28.9	29.5	225	252	3.1	3.4	51	45
Rio 1	7.87	SD	666	SD	27.2	SD	334	SD	4.8	SD	61	SD
Rio 2	7.8	SD	715	SD	26.8	SD	357	SD	3.9	SD	49	SD
Rio 3	7.62	SD	579	SD	27.9	SD	288	SD	4.1	SD	52	SD
Rio 4	7.38	7.77	606	608	28.3	28.9	302	304	4.1	3.7	53	49

SD: sin datos

Tabla 40. Cambios de niveles en pozos cercanos al río.

<b>Nombre del productor</b>	<b>Pozos</b>	<b>Ascenso (m)</b>	<b>Descenso (m)</b>	<b>Meses</b>
Andrés Díaz	p1	0.60	1	
Ariel Guevara Guido	p2	1.20	1.40	Oct
Roger Guido	p3	1.30	1.20	
Orlando Ruíz	p4	<b>4.20</b>	<b>3.00</b>	Oct
Enrique Muñoz	p5	<b>4.40</b>	1.10	
Mariano Cruz	p6	0.35	0.40	Oct
Denis Ulloa	p7	<b>4.00</b>	<b>6.00</b>	
Ceila Matuz	p8	0.75	1.50	Oct-Nov
Escuela Río Grande	p9	1.10	2.10	Oct
Antonio Ramos	p10	<b>3.00</b>	<b>3.50</b>	Oct
Elba María Arguello	p11	0.85	0.85	Sep-Oct
Reyes Antonio Guzmán	p12	1.50	<b>3.30</b>	Oct-Nov
	<b>Promedio</b>	<b>1.94</b>	<b>2.11</b>	

Tabla 41. Cambio de nivel de pozos alejados de los ríos.

Nombre del productor	Pozo	Ascenso (m)	Descenso (m)	Meses
Guillermina Solís	p13	2.75	0.5	Dic
Carlos Vega Villagra	p14	1.75	0.75	Dic
Melania Guido Rayo	p15	2.30	0.70	Dic
Jorge Ortíz	p16	<b>4.80</b>	<b>2.20</b>	
José Antonio Avilés.	p17	1.75	<b>2.00</b>	Oct-Nov
Francisco Bello	p18	2.00	<b>2.75</b>	Oct-Nov
Marcelino Tórrez	p19	1.60	0.90	
Isidro Hernández	p20	<b>6.25</b>	1.60	
María Adela Rayos	p21	2.00	1.25	
Carlos Ramón Cerda	p22	2.10	1.25	
Felipe Mariano Ibarra	p23	1.20	0.80	
Ma Tomasa Membreño	p24	1.80	0.60	Dic
Mario Avilés	p25	2.25	1.25	
Paulino Rocha Moran	p26	<b>5.00</b>	1.50	
Santiago Espinoza	p27	2.00	1.00	
Mariano Cruz	p28	0.50	0.40	
EIAG. Rivas	p29	<b>4.00</b>	1.75	Dic
Josefina Bustos	p30	<b>5.25</b>	<b>2.80</b>	
Justa Juliana Collado	p31	<b>7.50</b>	1.50	Dic
Marina Bustos	p32	1.50	0.25	Ene
Erminia del C Juarez	p33	1.10	0.85	
Rosibel Ibarra	p34	1.00	0.65	
Alejandro Falcón	p35	1.60	1.20	
Rafael Canales	p36	2.40	<b>2.20</b>	
Lucía Jiménez	p37	<b>3.20</b>	1.50	Dic
Teofilo Ruíz	p38	0.40	1.60	
Toribia López Moraga	p39	1.20	0.70	
Domingo Ponce	p40	1.75	1.30	
Nora Leal	p41	<b>3.25</b>	1.00	Dic
Amelio Gutiérrez	p42	2.75	1.00	Dic
	<b>Promedio</b>	<b>2.57</b>	<b>1.26</b>	

## 8.5 Encuesta aplicada a pobladores de la unidad de cuenca del Río Papaturro.

Fecha: \_ Nombre: \_ Dirección: Ubicación: latitud: \_\_\_\_\_ longitud: \_\_\_\_\_ altitud: \_\_\_\_

Esta encuesta está dirigida a pobladores de las comunidades inmersas en la unidad de cuenca del río Papaturro; relaciona temas como: condiciones de recarga y usos de las aguas del río y pozos; la disposición de las letrinas, desagües, corrales y otras fuentes de contaminación; trata también del nivel de escolaridad, atención en salud, aspectos medioambientales, cobertura y tipo de vegetación; así como también el tipo de suelo y su erosión.

Está vinculada al trabajo de tesis que se está llevando en la unidad de cuenca y sus comunidades, cuyo nombre se titula “Evaluación del Potencial Hídrico y Calidad de las Aguas de la unidad de cuenca del Río Papaturro, asociados a las condiciones socioambientales”.

### Sección I Características de ríos y pozos; usos del agua; salud y escolaridad.

- 1- ¿Desde qué año ha dejado de correr el río?
- 2- ¿En qué meses del año deja de correr el río? Diciembre\_\_\_\_ Enero\_\_\_\_  
Enero-Febrero\_\_\_\_ Febrero-Marzo \_\_\_\_\_Marzo-Abril\_\_\_\_\_
- 3- ¿Qué usos le da al agua del río y del pozo? Riego\_\_\_\_ Lavado de ropa\_\_\_\_  
Uso en la cocina\_\_\_\_ Abrevar ganado\_\_\_\_\_
- 4- ¿Qué tipos de cultivos utilizan agua de riego? Hortalizas\_\_ Granos básicos\_\_\_\_
- 5- ¿A cuántas vacas, caballos u otras especies le suministran agua, tanto del pozo como del río?
- 6- ¿Cuál es el consumo de agua promedio diario para el hogar, los animales y para los cultivos?
- 7- ¿Cuántos habitan en su casa? 1-10\_\_\_\_ 10-15\_\_\_\_ 15-20\_\_\_\_ 20 +\_\_\_\_
- 8- ¿Qué enfermedades padecen y que están asociadas al agua de consumo?
- 9- ¿En qué meses del año se presentan las enfermedades diarreicas?
- 10-¿Tienen atención médica a través del centro de salud? Sí\_\_\_\_ No\_\_\_\_
- 11-¿La escuela está accesible? Sí\_\_\_\_ No\_\_\_\_
- 12-¿Cuál es el nivel de escolaridad en la familia? Preescolar\_\_\_\_ Primaria\_\_\_\_  
Secundaria\_\_\_\_ Universitaria\_\_\_\_\_

