

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y DE SOSTENIBILIDAD  
DEL RECURSO HÍDRICO**  
**PROYECTO INMOBILIARIO PANAMÁ ESTE, S.A.**

ELABORADO POR:



Vía España, La Pradera, Calle ½ D Norte  
Edificio MGI # 8<sup>a</sup>  
+507-393-5338  
[www.mapintec.net](http://www.mapintec.net)  
[info@mapintec.net](mailto:info@mapintec.net)

Panamá, septiembre 2018

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	2
3. GEOLOGÍA.....	4
3.1 Geomorfología.....	4
3.2 Geología Regional.....	6
3.3 Geología Local.....	6
3.3.1 Trabajos realizados.....	6
3.3.2 Estratigrafía.....	10
3.4 Pruebas y ensayos realizados.....	15
3.4.1 Índice de calidad de roca.....	15
3.4.2 Pruebas de Bombeo.....	17
3.4.2.1 Prueba escalonada.....	17
3.4.2.2 Prueba de bombeo a caudal constante.....	26
4. SUELOS, COBERTURA BOSCOSA Y ZONAS DE VIDA.....	29
4.1 Suelos.....	29
4.2 Cobertura Boscosa.....	31
4.3 Zonas de vida.....	31
5. HIDROLOGÍA.....	35
5.1. Precipitación.....	38
5.2. Evapotranspiración.....	40
5.3. Escorrentía.....	42
5.4. Modelación Hidrológica.....	44
5.4.1. Generación de caudales máximos.....	46
5.4.2. Modelación HEC-RAS del Río Cabobré.....	53
5.4.3. Modelación HEC-RAS de la quebrada Q1.....	59
6. HIDROGEOLOGÍA.....	64
6.1 Propiedades Hidrogeológicas de la zona de estudio.....	64
6.2. Cartografía Hidrogeológica.....	65
6.3. Zona de recarga y descarga.....	66
6.4. Perfiles Hidrogeológicos.....	70
6.5. Modelo Hidrogeológico.....	74
7. GESTIÓN DEL AGUA.....	76
7.1. Calidad de agua.....	76

7.2. Uso del Recurso Hídrico.....	79
8. BALANCE HÍDRICO.....	82
8.1. Parámetros para el cálculo del Balance Hídrico. ....	82
8.1.1. Reserva (R).....	83
8.1.2. Variación de la reserva (VR). .....	83
8.1.3. Déficit (D).....	84
8.1.4. Exceso de agua (EX). .....	84
8.1.5. Escurrimiento (ESC) .....	84
8.2. Resultados del balance hídrico.....	85
8.3. Sostenibilidad del recurso hídrico.....	89
9. CONCLUSIONES.....	94
10. BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXO 1. INFORME DE RESISTIVIDADES ELÉCTRICAS .....	99
ANEXO 2. REGISTRO DE PERFORACIONES MECÁNICAS Y MANUALES CON AUGER, REALIZADAS POR MAPINTEC (2009).....	100
ANEXO 3. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS POZOS 1, 2 Y 3. ....	101
ANEXO 4. FOTOS DE LOS NÚCLEOS DE LOS POZOS 1 Y 2.....	102
ANEXO 5. RESULTADOS PRUEBA DE BOMBEO CAUDAL CONSTANTE.....	103
ANEXO 6. RESULTADOS OBTENIDOS MODELO HEC-RAS.....	108
(RÍO CABOBRÉ – QUEBRADA Q1). .....	108
ANEXO 7. RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUAS SUPERFICIALES.....	109
(RÍO CABOBRÉ).....	109
ANEXO 8. RESULTADOS ANÁLISIS DE AGUA EN EL POZO 3.....	110

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio .....	3
Figura 2. Mapa geomorfológico del área de estudio .....	5
Figura 3. Mapa Geológico regional del área de estudio.....	8
Figura 4. Mapa de ubicación de perforaciones en la zona de estudio .....	9
Figura 5. Columna estratigráfica generalizada del área de estudio. ....	13
Figura 6. Mapa geológico local del área de estudio.....	14

Figura 7. Ubicación de pozo para prueba de bombeo .....	17
Figura 8. Diseño técnico del pozo donde se realizó la prueba de bombeo .....	18
Figura 9. Prueba de bombeo escalonada para 6, 12 y 18 gpm. ....	22
Figura 10. A) Curva característica de un sistema multicapa con distintos potenciales. Tomado de Villanueva e Iglesias (1984). B) Caudal Vs. Descenso para el bombeo escalonado con recuperación. ....	23
Figura 11. A) Curva características (Q-d) y ( $d/Q-d$ ). Tomado de Villanueva e Iglesias (1984). 1. Acuífero cautivo sin perdidas en el pozo. 2. Acuífero libre sin perdidas de carga en el pozo. 3. Acuífero con pérdidas de carga no lineales. 4. Curva anómala. Datos mal tomados o acuífero con características cambiantes con el tiempo. B) Caudal específico Vs. Descenso para el bombeo escalonado con recuperación. ....	24
Figura 12. Interpolación lineal para determinar el descenso del primer escalón. ....	25
Figura 13. Curva característica del pozo PP (n=3.5). ....	26
Figura 14. Curva Tiempo log (min) Vs. Descenso (m) de los resultados obtenidos para la prueba de bombeo a caudal constante =18 gpm. ....	27
Figura 15. Mapa de capacidad agrológica del suelo.....	30
Figura 16. Cobertura Boscosa Zona de estudio .....	33
Figura 17. Zonas de vida en el área de estudio.....	34
Figura 18. Cuenca del Río Pacora (N° 146) y estaciones meteorológicas.....	36
Figura 19. Subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé y estaciones meteorológicas. ....	37
Figura 20. Mapa de distribución de valores de evapotranspiración .....	41
Figura 21. Mapa de escorrentía anual sobre la cuenca del río Pacora. ....	43
Figura 22. Drenajes principales de la zona de estudio. ....	45
Figura 23. Mapa de pendientes de las microcuencas analizadas .....	47
Figura 24. Polígonos de Thiessen para subcuenca de los ríos Cabobré-Utivé .....	49
Figura 25. Curvas IDF para la subcuenca de los ríos Cabobré-Utivé .....	50
Figura 26. Tramos seleccionados para la simulación en HEC- RAS. ....	52
Figura 27. Tramo del rio Cabobré y secciones transversales. ....	54
Figura 28. Tramo del rio Cabobré y secciones transversales interpoladas. ....	55
Figura 29. Salidas graficas de las secciones 13 y 28 (50-100 años). ....	56
Figura 30. Área de inundación para un periodo de retorno de 50 años. ....	58
Figura 31. Distribución de velocidades de flujo para un periodo de retorno de 50 años. 59	
Figura 32. Tramo de Q1 y secciones transversales.....	60
<del>Figura 33. Salidas graficas de las secciones 5 y 16 (50-100 años)</del> .....	61

Figura 34. Distribución de profundidades de Q1 en un periodo de retorno de 50 años...	63
Figura 35. Unidades Hidrogeológicas de la zona de estudio .....	67
Figura 36. Mapa de isopiezas, flujo subterráneo y zonas de recarga .....	68
Figura 37. Modelo 3D del flujo subterráneo para el área de estudio.....	69
Figura 38. Ubicación del perfil hidrogeológico A-A' y perfiles de resistividad .....	71
Figura 39. Perfil Hidrogeológico A-A' .....	72
Figura 40. Perfil de resistividad .....	73
Figura 41. Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio .....	75
Figura 42. Mapa de ubicación del punto de muestreo de agua superficial.....	77
Figura 43. Curva de Excesos y Déficit de los componentes hidrológicos para el Balance hídrico mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017). ....	87
Figura 44. Curva P-ETP-ETR-T-EXC-ESC del Balance hídrico mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017). ....	88
Figura 45. Balance de humedad mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017).....	88
Figura 46. Oferta y demanda del recurso hídrico para la zona de estudio .....	93

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales de los pozos existentes en la zona. ....	7
Tabla 2. Infiltración típica basados en la textura del suelo.....	11
Tabla 3. Índice de la calidad de masa de Roca. ....	15
Tabla 4. Categorías de flujo de agua en macizos rocosos (Montero Juan, s/f) .....	16
Tabla 5. Registro de datos de prueba de bombeo escalonada. ....	21
Tabla 6. Valor teórico del coeficiente de almacenamiento .....	28
Tabla 7. Parámetros hidráulicos del pozo de la Mesa de Pacora. ....	28
Tabla 8. Listado de estaciones meteorológicas cercanas al área. ....	39
Tabla 9. Área de la cuenca, longitud y pendiente del cauce. ....	47
Tabla 10. Factor de escorrentía de Mac Math (Muriales & Uriarte, 2014).....	48
Tabla 11. Datos de curvas IDF de la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé.....	49
Tabla 12. Caudales máximos ( $m^3/s$ ) para el río Cabobré. ....	50
Tabla 13. Caudales máximos ( $m^3/s$ ) para la quebrada Q1. ....	51
Tabla 14. Caudales máximos ( $m^3/s$ ) de Q1 y río Cabobré, obtenidos a la salida del área del proyecto.....	52

Tabla 15. Caudales de diseño para el Río Cabobré .....	53
Tabla 16. Profundidades máximas alcanzadas para los períodos de retorno de 50 y 100 años.....	57
Tabla 17. Períodos de retorno para Q1 .....	59
Tabla 18. Coordenadas del punto de muestreo superficial del río Cabobré.....	77
Tabla 19. Parámetros analizados en la muestra de agua superficial tomada .....	78
Tabla 20. Resultados de la muestra de agua tomada en el Pozo3.....	79
Tabla 21. Concesiones de agua registrada en la Cuenca del Río Pacora .....	80
Tabla 22. Capacidad de retención del suelo (mm) en función del tipo de suelo y cultivo	83
Tabla 23. Componentes del Balance Hídrico mensual (mm) de la estación Loma Bonita (1971-2017) .....	86
Tabla 24. Balance Hídrico mensual multianual ( $Hm^3$ ).....	92

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La empresa Proyectos Inmobiliarios Panamá Este, S.A., tiene contemplado realizar un desarrollo habitacional adyacente al Río Cabobré, población de San Martín entre los corregimientos de Pacora y San Martín, del Distrito de Panamá. Considerando la ubicación del proyecto y la disponibilidad del agua potable en la zona, se requiere conocer el potencial acuífero con el que se cuenta en la zona, y determinar las posibilidades del posible aprovechamiento del recurso hídrico, para eventualmente cubrir sus necesidades no sólo durante la etapa constructiva, sino también durante la fase de ocupación de la barriada. Para ello resulta necesario conocer las condiciones geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona, a través de la recopilación de información bibliográfica, de datos adquiridos en campo y el análisis de estadísticas meteorológicas. Esta misma información permite definir, además, las medidas preventivas que deben ser tomadas en cuenta, para evitar inconvenientes relacionados con el flujo de aguas superficiales y subterráneas en el futuro, considerando que dentro del área del proyecto se encuentran cuerpos de agua superficiales de dimensiones importantes.