## **Sección II Pozos de agua potable**

- 1- ¿Tiene un pozo excavado, perforado? Excavado\_\_ Perforado\_\_
- 2- ¿Tiene un pozo de 20 m o menos de profundidad? Sí\_\_ No\_\_
- 3- ¿Su pozo fue construido hace unos 20 años a más? Sí\_\_ No\_\_
- 4- ¿Han pasado tres años o más desde que analizó la calidad del agua del pozo para nitratos, bacterias u otros contaminantes? Sí\_\_ No\_\_
- 5- ¿Existe alguna depresión en el suelo alrededor del brocal del pozo? Sí\_ No\_
- 6- ¿Se observan perforaciones o grietas en el brocal y tapa de su pozo? Sí \_No\_
- 7- ¿Se encuentra el pozo cerca o cuesta abajo de alguna fuente de contaminación, tal como almacenes de plaguicidas, corrales, fosa séptica, letrina u otras fuentes? Sí\_\_ No\_\_
- 8- ¿Se encuentra el pozo cerca de alguna fuente de contaminación a una distancia menor a 20 m? Sí\_\_ No\_\_
- 9- ¿En qué meses del año se ha secado el pozo? Enero\_\_\_\_\_ Febrero\_\_\_\_\_ Marzo\_\_\_\_\_ Abril\_\_\_\_\_ Mayo\_\_\_\_\_
- 10- ¿En qué meses del año sube el nivel del pozo?
- 11- ¿Qué sabor y olor tiene el agua que consume?

## **Sección III Condiciones ambientales en su propiedad.**

- 1- ¿Hace cinco años o más desde que usted realizó un Plan de Conservación de Recursos Naturales? Sí\_\_ No\_\_
- 2- ¿Existen suelos arenosos, con grava o que infiltran rápidamente en su propiedad? Sí\_\_ No\_\_
- 3- ¿Existen suelos con 1 m o menos de profundidad al lecho de roca de su propiedad? Sí\_\_ No\_\_
- 4- ¿Existen áreas en su propiedad donde el nivel del agua se encuentra a 3 metros o menos de la superficie del suelo? Sí\_\_ No\_\_
- 5- ¿Qué prácticas utiliza para controlar la erosión hídrica en sus campos?
- 6- ¿Existen escurrimiento de agua hacia charcas, estanques, presas, o ríos en su propiedad? Sí\_\_ No\_\_
- 7- ¿Qué usos le da a la tierra? Agrícola\_\_\_\_\_ Forestal\_\_\_\_\_ Pecuaria\_\_\_\_\_
- 8- ¿En su propiedad tiene pastizales con cercas vivas? Sí\_\_ No\_\_

9- ¿La cobertura vegetal en su propiedad está entre el 10-20 %\_\_ 20-40%\_\_?

10- ¿La edad del bosque es de 10-15 años\_\_ de 15 años o más \_\_?

11- ¿El bosque es producto de Regeneración natural\_\_\_\_ Plantación\_\_\_\_?

#### **Sección IV Sistemas sépticos.**

1- ¿Tiene usted una fosa séptica, letrina o campo de desagüe en su propiedad?

Sí\_\_ No\_\_

2- ¿Existe una fosa séptica, letrina o campo de desagüe localizado a 31 m o menos

de charcas, estanques o arroyos? Sí\_\_ No\_\_

#### **Sección V Prácticas de disposición y manejo de desechos peligrosos.**

1- ¿Dispone usted de sobrantes de productos peligrosos o plaguicidas prohibidos  
junto con sus envases en su propiedad? Sí\_\_ No\_\_

2- Si contestó "Sí" a la pregunta 1: ¿Están estos materiales al alcance de los niños  
o animales domésticos? Sí\_\_ No\_\_

3- ¿Necesita usted un plan de manejo para derrames de materiales tóxicos? Sí  
\_\_No\_\_

#### **Sección VI Manejo de animales de granja.**

1- ¿Tiene usted animales de granja en su propiedad? Sí\_\_ No\_\_

2- ¿Existen instalaciones para animales de granja localizadas a 31 m o menos de  
su suministro de agua potable (pozos, cisternas, etcétera)? Sí\_\_ No\_\_

3- ¿Almacena usted estiércol en una pila a 76 m o menos del suministro de agua  
potable (pozo de agua, cisterna u otros)? Sí\_\_ No\_\_

4- ¿Existen instalaciones para animales de granja localizados cerca de o cuesta  
arriba de un suministro de agua potable (pozo de agua, cisterna, etcétera)?  
Sí\_\_ No\_\_

5- ¿Desecha animales muertos en su propiedad? Sí\_\_ No\_\_

6- ¿Aplica estiércol en sus campos, fincas, pastizales o jardines sin considerar el  
valor de éste como fertilizante? Sí\_\_ No\_\_

#### **Sección VII Sistema de manejo de fertilizantes.**

1- ¿Han pasado cuatro años o más desde la última vez que realizó análisis de suelo  
en sus cultivos? Sí\_\_ No\_\_

2- ¿Aplica todo el fertilizante recomendado al principio de la temporada del cultivo (todo de una vez)? Sí\_\_\_ No\_\_\_

3- ¿Almacena fertilizantes o abonos en su propiedad? Sí\_\_\_ No\_\_\_

### **Sección VIII Sistema de manejo de plaguicidas**

1- ¿Qué es lo primero que usted hace antes de mezclar cualquier plaguicida?

2- ¿Almacena plaguicidas sobre un piso de grava, madera, arena, suelo raso u hormigón (concreto) sin protección adicional? Sí\_\_\_ No\_\_\_

3- ¿Tiene usted envases de plaguicidas que están dañados, goteando, u oxidados? Sí\_\_\_ No\_\_\_

4- ¿Mezcla, aplica o almacena plaguicidas en áreas a menos de 48 m de algún suministro de agua potable? Sí\_\_\_ No\_\_\_

5- ¿Enjuaga usted el tanque del pulverizador (aspersor) cerca de un suministro de agua potable o un cuerpo de agua superficial? Sí\_\_\_ No\_\_\_

6- ¿Aplica usted plaguicida sin calibrar el equipo pulverizador cada vez que lo usa? Sí\_\_\_ No\_\_\_

7- ¿Han pasado cinco años o más desde que participó en un adiestramiento o un taller para aplicadores de plaguicidas? Sí\_\_\_ No\_\_\_

Agradecemos el tiempo y la atención que ha brindado para la realización de esta encuesta, sus aportes son de gran importancia para el logro de este estudio; lo que nos permitirá replantear los objetivos en el desarrollo de las comunidades en esta unidad de cuenca.



## 8.6 Gráficos de análisis socioambiental, unidad de cuenca del Río Papaturre.

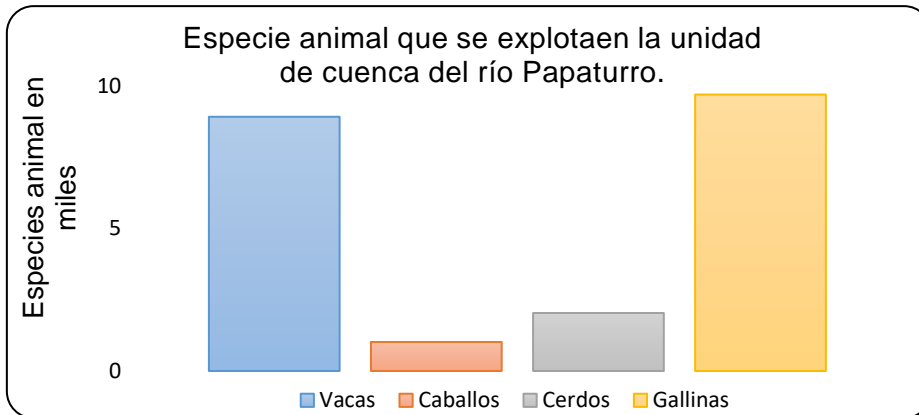


Gráfico 26. Especie animal que se explotan en la unidad de cuenca.

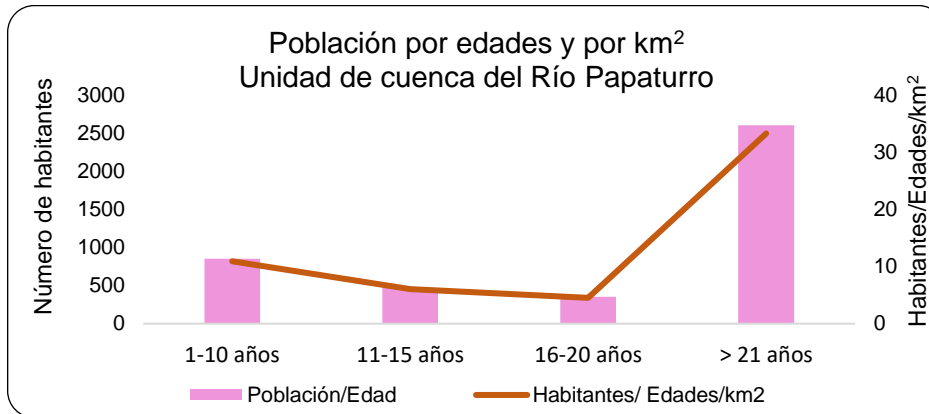


Gráfico 27. Relación entre la población, edad y el área ocupada en la unidad de cuenca.

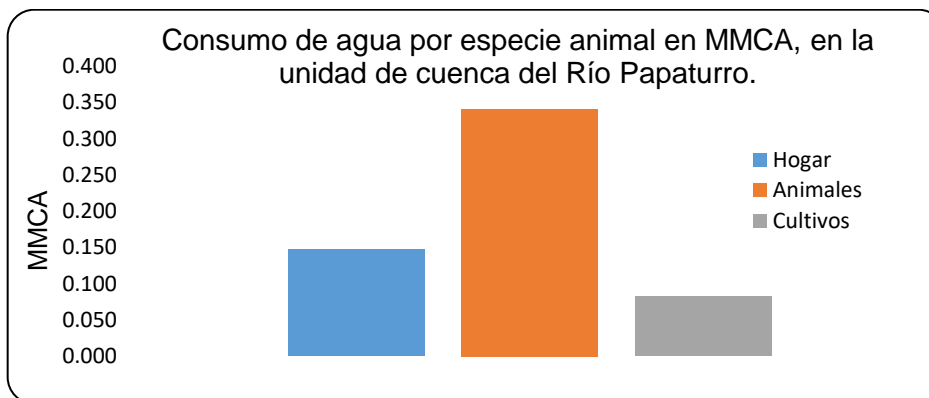


Gráfico 28. Consumo de agua por especie animal, en la unidad de cuenca.

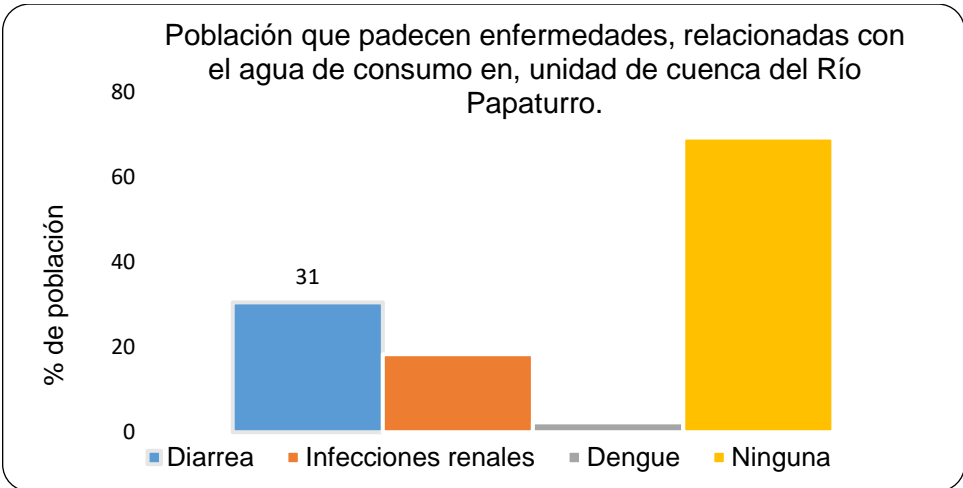


Gráfico 29. Población que presenta enfermedades relacionadas con el consumo de agua.

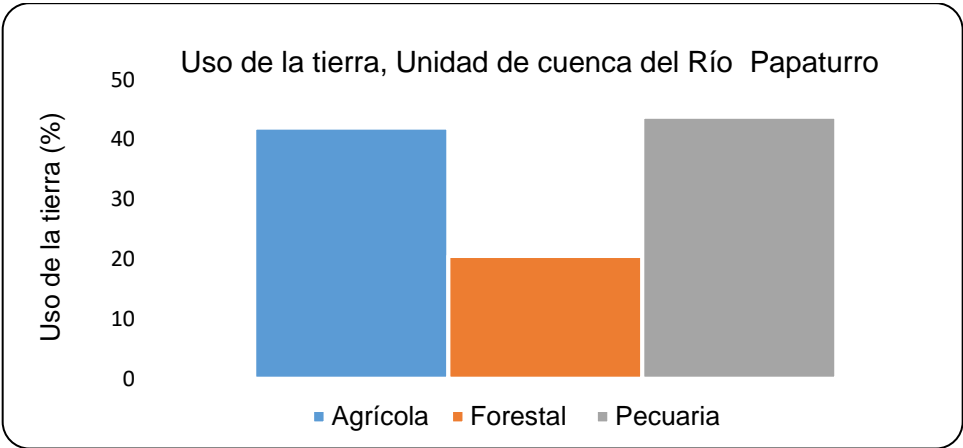


Gráfico 30. Uso de la tierra en la unidad de cuenca.