Para conocer los parámetros hidrogeológicos e hidrológicos, se realizaron labores de toma de datos y selección de información pertinente mediante perforaciones con recuperación de muestras de roca, tomografías eléctricas 2D, prueba de bombeo, toma de muestras de agua, además de la obtención de datos de registros pluviométricos y estadísticas meteorológicas de la zona. Con toda esta información obtenida en campo y la información bibliográfica preexistente del área, se definieron las zonas que presentan el mayor potencial de aprovechamiento hídrico subterráneo, así como los parámetros que se deben considerar en el diseño y construcción de las obras de manejo de las aguas superficiales.

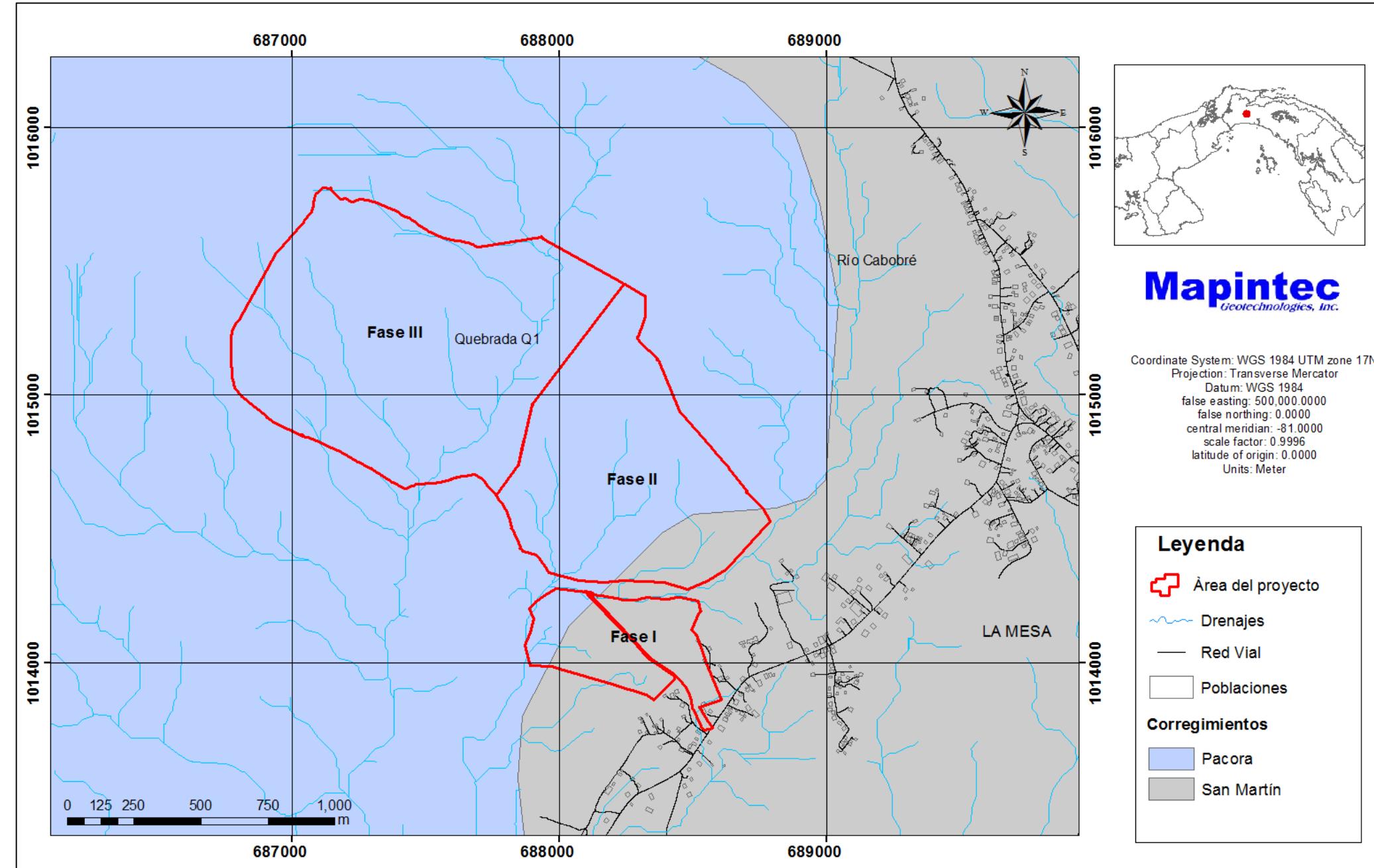


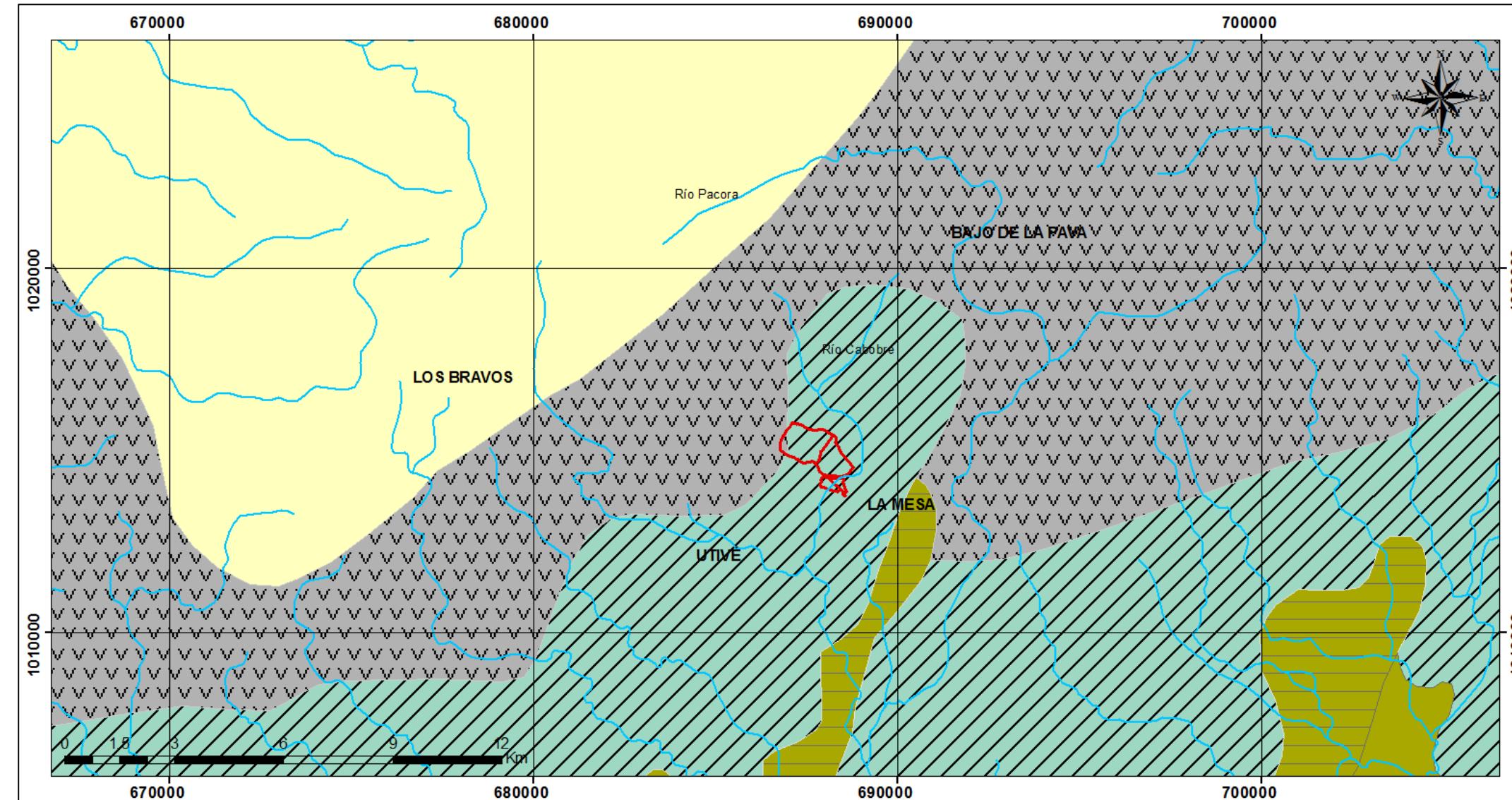
Figura 1. Ubicación del área de estudio

## **2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

La zona de estudio se encuentra en la provincia de Panamá, Distrito de Panamá, entre los corregimientos de San Martín y Pacora (Figura 1), y está caracterizada por presentar fundamentalmente cimas puntiagudas, con predominio de vertientes largas e irregulares de moderadas pendientes. Igualmente se observan geoformas planas correspondientes a las zonas más bajas del área relacionadas a antiguas terrazas aluviales.

El área de estudio pertenece a la cuenca del río Pacora denominada como la número 146, según el mapa de cuencas hidrográficas de la Autoridad Nacional Ambiental (ANAM). Específicamente, la zona de estudio se encuentra en la subcuenca Cabobré – Utivé, la cual cuenta con un área de 85.6 km<sup>2</sup>, siendo el río Cabobré su principal drenaje superficial y se caracteriza por presentar corrientes del tipo dendrítico.

El proyecto inmobiliario, que se desarrollará en el área de estudio, será ejecutado en 3 fases; la primera fase a desarrollar será la correspondiente al globo 1, que se encuentra hacia el Sur de la zona, y que colinda con el río Cabobré, posteriormente, se irá desarrollando el globo 2 que se encuentra también en las riberas del río Cabobré, para posteriormente desarrollar la 3<sup>era</sup> etapa que se encuentra en el globo más al noroeste de la zona de estudio, que es el que ocupa la mayor área y donde se encuentran las pendientes más abruptas y escarpadas, donde además, se encuentra la mayor densidad de drenajes superficiales en la zona.

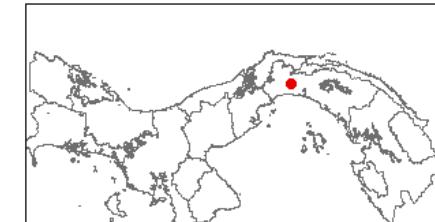


### Leyenda

Formas	
	Área del proyecto
	Ríos Principales
	Planalto
	Valles y planicies aluvio-coluviales
	Glacis o explanadas

### Morfocronología

	Acumulación fluvio marina		Terciario
	Eplayamiento hidro-volcanico		Pre - Terciario



**Figura 2.** Mapa geomorfológico del área de estudio

### **3. GEOLOGÍA.**

#### **3.1 Geomorfología.**

La parte baja de la cuenca del río Pacora, presenta terrenos con pendientes suaves a moderadas que no superan el 8%. En la parte media encontramos pendientes que pueden llegar hasta el 25% y en algunos sitios hasta más de 35%; igual condición se puede encontrar en la parte alta, donde a su vez se localizan las mayores elevaciones de la cuenca, con una altura máxima de 937 msnm. Dichas características hacen que el relieve de la parte alta muestre pendientes abruptas que pueden llegar aproximadamente hasta 70%, aunque vale destacar que en el valle del río principal (río Pacora) las pendientes pueden ir de suaves a moderadas, entre 8% a 25%.

En relación con la forma de la cuenca resalta su exagerada disimetría, es decir que la superficie de la vertiente oriental sólo representaría un tercio de la totalidad de la cuenca, por lo que es mayor su vertiente occidental. Parte de esta disimetría se debe a la presencia del intrusivo que domina el sustrato de la cuenca superior y media y su ladeamiento en dirección al sureste. El patrón de drenaje paralelo, en cola de caballo, de los afluentes occidentales del Pacora es consecuencia directa de esta estructura geológica (Touriño, et al 1994). Se distinguen dos grandes unidades geomorfológicas en la zona cercana de estudio (Figura 2).