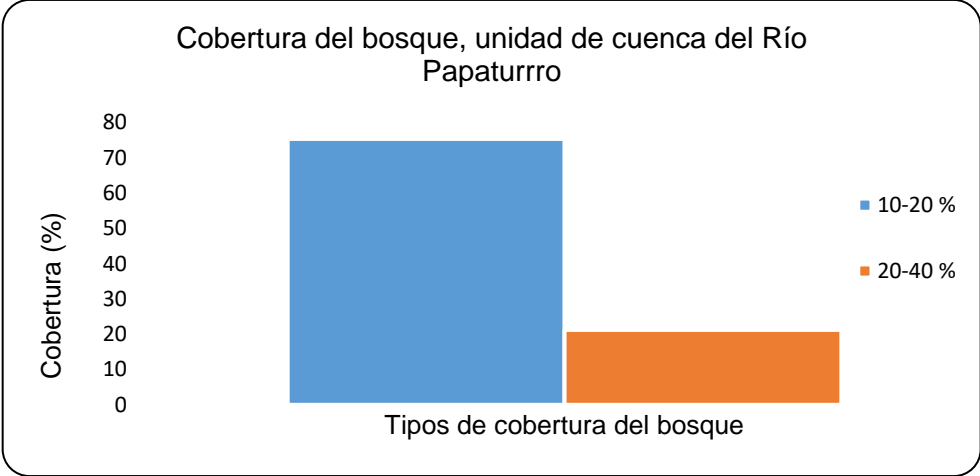


Gráfico 31. Cobertura del bosque en la unidad de cuenca.

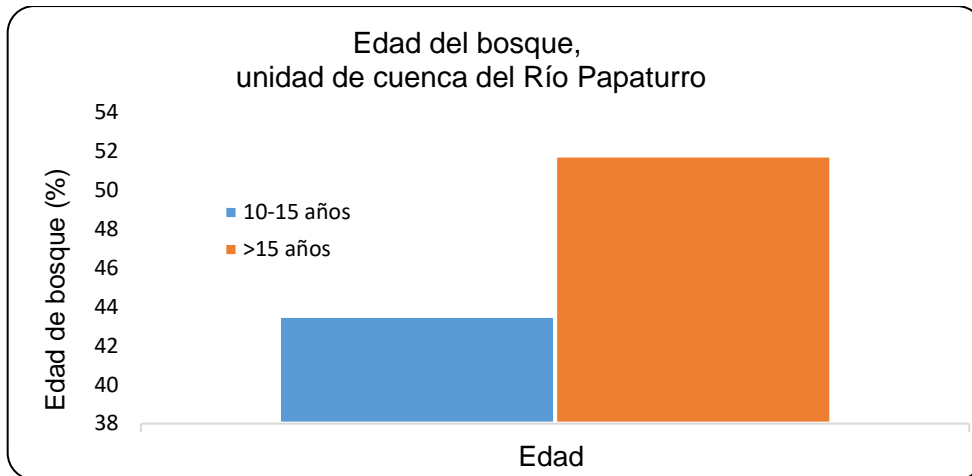


Gráfico 32. Edad del bosque en unidad de cuenca

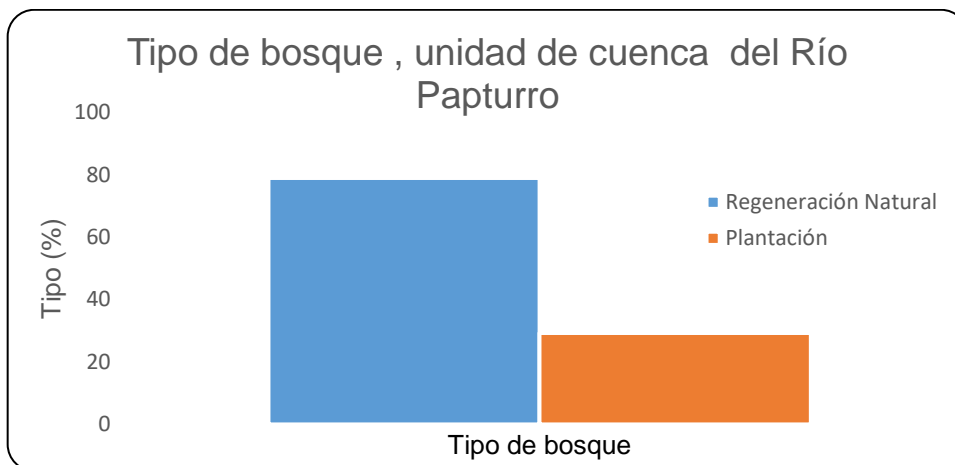


Gráfico 33. Tipos de bosque en la unidad de cuenca.

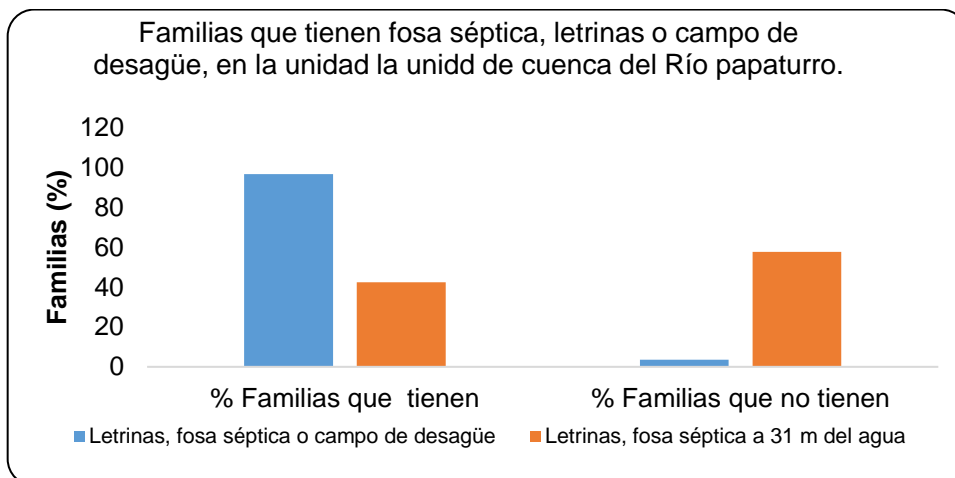


Gráfico 34. Familias que tienen fosa séptica. letrinas. o campo de desagüe en la unidad de cuenca.

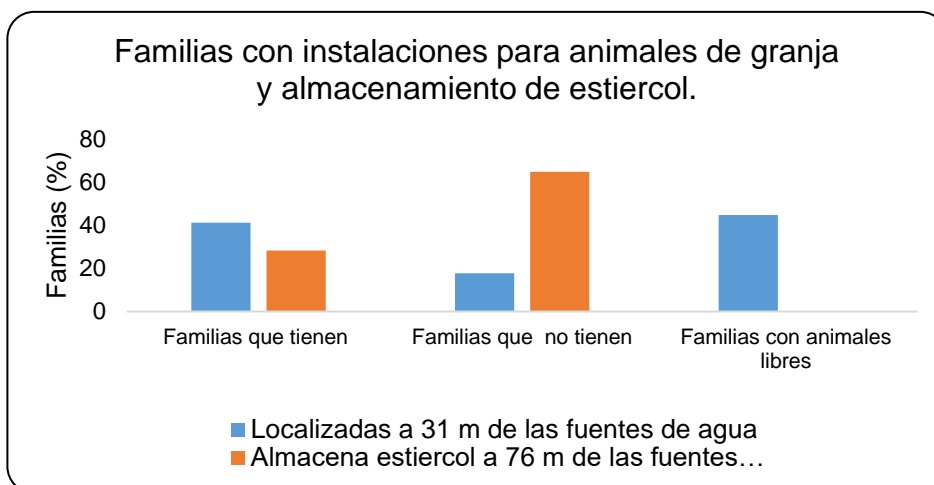


Gráfico 35. Familias con instalaciones para animales de granja y almacenamiento de estiércol.

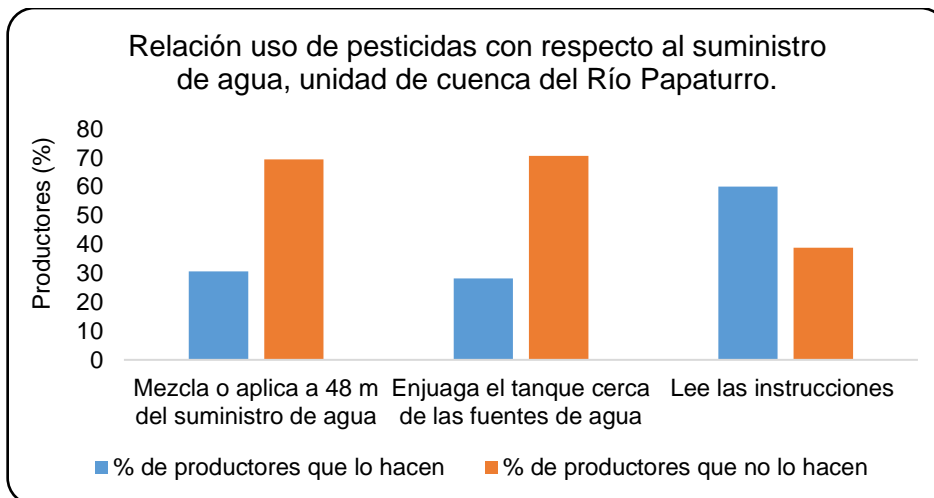


Gráfico 36. Relación de uso de plaguicidas con suministro de agua.

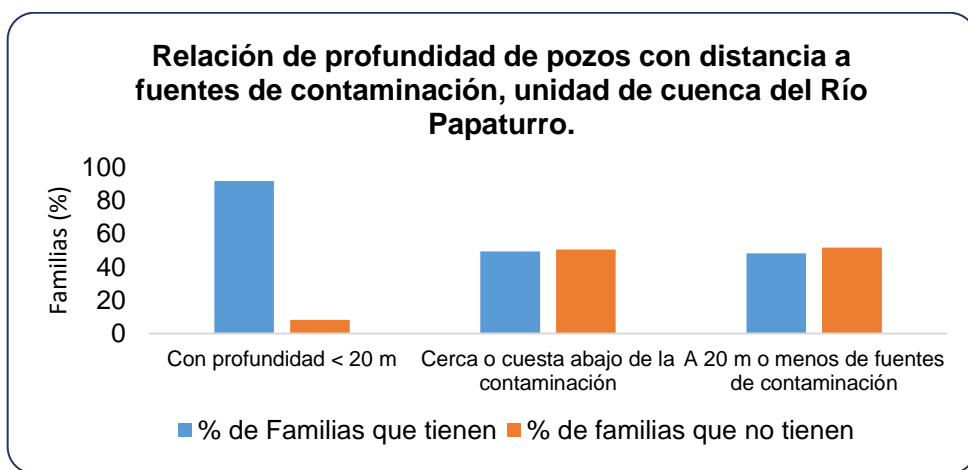


Gráfico 37. Relación profundidad de pozos con distancia a fuentes de contaminación.

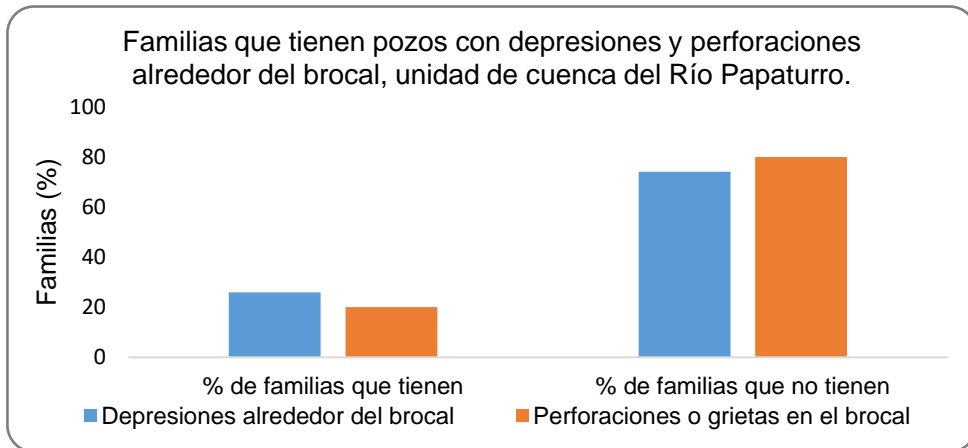


Gráfico 38. Familias con pozos que presentan depresiones y perforaciones alrededor del brocal.