- Áreas de cerros y colinas altas entre los 400 a 1000 msnm, constituida por una topografía muy irregular y accidentada, con pendientes que oscilan entre los 25 – 63%, indicando valores de moderados a muy pronunciados, abarcando más del 26% del total de la cuenca.
- Área de colinas y planicie litoral de piedemonte cuyos valores altimétricos son inferiores a los 400 msnm, con un paisaje de ondulado a plano, de pendientes que oscilan entre los 1 – 25%.

### **3.2 Geología Regional.**

La geología de la zona de estudio según el Mapa Geológico escala 1:250 000 realizado por la Dirección Nacional de Recursos Minerales (DNRM) del Ministerio de Comercio e Industrias (1990), está constituida por rocas intrusivas y volcánicas, las primeras pertenecientes al Grupo Colón, específicamente, de la Formación Mamoni de edad Cretácica que incluye rocas de tipo diorita, gabros, monzonitas, cuarzodioritas, granodioritas y sienitas. Las rocas de origen volcánico pertenecen al Grupo Panamá, Formación Panamá de edad Terciaria, compuesta por andesitas, aglomerados, tobas de grano fino, basaltos, andesitas, piroclastos y bloques. En la Figura 3 se presenta el mapa de geología regional.

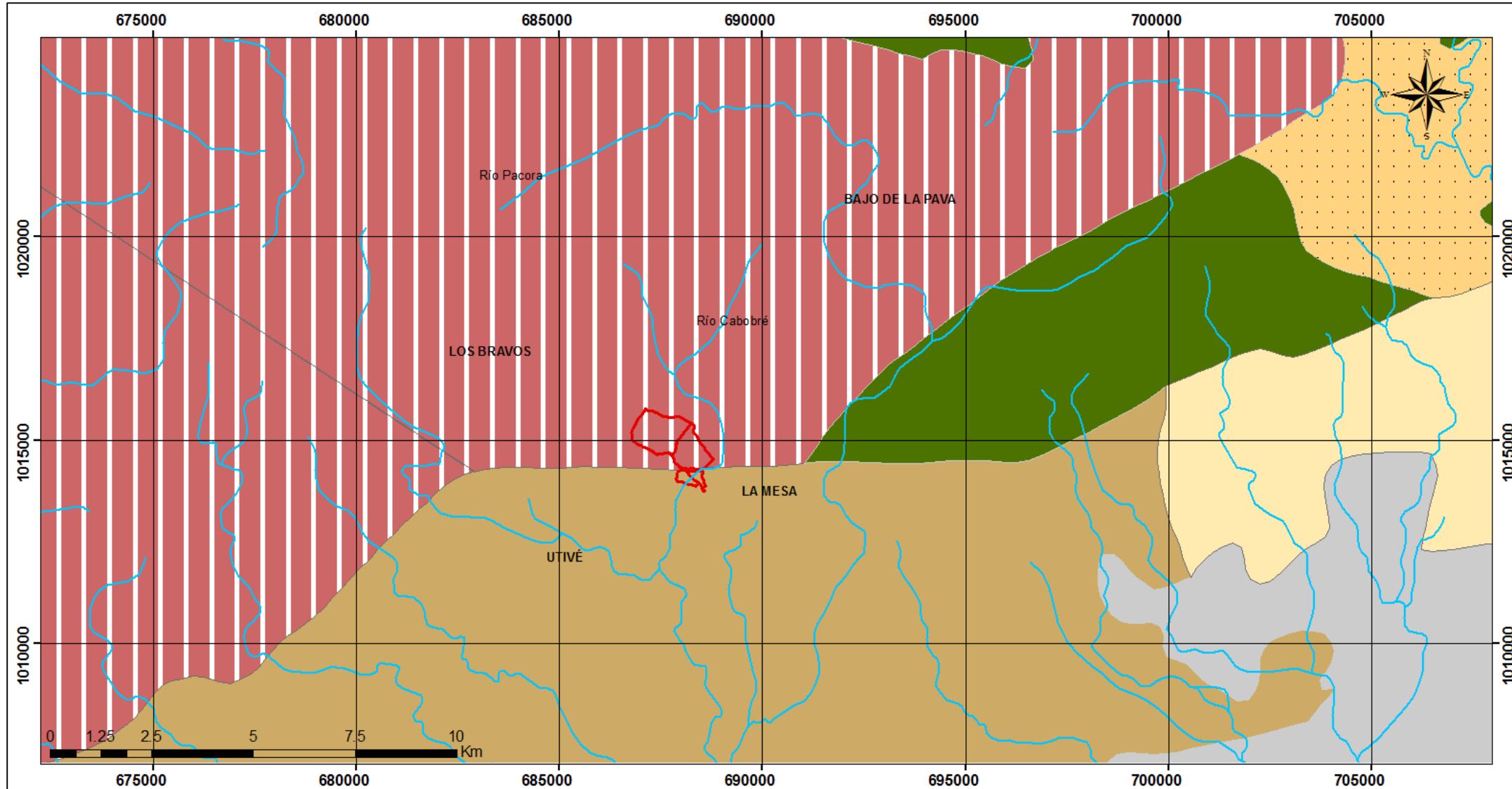
### **3.3 Geología Local.**

#### **3.3.1 Trabajos realizados.**

En la zona de estudio fueron perforados 3 pozos exploratorios, en las riberas del río Cabobré, en ubicaciones determinadas mediante tomografías eléctricas 2D. Los resultados de este estudio geofísico forman parte del Anexo 1 del presente informe.

Durante la fase de perforación se realizó la recuperación de núcleos de roca en dos de los sondeos, mientras que en el tercero se recuperaron detritos, debido a que fue perforado con martillo de fondo (DTH) para obtener un mayor diámetro de pozo. A las muestras recuperadas, se les realizó la descripción macroscópica y en los núcleos de roca se realizó la medición del Índice de calidad de la roca (RQD).

La ubicación de los pozos perforados en el área de interés se muestra en la Figura 4, mientras que en la Tabla 1 se presentan sus datos generales. En la misma tabla se presentan los datos generales de una investigación previa, elaborado (y no publicado) por Mapintec Geotechnologies Inc. cerca del área de estudio, en el 2009. Este incluye 3 perforaciones diamantinas con

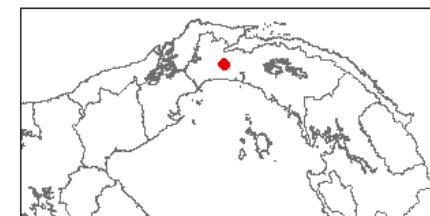


### Leyenda

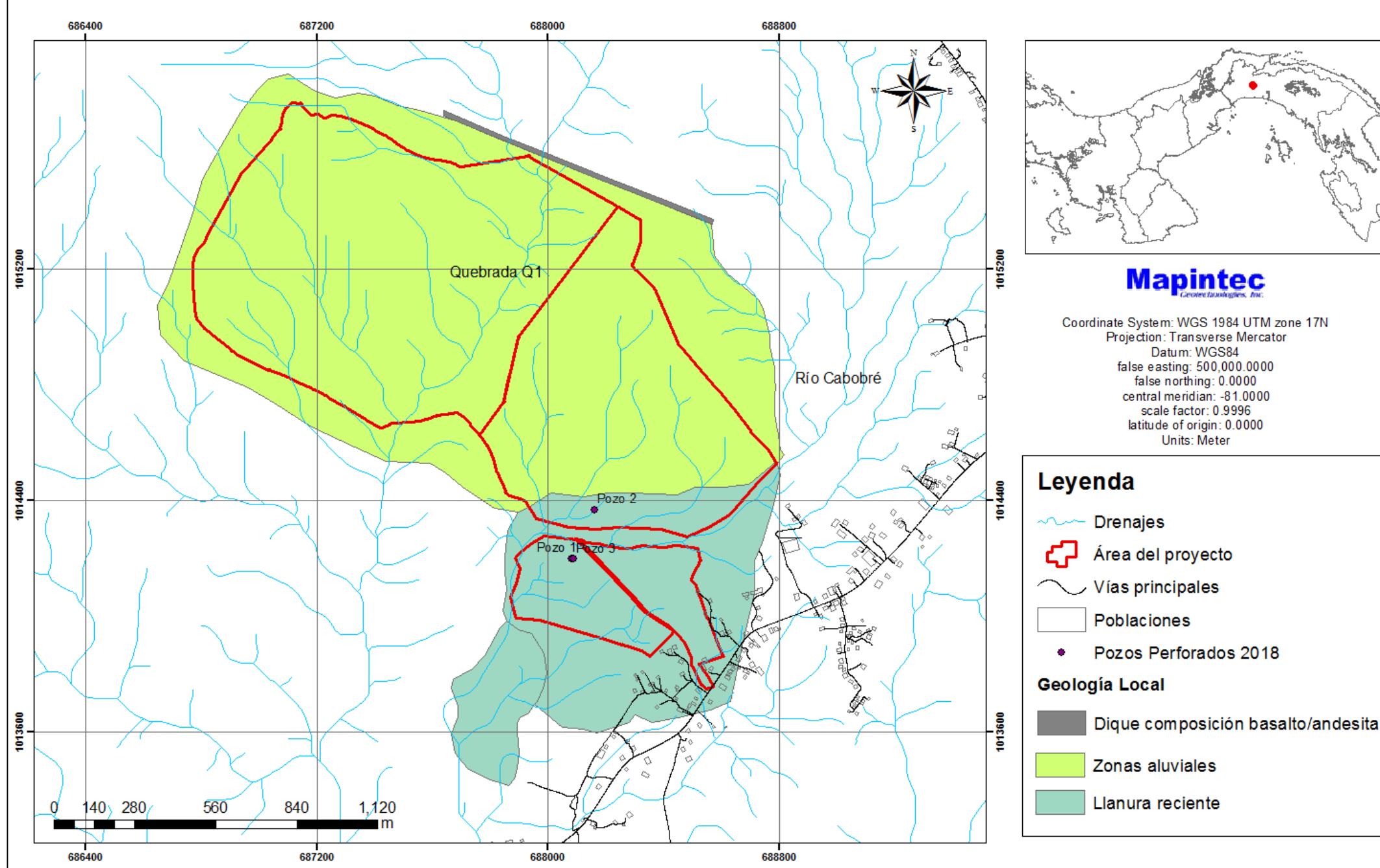
	Geología		
Ríos principales	K-COMa	K-VE	QR_Ala
Área del proyecto	TO-PA	K-PART	TOM-TZ

**Mapintec**  
Geotechnologies, Inc.

Coordinate System: GCS WGS 1984  
Datum: WGS 1984  
Units: Degree



**Figura 3.** Mapa geológico regional del área de estudio



recuperación de testigos y 15 perforaciones manuales con auger. Los registros de todas estas perforaciones se muestran en el Anexo 2.