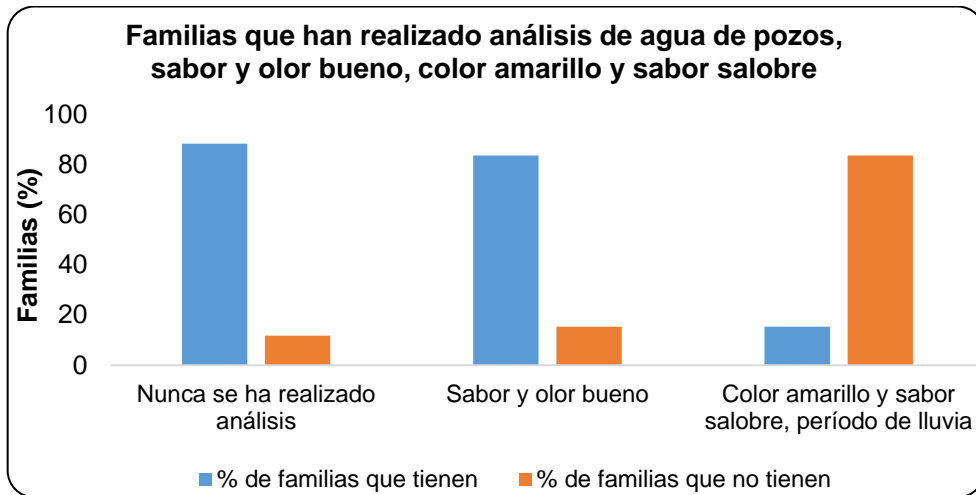


Gráfico 39. Familias que han realizado análisis de agua en pozos.

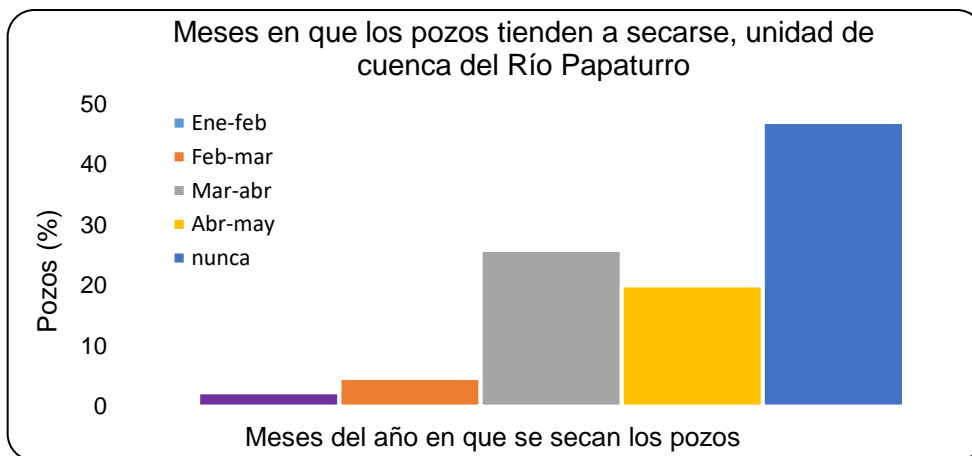


Gráfico 40. Meses en que los pozos tienden a secarse.

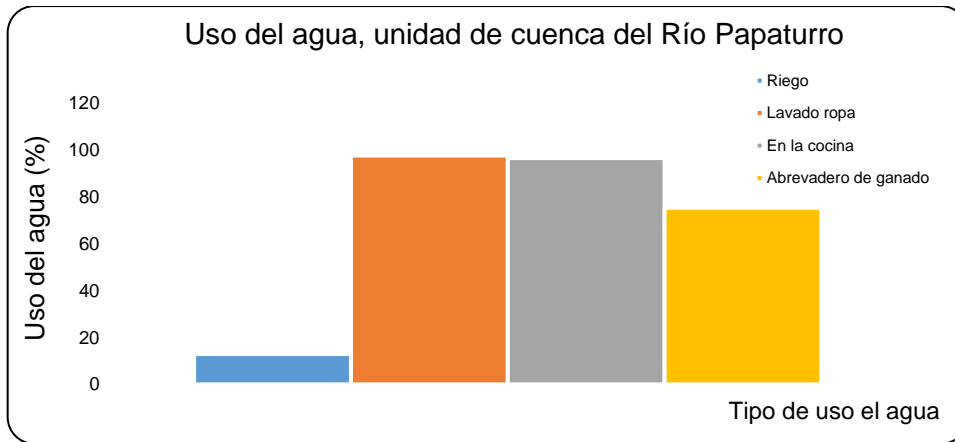


Gráfico 41. Uso del agua en la unidad de cuenca.

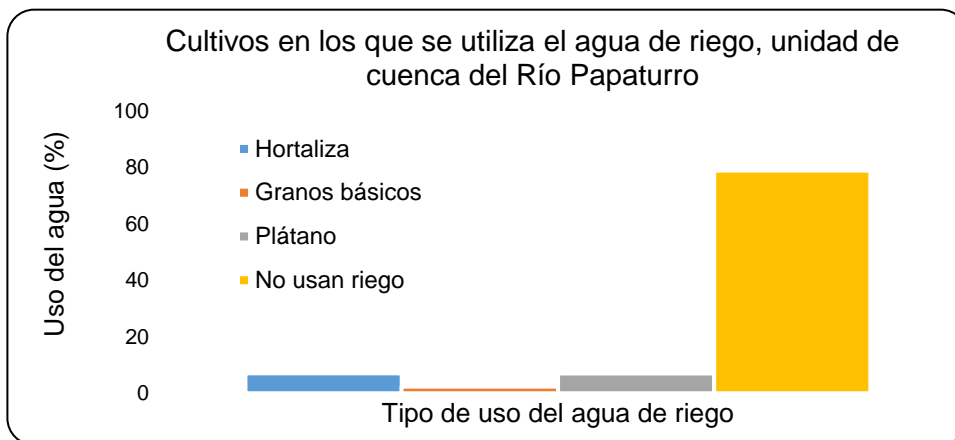


Gráfico 42. Cultivos en los que se utiliza el agua de riego.

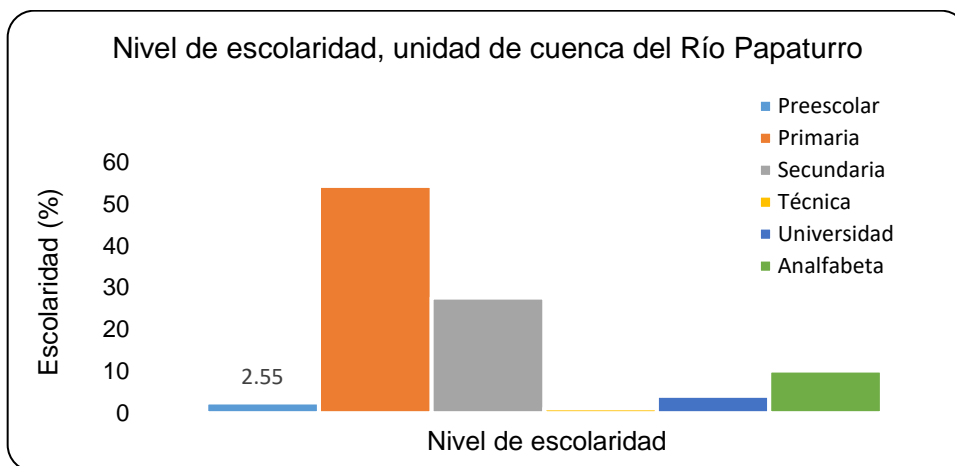


Gráfico 43. Nivel de escolaridad en la unidad de cuenca.

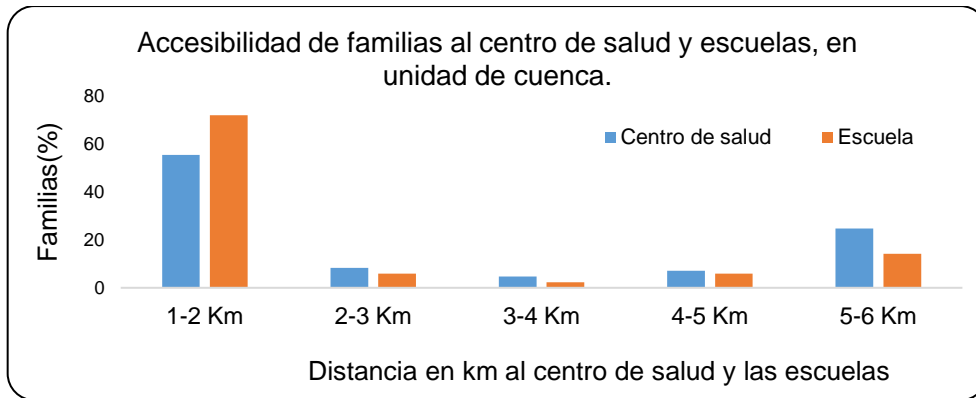


Gráfico 44. Accesibilidad a los centros de salud en la unidad de cuenca.

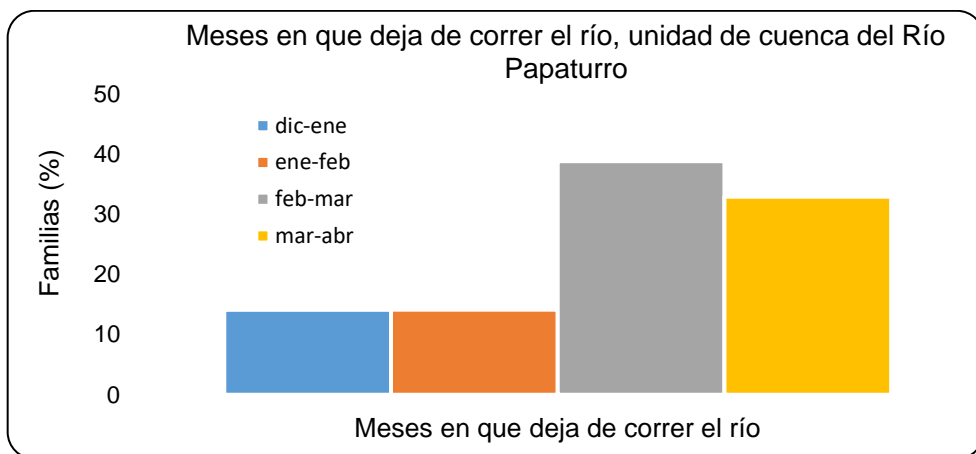


Gráfico 45. Meses en los que el río pierde su curso.

## 8.7 inventario forestal.

Tabla 42. Ubicación de parcelas para inventario forestal, en unidad de cuenca del Río Papaturro.

Sitio	Comunidad	Localidad	Fecha de muestreo	Coordenadas		Altura (msnm)
				Este	Norte	
1	La Chocolatea	Chumbulún	09/22	626522	1259403	166
2	La Chocolatea	L. Burra	09/21	626658	1256974	51
3	La Chocolatea	Lucía J.	09/21	624677	1259296	65
4	El Papaturro	Guarumo	09/22	624543	1255295	71
5	Bernardino D		09/22	622450	1253024	96
6	La Chorrera	Chorrera	09/28	620295	1255099	92
7	El Coyolito	S. Isabel	09/28	622466	1255303	73
8	El coyolito	S. Ramon	09/28	622384	1257117	65
9	Mono Negro	Villareal	09/28	624499	1257204	61
10	La Tigerra		09/29	618438	1257082	136
11	La Tigrera		09/29	620989	1257043	74
12	Las Juntas	Las Junta	10/05	618250	1261250	25
13	Las Juntas	Garabato	10/05	620186	1262972	282
14	Río Grande	Camastro	10/05	620300	1261202	96
15	Río Grande	Tigrera	10/08	620400	1259100	99
16	Veracruz	Veracruz	10/08	622331	1263701	123
17	Veracruz	Plan Cedro	10/08	622480	1259200	56
18	Horcones	Horcones	10/09	622406	1261230	99



Tabla 43. Formato de levantamiento de datos de inventario forestal.

Caracterización de la vegetación en la unidad de cuenca del Río Papaturro.						
Rivas. Rivas. Nicaragua.						
Parcela:		Sitio:		Finca:		Fecha:
Coord: X:		Y:		altitud:	Precisión	
N°	Especie	DAP ≥10 cm	Alt.F	Alt.T	Densidad	Obsevaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						

Levantamiento: Chavarría-Ñamendi & Bustos Pérez.