**Tabla 1.** Datos generales de los pozos existentes en la zona.

Fecha	Tipo	Pozo	Coordenadas (Datum WGS84 UTM)		Prof. Final (m)
			Norte	Este	
19/03/2018	P. Diamantina	Pozo 1	1014199	688083	30
16/07/2018	P. Diamantina	Pozo 2	1014367	688161	70.5
07/08/2018	DTH	Pozo 3	1014197	688088	70.12
<b>Detalles de pozos y Augers estudio Mapintec (2009)</b>					
Fecha	Tipo	Pozo	Coordenadas (Datum NAD 27)		Prof. Final (m)
			Norte	Este	
Nov. 2009	Auger	LMA-1	1015128	688124	3.22
		LMA-2	1015188	688235	3.18
		LMA-3	1015193	688384	6.00
		LMA-4	1015199	688508	3.18
		LMA-5	1015391	688112	3.19
		LMA-6	1015361	688257	4.40
		LMA-7	1015378	688383	2.12
		LMA-8	1015377	688529	3.22
		LMA-9	1015499	688086	3.23
		LMA-10	1015519	688254	4.00
		LMA-11	1015581	688384	2.16
		LMA-12	1015703	688481	3.62
		LMA-13	1015446	688314	2.74
		LMA-14	1015743	688329	3.51
		LMA-15	1015783	688409	3.59
Nov. 2009	P. Diamantina	LMP-1	1015935	688317	29.87
	P. Diamantina	LMP-3	1015006	688281	40.54
	P. Diamantina	LMP-4	1015667	688395	39.0

Adicionalmente, se llevó a cabo un levantamiento geológico superficial de la zona, que incluyó el mapeo de afloramientos.

### **3.3.2 Estratigrafía.**

#### **Suelos.**

El Pozo 2 muestra la presencia de un suelo arenoso (arena fina a gruesa) con fragmentos de basalto de tamaño diverso. Tanto este como los pozos 1 y 3 están ubicados en las zonas bajas cercanas a la ribera del río Cabobré. Estas columnas estratigráficas forman parte del Anexo 3 del presente informe. Para el caso de la capa de suelo en las zonas altas, se recurrió a los resultados de los augers y perforaciones diamantinas del estudio (no publicado) realizado por Mapintec Geotechnologies Inc. (2008) en la zona adyacente al noreste del proyecto. De acuerdo con este, y los augers realizados, el espesor de suelo corresponde en promedio a unos 0.93 m; este suelo es arcillo - arenoso en su mayoría, exceptuándose en la perforación LMA-1, en donde se presenta arenoso, muestra una coloración entre café, pardo y rojizo y es común observar minerales como cuarzo y fragmentos muy meteorizados de roca. Siguiendo la capa de suelo, se tiene una capa de arena arcillosa, en donde se tiene un tamaño de grano para la arena de muy fino a medio en su gran mayoría, en muy pocas ocasiones alcanza un tamaño de grano grueso, presenta una coloración en su mayoría parda, aunque también puede ser café, pardo - grisáceo o café - grisáceo, la mineralogía observada en estas arenas arcillosas es cuarzo, plagioclasa, anfíboles y biotitas. En una de las perforaciones (LMA-8) se observó arena después de los 3 m., la cual presenta un tamaño de grano de fino a medio y un color gris – parduzco, compuesta por cuarzo, plagioclasa y anfíboles.

La composición de los suelos en el área de estudio, evidencian que los mismos deben tener buena capacidad de infiltración, porque están constituidos fundamentalmente por material producto de la meteorización de la roca parental que en la zona está conformado principalmente por rocas intrusivas tipo diorita, y la misma se degrada en partículas tamaño arena.

En función de las descripciones de los suelos en la zona podemos definir que los suelos son medios adecuados para la infiltración haciendo analogía con

lo planteado en Riverside, 2011 (Tabla 2), podemos categorizar estos dentro de la clasificación de los medio adecuados de infiltración por estar conformados principalmente por arenas acompañadas de limos y arcillas en menor proporción.

**Tabla 2.** Infiltración típica basados en la textura del suelo  
(Tomado de Riverside, 2011).

Coeficientes de Infiltración ( $f$ ) basados en la Textura del Suelo		
Tipo de suelo / textura	ISO 14688-1 descripción	coeficientes de infiltración típicos
	(Después Blake, 2010)	
<b>Medios adecuados de infiltración</b>		
Grava	Arena arcillosa	$3 \times 10^{-4}$ - $3 \times 10^{-2}$
Arena	Arena levemente limosa y ligeramente arcillosa.	$1 \times 10^{-5}$ - $5 \times 10^{-5}$
Arena arcillosa	Arena limosa finamente arcillosa	$1 \times 10^{-4}$ - $3 \times 10^{-5}$
Franco arenosos	Arena arcillosa-limosa	$1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-5}$
<b>Medios inadecuados de infiltración</b>		
Limoso	Arena arcillosa muy limosa	$1 \times 10^{-7}$ - $5 \times 10^{-5}$
Lodo limoso	Limo arcilloso arenoso	$1 \times 10^{-7}$ - $1 \times 10^{-5}$
Limo arcillo arenoso	Arena limosa muy arcillosa	$3 \times 10^{-10}$ - $3 \times 10^{-7}$
<b>Medios de infiltración insuficientes</b>		
Limo arcillo limoso	-	$1 \times 10^{-5}$ - $1 \times 10^{-5}$
Arcilla	-	$< 3 \times 10^{-5}$
<b>Otros</b>	N/A	$3 \times 10^{-9}$ - $3 \times 10^{-5}$
Roca (note la capacidad de infiltración en masa dependerá del tipo de roca y la extensión y naturaleza de las discontinuidades y cualquier relleno.)		

## Roca

Los pozos perforados en las riberas del río Cabobré están caracterizados por la presencia de rocas intrusivas y volcánicas. En los primeros 7.5 m, se presentan intervalos arenosos con presencia de fragmentos de basalto meteorizado, seguidos por una roca intrusiva de tipo diorita en partes fracturada y meteorizada y que se observa maciza a mayores profundidades. En el pozo 2, se pudo evidenciar el contacto fallado de la formación Mamoní y la formación Panamá, al encontrarse la presencia de toba volcánica a la profundidad de 46.5m aproximadamente, con presencia de alteración hidrotermal y carbonato de calcio en las fracturas. Este contacto, evidencia una zona de debilidad, que está caracterizada por mayor densidad de fracturas lo que se traduce en la disminución de la calidad de la roca, pero por otro lado aumenta la permeabilidad secundaria de esta unidad litológica.

En la Figura 5 se presenta una columna generalizada del área, donde hasta los primeros 7 metros se presentan intervalos arenosos con la presencia de fragmentos de basalto meteorizado, seguido por la presencia de diorita, en partes fracturada, acompañada con algunos lentes de granodiorita donde del contenido de cuarzo aumenta significativamente, haciéndola más competente y reduciendo significativamente las fracturas. En profundidad se observa la presencia de toba volcánica, con clorita como mineral accesorio, y carbonato de calcio llenando las fracturas, lo que la hace menos competente, y lo cual confirma el contacto fallado entre la Fm. Mamoní y la Fm. Panamá.

La Figura 6 muestra el mapa geológico local del área de estudio, interpretado con base a la información anteriormente descrita.

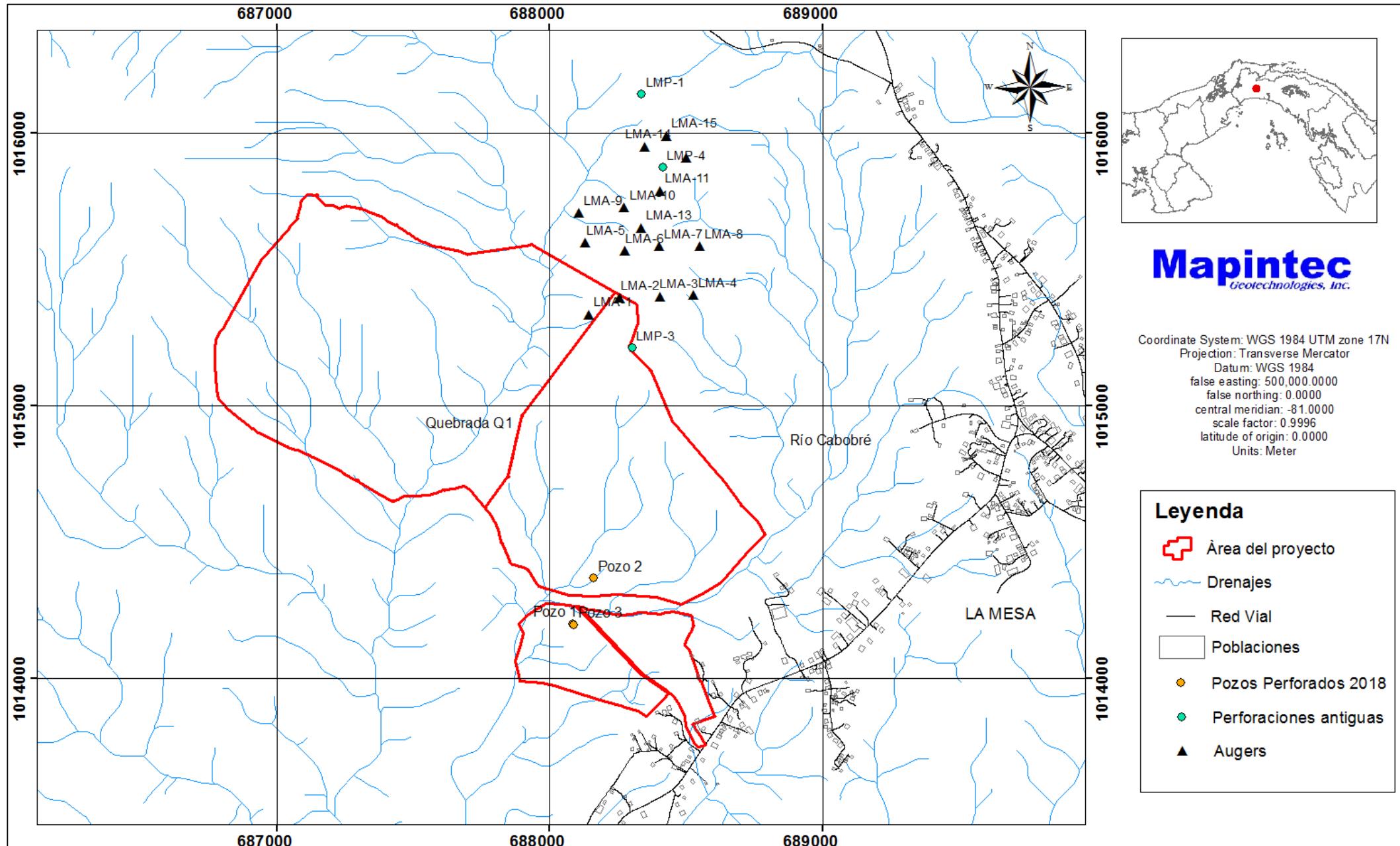


Figura 4. Mapa de ubicación de perforaciones en la zona de estudio

## Columna estratigráfica generalizada

Profundidad Metros	Litología	Profundidad(m)	Clasificación Litológica Visual	
			Fracturas	
0		^ ^ ^ ^ ^ ^ ^		Basalto fracturado, meteorizado, de color gris claro, con bordes redondeados.
		^ ^ ^ ^ ^ ^ ^		Arena gruesa, proveniente de la meteorización de la diorita
7,5		+ + + + + + +		Diorita fundamentalmente, con algunos lentes de granodiorita donde el contenido de cuarzo aumenta significativamente. En algunos intervalos la diorita se presenta fracturada.
42		+ + + + + + +		
		+ + + + + + +		Toba color gris oscuro con presencia de clorita y carbonato en las fracturas, deleznable y meteorizada. Igualmente en algunos tramos se observa manganeso
70		+ + + + + + +		

**Leyenda:**

Alto fracturamiento	(Dark Green)
Fracturamiento Medio	(Medium Green)
Bajo Fracturamiento	(Light Green)
No fracturado	(White)

**Figura 5.** Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.

### **3.4 Pruebas y ensayos realizados.**

#### **3.4.1 Índice de calidad de roca.**

En la Tabla 3 se presentan los valores de RQD relacionados con la calidad de la roca, la que, de acuerdo con estos, varía de muy pobre a muy buena.

**Tabla 3.** Índice de la calidad de masa de Roca.  
Tomado de (Deere, 1963).

RQD	Rock Mass Quality (Calidad de la masa de roca)
<25%	Muy pobre
25-50%	Pobre
50-75%	Regular
75-90%	Bueno
90-100%	Muy bueno

El RQD promedio para el pozo 2 fue de 57% lo que indica la presencia de una roca de categoría regular, lo que indica que es una roca que presenta buen fracturamiento. Para el caso del pozo 1 el RQD promedio fue de 34% lo que cataloga a la roca según la Tabla 3 como una roca de categoría pobre que evidencia un alto fracturamiento.

La existencia de rocas con RQD bajos y la presencia de óxidos (minerales ferromagnesianos oxidados) en las caras de las fracturas permiten definir estos macizos rocosos como de categoría III según la clasificación de flujo de agua en macizos rocosos como se puede apreciar en la Tabla 4 definida por (Montero Olarte, s/f). Sin embargo, también se presentan macizos pertenecientes a la categoría VI porque en ciertas fracturas se pudo apreciar que el relleno ha sido lavado, dejando vestigios de calcita o clorita en la cara de las fracturas, principalmente en la toba volcánica descrita en el pozo 2 de la zona de estudio.

**Tabla 4.** Categorías de flujo de agua en macizos rocosos (Montero Juan, s/f)

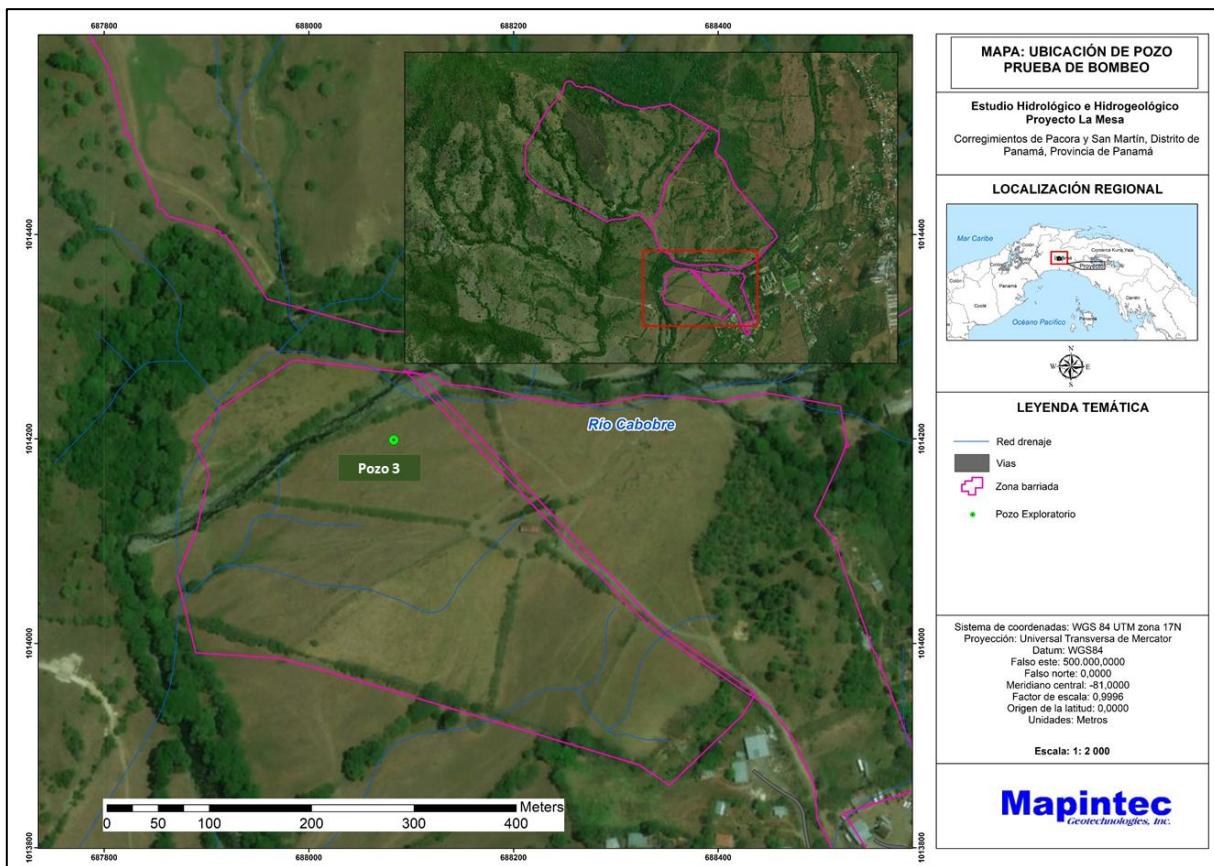
CATEGORIA	CATEGORIAS DE FLUJO DE AGUA EN MACIZOS ROCOSOS	
	DISCONTINUIDADES SIN RELLENO	DISCONTINUIDADES CON RELLENO
I	La discontinuidad parece muy limpia y seca, el flujo de agua no parece que pueda ocurrir	El relleno se encuentra fuertemente consolidado y seco, el flujo parece imposible debido a la baja permeabilidad
II	Discontinuidad esta seca sin evidencias de flujo de agua	El relleno se encuentra húmedo pero no hay agua libre
III	La discontinuidad esta seca pero muestra evidencias de flujo de agua como oxidaciones o moho	El relleno se encuentra mojado y eventuales gotas de agua
IV	La discontinuidad se aprecia húmeda pero no hay agua libre	El relleno presenta signos de lavado, flujo continuo, se debe estimar la cantidad de flujo por minuto
V	La discontinuidad presenta flujo, ocasionales gotas de agua, pero no hay flujo permanente.	El relleno ha sido lavado en ciertas partes, el flujo de agua es considerable. Se debe estimar la cantidad de flujo por minuto y calificar la presión como baja, media o alta
VI	Las discontinuidades presentan flujo permanente de agua. Se debe estimar la cantidad de flujo por minuto y calificar la presión como baja, media o alta.	El relleno ha sido lavado completamente y la presión es muy alta. Se debe estimar la cantidad de flujo por minuto y calificar la presión como baja, media o alta

Este tipo de rocas presentes en la zona (dioritas, granodioritas, basaltos) presentan muy baja o nula porosidad o permeabilidad primaria, pero el efecto del medio a alto fracturamiento presente, genera los espacios o interconexiones en el macizo rocoso que le permiten sea permeable (permeabilidad secundaria) generándose un acuífero fisurado, tal como es el caso en la zona de estudio, de acuerdo a las características de la roca en profundidad.

Las fotos de los testigos de roca recuperados en los pozos, y las columnas estratigráficas de cada pozo constituyen el Anexo 4 del presente estudio.

### 3.4.2 Pruebas de Bombeo.

Se realizó una prueba de bombeo escalonada y otra a caudal constante entre los días 7 al 10 de agosto del 2018.

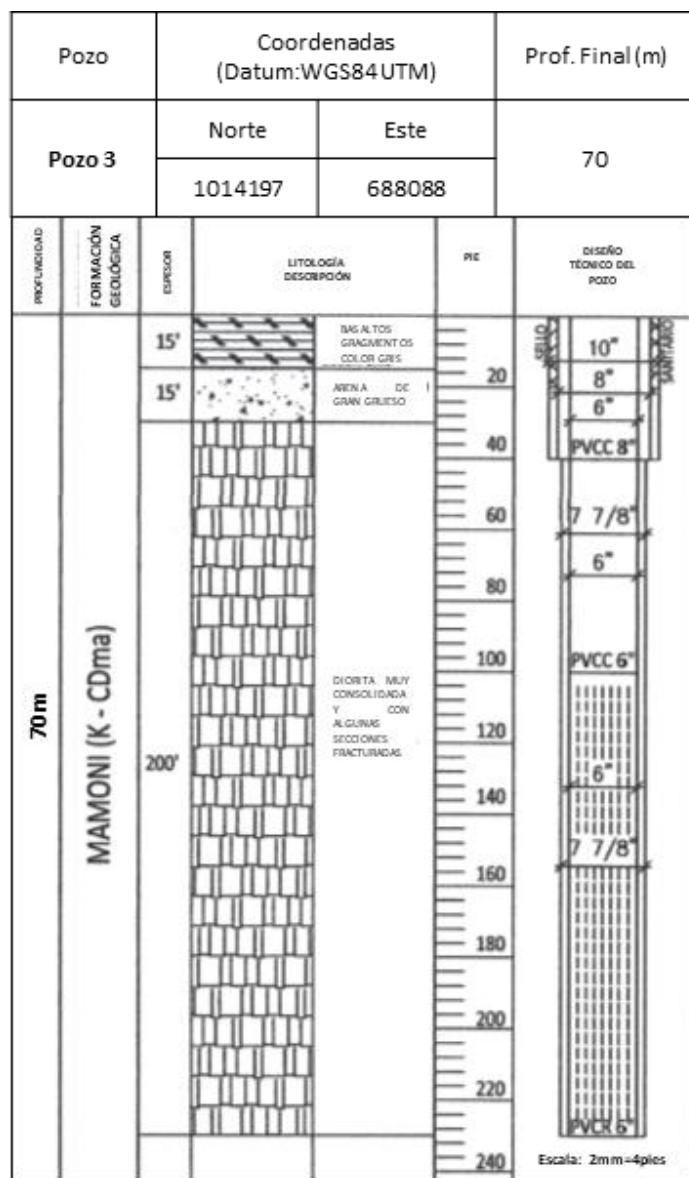


**Figura 7.** Ubicación de pozo para prueba de bombeo

#### 3.4.2.1 Prueba escalonada.

Se realizó una prueba escalonada en el Pozo 3, de 70.12 metros (230 pies) de profundidad, utilizando caudales de 32.71, 65.41 y 98.12 m<sup>3</sup>/día (6, 12 y 18 gpm, respectivamente), con diámetro revestido PVC de 6 pulgadas, bomba sumergible (Franklin Electric) de 3 HP y tubería PVC con diámetro de 1.1/4". La bomba se instaló a la profundidad de 60.97 metros (200 pies). El valor del nivel estático es de 2.13 metros (6.98 pies), de donde se tiene una columna de bombeo de 58.84

metros (193 pies). La Figura 8, muestra el diseño del pozo utilizado y los detalles constructivos de este.