## 8.8 Gráficos de inventario forestal. unidad de cuenca del Río Papaturro.

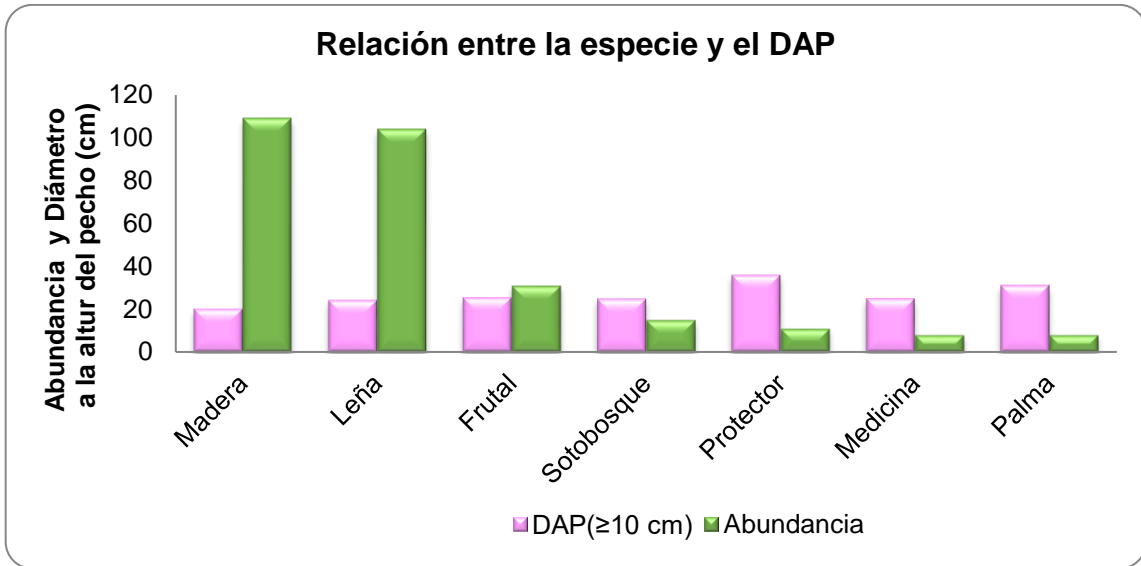


Gráfico 46. Clase diamétrica.

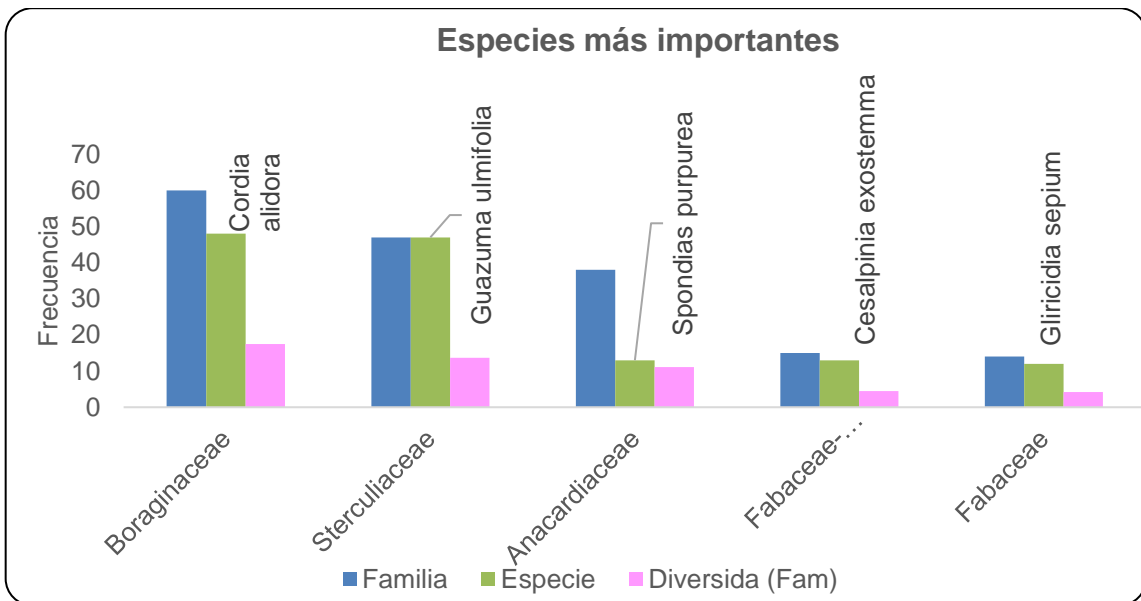


Gráfico 47. Especies más importantes.

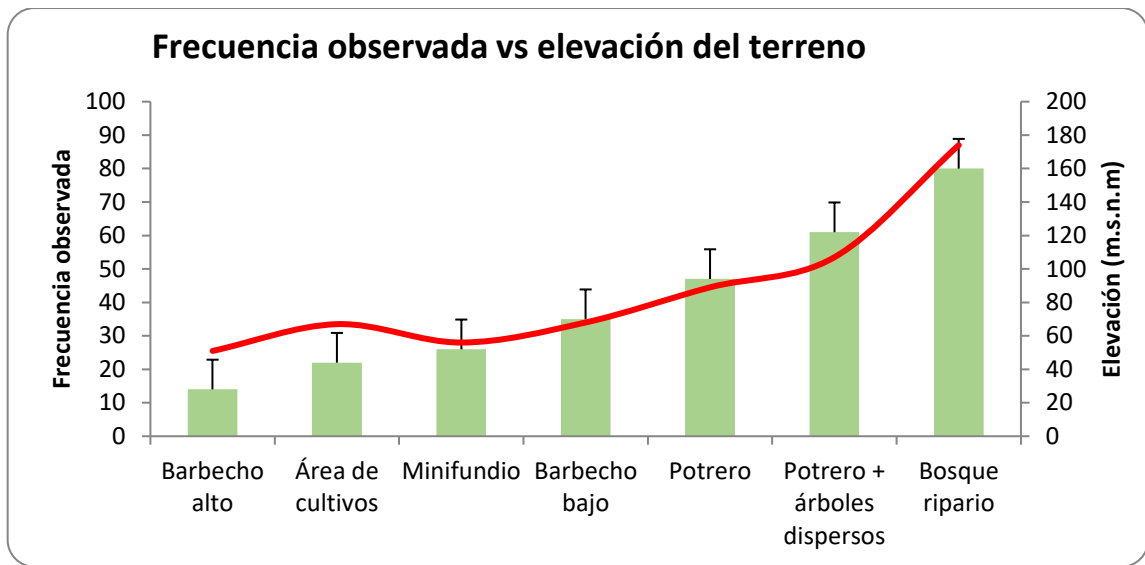


Gráfico 48. Comportamiento de la composición arbórea con respecto a la altura sobre el nivel del mar.