**Figura 8.** Diseño técnico del pozo donde se realizó la prueba de bombeo

En la Tabla 5 se observan los registros de la prueba escalonada y para todos los caudales aplicados (3 escalones) con recuperación de niveles por escalón. Se logró la estabilización del nivel dinámico, para el primer escalón (6 gpm) a un valor del nivel dinámico de 4.92 m (16.13 pies), para un abatimiento de 2.79 metros (9.1519 pies), equivalente a

4.7 % de la columna de bombeo. Para el segundo escalón (12 gpm), el valor del nivel dinámico registrado fue de 6.13 m (20.10 pies), para un abatimiento de 4 metros (13.12 pies), equivalente a 6.79 % de la columna de bombeo. Para el tercer escalón (18 gpm), el valor del nivel dinámico registrado fue de 10.7 m (35.09 pies), para un abatimiento de 8.57 metros (28.11 pies), equivalente a 14.56 % de la columna de bombeo. Dichos porcentajes revelan, que los caudales de prueba pudieron ser de 10, 16 y 24 gpm.

En la Figura 9 se grafican los 3 escalones de 6, 12 y 18 gpm respectivamente. Se observa una anomalía en los datos, principalmente del primer escalón, en el comportamiento al primer minuto donde muestra un súbito descenso de 0 a 2.76 metros y luego, paulatinamente, a los 5 minutos alcanza la estabilización con 2.79 metros. Lo anterior podría indicar falla en la medida del nivel de agua o control tardío del caudal de prueba, asociado al incremento de éste y en consecuencia del descenso. Cabe destacar que no es frecuente encontrarse con acuíferos que al final de cada escalón presenten niveles totalmente estabilizados, como posiblemente indica el comportamiento en la Figura 9, pero en este caso, el río Cabobré actúa como una barrera positiva, permitiendo la estabilización de los niveles.

Para determinar la eficiencia del pozo, se utilizó la ecuación general de abatimientos (descensos), la misma considera que la eficiencia de un pozo es la relación entre el descenso teórico y el descenso real, expresado como porcentaje. En una situación real, aunque se cumplan los supuestos básicos, el cono de descensos siempre es más profundo de lo calculado en las inmediaciones del sondeo bombeado, lo que se presenta debido a pérdidas de energía por rozamiento, ya sea, en el propio acuífero, en la rejilla, en la bomba o en el propio sondeo; todos estos factores no están previstos en las ecuaciones. El descenso teórico es una función lineal del Caudal ( $Q$ ), y se puede representar así:

$$S_{teórico} = B * Q \quad (1)$$

Donde B es una constante (para un acuífero determinado y para un caudal de bombeo y un tiempo dados). Por otra parte, Jacob (1946) dedujo que los descensos adicionales debido a pérdidas por rozamiento son una función potencial del caudal, aproximadamente función del cuadrado del caudal; así:

$$S_{pérdidas} = C * Q^2 \quad (2)$$

Siendo C otra constante que depende de la obra de captación concreta. Por lo tanto, el descenso observado en la realidad será la suma de las dos anteriores:

$$S_{real} = B * Q + C * Q^2 \quad (3)$$

Finalmente, se define la eficiencia de una captación como la relación entre el descenso teórico y el descenso real, expresado en porcentaje:

$$Eficiencia = \frac{S_{teórico}}{S_{real}} * 100 \quad (4)$$

En la ecuación (2) se expuso una simplificación, pero en la realidad el exponente "n" (parámetro que define el régimen de flujo en el pozo) no siempre es igual a 2, con  $1 \leq n < 3.5$ , de acuerdo con Lennox y la ecuación en su forma general es:

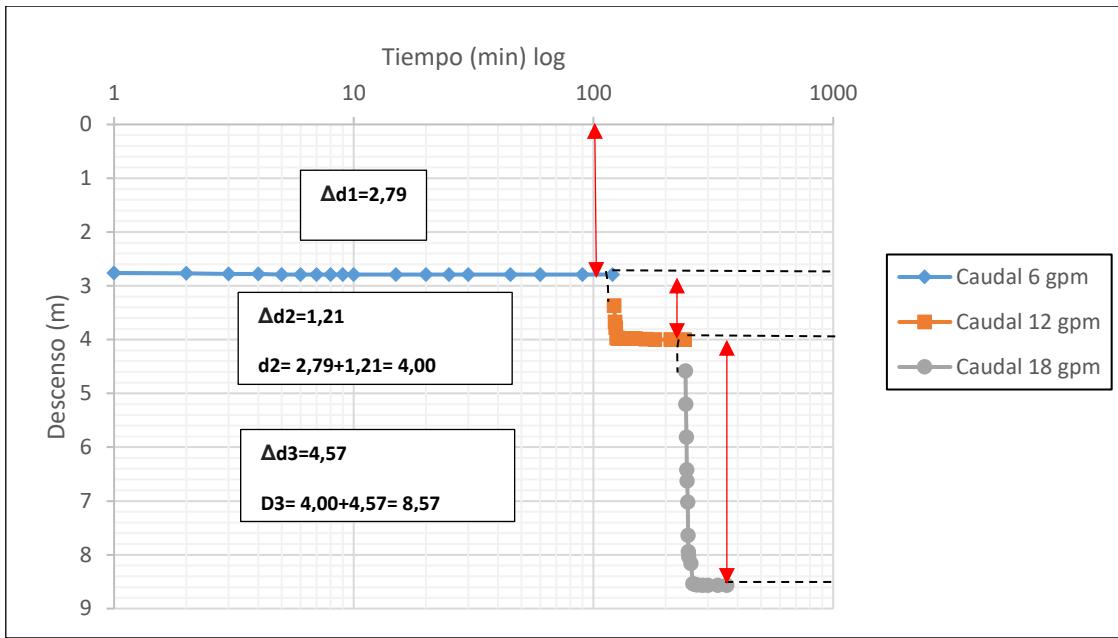
$$S_{real} = B * Q + C * Q^n \quad (5)$$

Finalmente, la fórmula para calcular la eficiencia en su forma general es:

$$Eficiencia = \frac{B * Q}{B * Q + C * Q^n} = \frac{B}{B + C * Q^{n-1}} \quad (6)$$

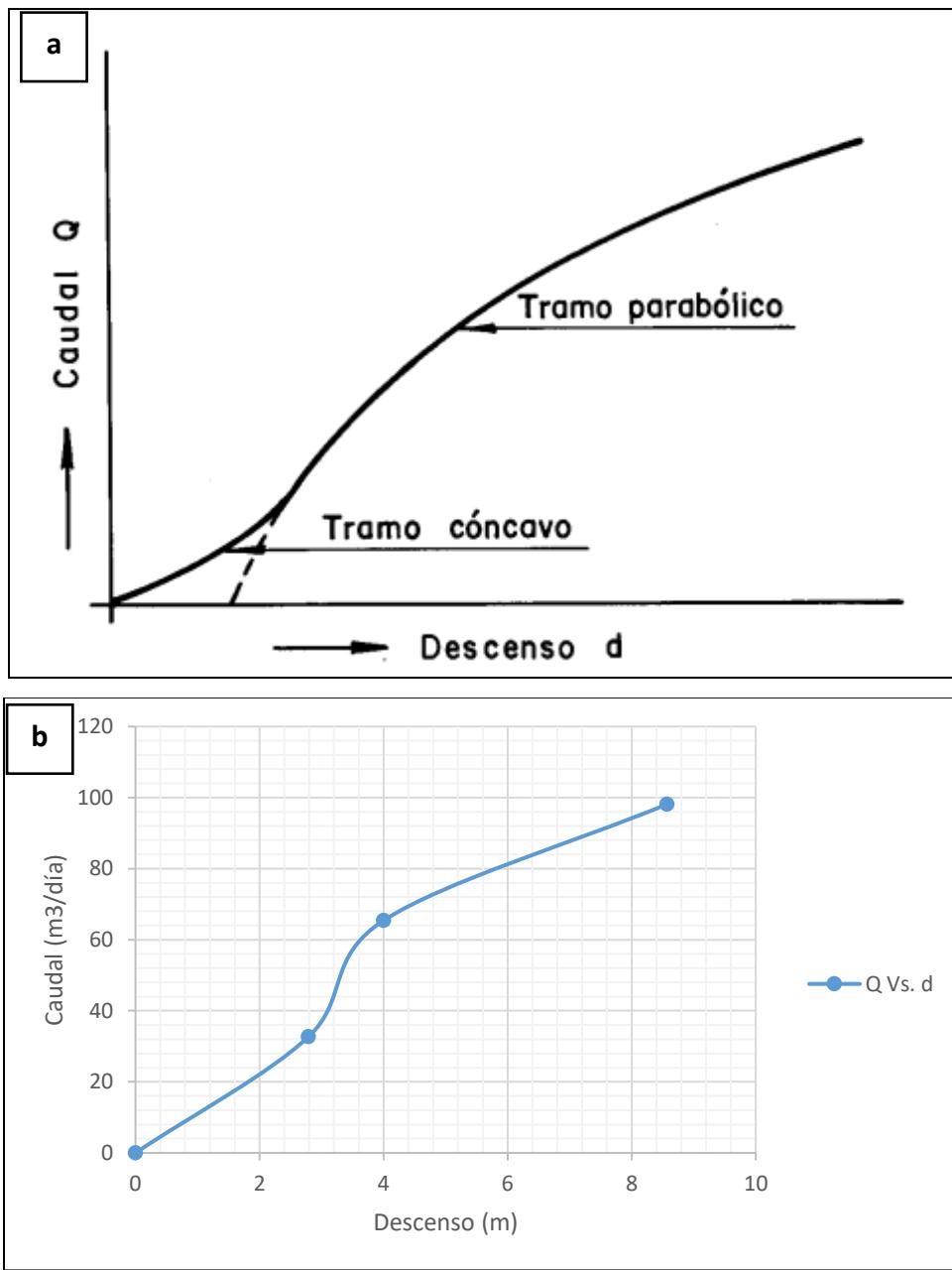
**Tabla 5.** Registro de datos de prueba de bombeo escalonada.

<u>INFORMACIÓN GENERAL</u>						
Pozo	PP	Distrito	Chepo	Provincia	PANAMÁ	
Fecha	Inicio	07/08/2018	Final	07/08/2017	Nivel estático agua (m) 2.13	
Hora	Inicio		Final		Temperatura agua	
<u>CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO</u>						
Tipo	Sumergible de 3 HP					
	Descarga: 1.5 pulgadas.					
<u>REGISTRO DE DESCENSOS</u>						
HORA	TIEMPO OBSERVACION (MINUTOS)	CAUDALES PROBADOS EN GPM				Observaciones
		6 gpm	12 gpm	18 gpm		
		Abatimientos (m)				
	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>			
0						
1	2.76	3.37	4.58			
2	2.77	3.67	5.20			
3	2.78	3.78	5.81			
4	2.78	3.97	6.42			
5	2.79	3.97	6.63			
6	2.79	3.98	7.02			
7	2.79	3.98	7.64			
8	2.79	3.98	7.94			
9	2.79	3.98	8.04			
10	2.79	3.98	8.16			
15	2.79	3.98	8.54			
20	2.79	3.98	8.55			
25	2.79	3.98	8.56			
30	2.79	3.99	8.57			
45	2.79	4.00	8.57			
60	2.79	4.00	8.57			
90	2.79	4.00	8.57			
120	2.79	4.00	8.57			
	Q/s (gpm/pie)	0.66	0.91	0.64		



**Figura 9.** Prueba de bombeo escalonada para 6, 12 y 18 gpm.

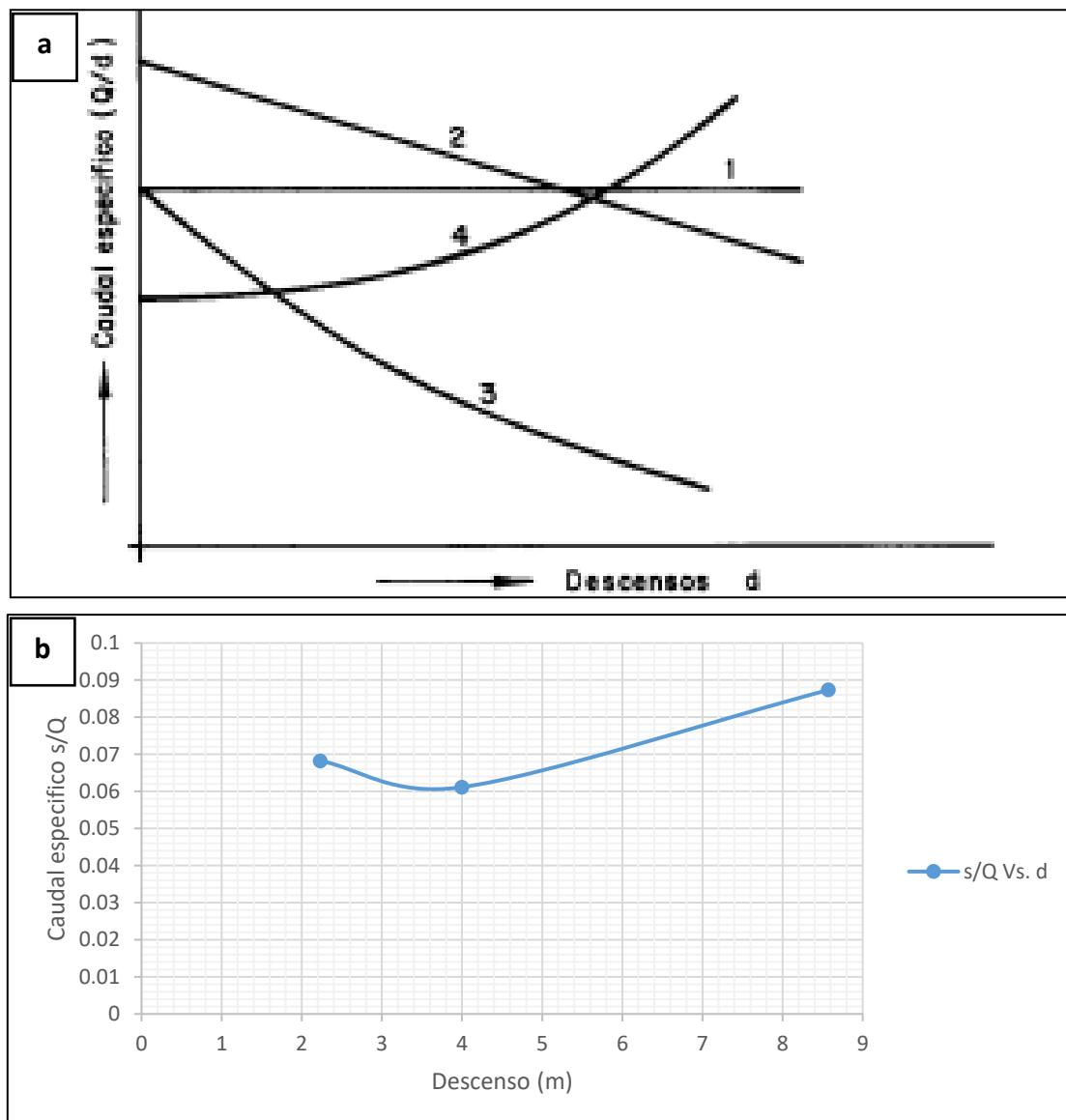
De acuerdo con Villanueva e Iglesias (1984) la curva característica de un pozo depende del tipo de acuífero que este atraviese. Cuando los datos propios del bombeo (caudal y descensos) son erróneos, o en aquellos casos en que los parámetros del acuífero varían en función del radio de influencia, las curvas características pueden deformarse en mayor o menor grado según la magnitud de los errores que se hayan cometido en los datos e hipótesis de partida. En la Figura 10, observamos que la curva de valores de caudal Vs. Descenso (Figura 10b), se correlaciona a una curva característica de sistemas acuíferos multicapa (Figura 10a), esto es debido al descenso originado por acuíferos de menor potencial sobre aquellos que tienen mayor potencial, para alcanzar el nivel medio ponderado del pozo. Esto sucede, probablemente, cuando se bombea un acuífero heterogéneo y el agua circula a través de fisuras o fracturas, el régimen turbulento se propaga a zonas alejadas del punto de bombeo, obteniéndose valores de "n" elevados. En acuíferos libres, sucede cuando el espesor saturado se reduce de modo importante, los descensos crecen rápidamente para pequeños incrementos de caudal.



**Figura 10.** A) Curva característica de un sistema multicapa con distintos potenciales. Tomado de Villanueva e Iglesias (1984). B) Caudal Vs. Descenso para el bombeo escalonado con recuperación.

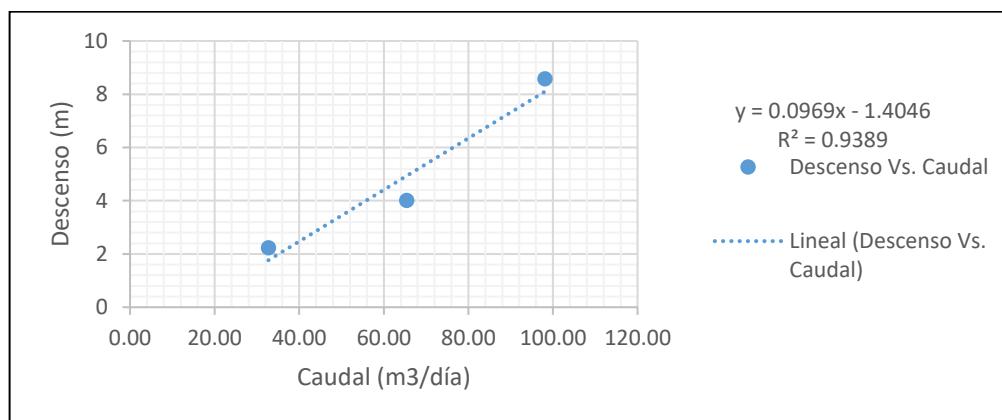
En la Figura 11, se observa que la curva característica  $d/Q$  Vs.  $d$  se asemeja a la curva 4. De acuerdo con Villanueva e Iglesias (1984), esta curva es anómala, probablemente por datos mal tomados o un acuífero con características cambiantes con el tiempo de bombeo. Respecto a esto último, es importante recordar que, de acuerdo a la geología del área, existe una zona superior compuesta por gravas y arenas,

suprayacente a una zona de roca fracturada. Esto nos indica que los resultados anteriores podrían ser consecuencia de la interacción de dos tipos de acuíferos; uno superficial, libre, formado por la mezcla de gravas y arenas, y otro más profundo, de tipo fisurado. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la cercanía del pozo de bombeo al cauce del río Cabobré, el cual actúa como una barrera positiva.



**Figura 11.** A) Curva características ( $Q-d$ ) y ( $d/Q-d$ ). Tomado de Villanueva e Iglesias (1984). 1. Acuífero cautivo sin perdidas en el pozo. 2. Acuífero libre sin perdidas de carga en el pozo. 3. Acuífero con pérdidas de carga no lineales. 4. Curva anómala. Datos mal tomados o acuífero con características cambiantes con el tiempo. B) Caudal específico Vs. Descenso para el bombeo escalonado con recuperación.

Debido a que se presenta una falta de control tardío del caudal de prueba en el primer escalón, se decidió realizar una interpolación lineal (Figura 12) para determinar el descenso teórico en este escalón, de acuerdo con el comportamiento de los descensos obtenidos con los demás caudales.

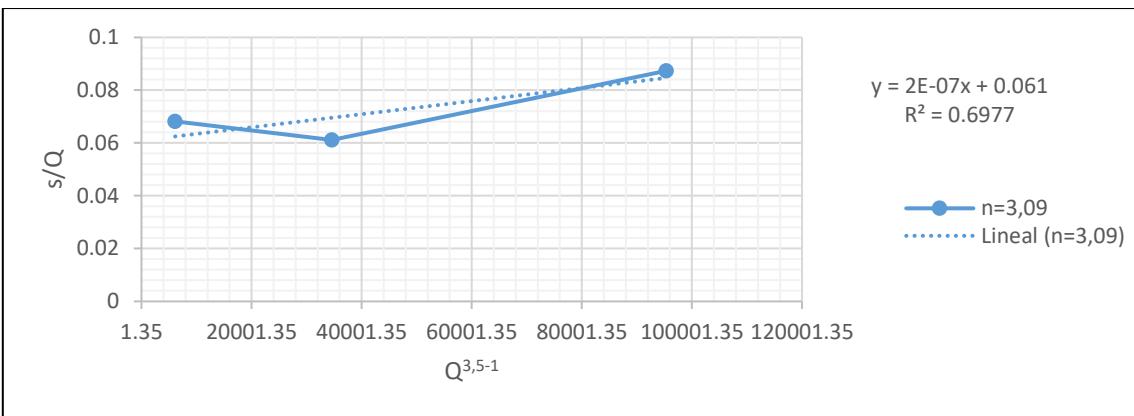


**Figura 12.** Interpolación lineal para determinar el descenso del primer escalón.

Con los datos de caudal de los 3 escalones, las constantes B y C (dependientes de las relaciones lineales) se determinaron gráficamente a través de la relación  $s/Q$  vs Caudal. Con  $n=2$  se generó una curva cóncava positiva hacia el eje y, por lo tanto, el exponente deberá ser mayor a 2 ( $n > n_0$ ). En la Figura 13, se determina que  $n$  corresponde a 3.5. Dicho valor fue determinado a través del método de tanteo a fin de alcanzar la mejor relación lineal en la figura indicada. Los valores  $n$  utilizados, fueron de 1.0 hasta 3.5. Cabe mencionar, que dicho exponente depende del nivel de flujo de agua subterránea: de 1.0 a 2.5, se asocian más a flujos laminares (ley de Darcy- medio poroso primario) y mayores que 2.5 pueden ser asociados a flujos relativamente turbulentos, influenciados por fracturamiento o fenómenos de Karstificación.

Por lo tanto, la ecuación característica del pozo (Q-d) es:

$$d = 6,1 \times 10^{-2} Q + 2 \times 10^{-7} Q^{3.5} \quad (7)$$



**Figura 13.** Curva característica del pozo PP (n=3.5).

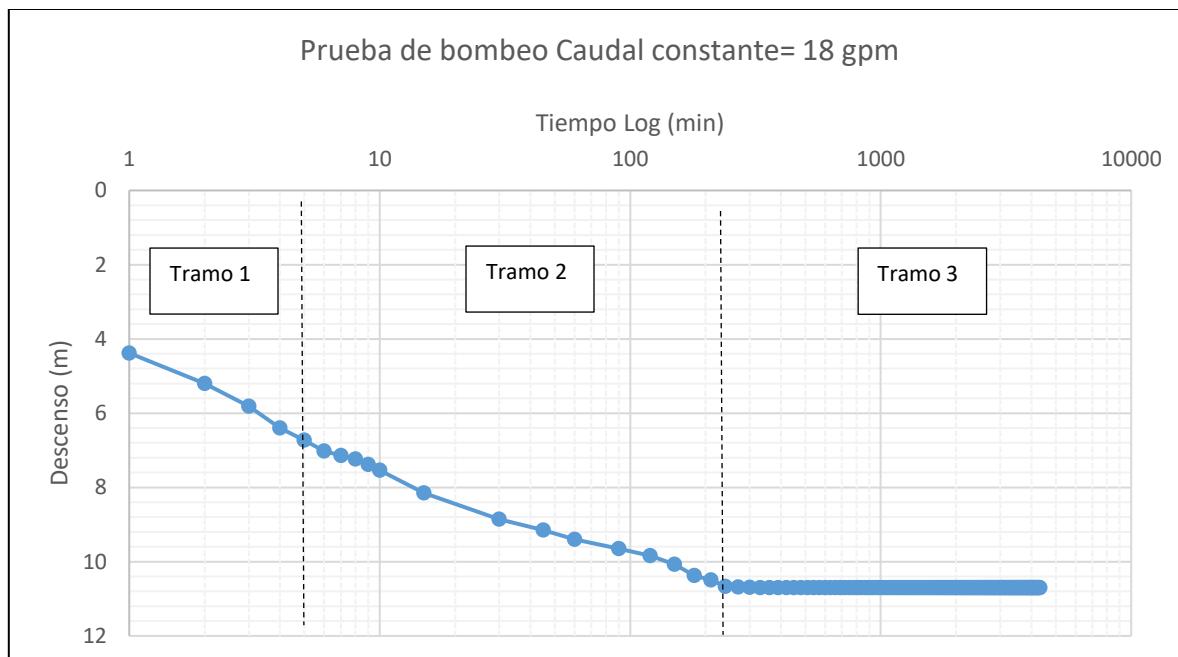
Para determinar la eficiencia del pozo, se consideró el comentario sobre el primer escalón (primer caudal) respecto al abatimiento (descenso), por lo que para realizar los cálculos se utilizó un valor de descenso de 2.23 m, obtenido a partir de la interpolación de los datos de la Figura 12. Para los caudales aforados de 6 gpm, 12 gpm y 18 gpm se obtuvo una eficiencia de pozo de 98%, 89 % y 76%, respectivamente. La eficiencia promedio es del 88 %, la cual se considera como representativa para esta prueba de bombeo.

#### 3.4.2.2 Prueba de bombeo a caudal constante.

Se realizó una prueba de bombeo con caudal constante de 18 gpm (1,14 l/s) entre el 8 y 10 de agosto. En el Anexo 5 se registran los datos tiempo Vs. descenso de la prueba y en la Figura 14 se observan los resultados obtenidos. Se observan tres tramos: el primero corresponde con los primeros 5 minutos y se asocia al vaciado del volumen del pozo (cilindro) en sus primeros 3-5 minutos. Los siguientes 250 minutos, reflejan una pendiente de abatimientos característicos de un medio poroso que presenta de baja a moderada permeabilidad, con pequeños tramos empinados y otros con menor énfasis, indicando menor a mayor permeabilidad, respectivamente. Probablemente, esto se deba como se comentó anteriormente, a la presencia de un sistema multicapa, condicionado por la zona aluvial superficial referida, y la conectividad de ésta con la zona de fracturas en profundidad.

En el tercer tramo, después del punto de inflexión, a los 250 minutos con el caudal indicado, se observa una estabilización con reducción de la pendiente hasta los 4320 minutos, con descenso total de 10.70 metros (35.09 pies), indicando la tendencia a la estabilización del abatimiento desde el minuto indicado, es decir que el pozo se estabilizó a partir de la hora 5.

Se puede decir de manera general que la zona acuífera se encuentra en una zona aluvial (gravas, arenas y en menor cantidad arcilla), que suprayace a una unidad de roca con alto grado de meteorización proveniente de la formación plutónica, y ésta a su vez, se encuentra sobre una roca con fracturamiento de medio a alto. Por lo tanto, se modelará como un acuífero detrítico confinado, de gran complejidad litológica, que se ajustará al método de Theis.



**Figura 14.** Curva Tiempo log (min) Vs. Descenso (m) de los resultados obtenidos para la prueba de bombeo a caudal constante =18 gpm.

Luego de representar los datos de descenso – tiempos en un gráfico doble logarítmico, se eligen las coordenadas de ajuste de la función

$W(u) = 1$  y  $1/u = 100$ . Para este caso obtenemos los siguientes datos (Tabla 6):

**Tabla 6.** Valor teórico del coeficiente de almacenamiento

Parámetro	Valor	Unidades
$Q$	18	gpm
$W(u)$	1	adimensional
$1/u$	100	adimensional
$t_0$	4.8	min
$\Delta d$	1.7	m

Para el cálculo de la Transmisividad, sustituimos la pareja de valores en la ecuación de Theis:

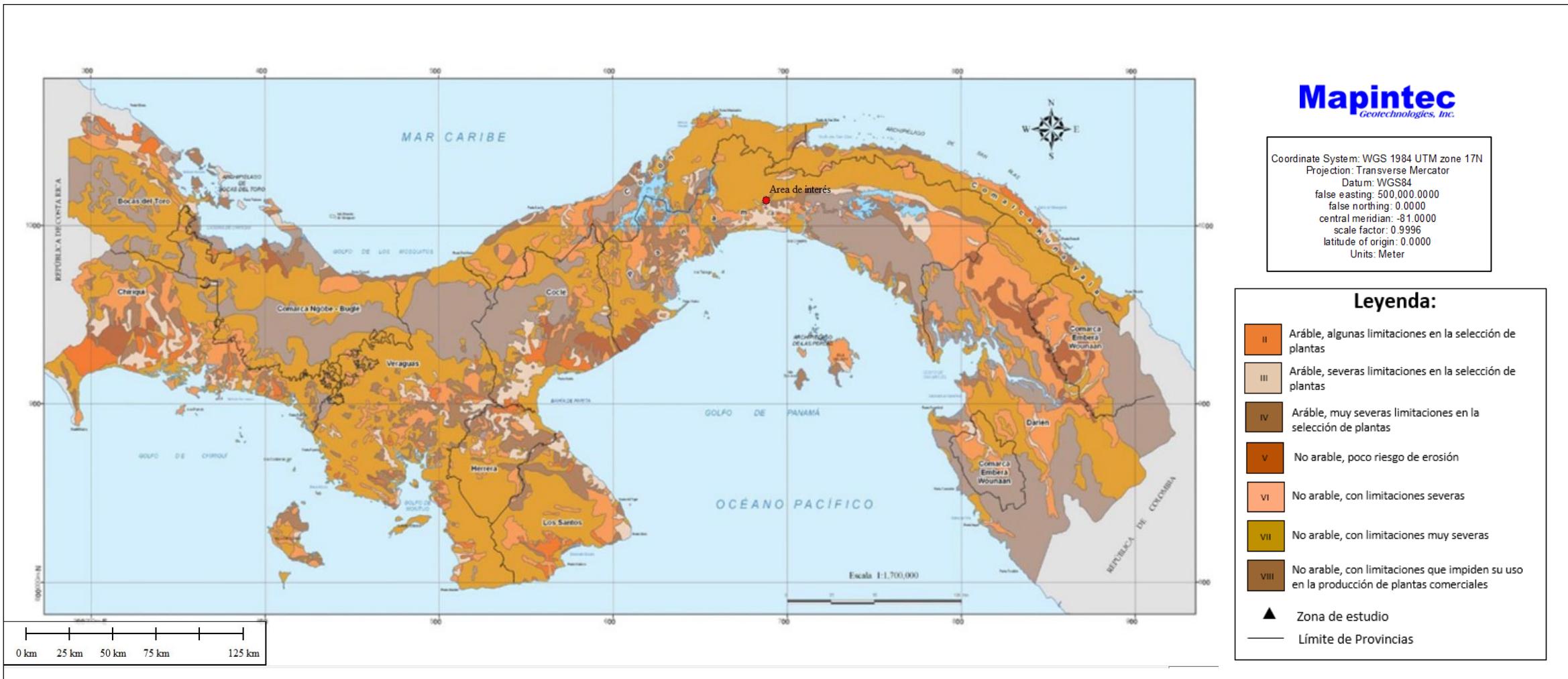
$$T = \frac{Q * W(u)}{4\pi * d} \quad (8)$$

Finalmente, en la Tabla 7 se resumen los valores de parámetros hidráulicos para el Pozo 3:

**Tabla 7.** Parámetros hidráulicos del pozo de la Mesa de Pacora.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal (Q)	18	gpm
Transmisividad (T)	4.59	$m^2/día$
$W(u)$	1	adimensional
$1/u$	100	adimensional
$t_0$	4.8	min
$\Delta d$	1.7	m
radio (r)	0.1524	m
Caudal específico (Qe)	0.67	$L/s*m$

El valor de transmisividad obtenido para el sistema acuífero en la Tabla 7, muestra que corresponde a un acuífero con comportamiento de tipo libre con una baja transmisividad.



**Figura 15.** Mapa de capacidad agrológica del suelo

## **4. SUELOS, COBERTURA BOSCOSA Y ZONAS DE VIDA.**

### **4.1 Suelos.**

Las características geomorfológicas del país, interactuando con elementos tales como la lluvia, la temperatura, el viento, etc., generan procesos de meteorización de la roca madre de las formaciones geológicas existentes, generando distintos tipos de suelo según los criterios de clasificación que se use.

En Panamá, los suelos se clasifican según el sistema norteamericano Land Capability (Capacidad Agrológica) en ocho clases y se designan con números romanos, que van del I al VIII. Las tierras de Clase I son las tierras óptimas, es decir, que no tienen limitaciones y a medida que aumentan las limitaciones se designan progresivamente con números romanos hasta la Clase VIII. Las tierras de las Clases I a IV son de uso agrícola. En Panamá no se ha reportado la Clase I, las Clases II y III tienen algunas limitaciones, y la Clase IV es marginal para la agricultura. Las Clases V, VI y VII son para uso forestal, frutales o pastos. La Clase VIII son tierras destinadas a parques, áreas de esparcimiento, reservas y otras (ANAM Autoridad Nacional del Ambiente, 2010).

La zona de interés se encuentra en una zona netamente agrícola (Figura 15) correspondientes a suelo clase II Estos terrenos son aptos para la producción de cultivos anuales. Las tierras de esta clase presentan algunas limitaciones que, solas o combinadas, reducen la posibilidad de elección de cultivos, o incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo o de conservación de suelos (Autoridad Nacional del Ambiente, 2011)

Una de las actividades más representativas practicadas específicamente en la subcuenca Cabrobré – Utivé es el uso agropecuario de subsistencia. A la vez, es un área que se caracteriza por presentar una topografía irregular, con pendientes mucho más pronunciadas que el resto de las zonas. (MSc. Luiggi Franceschi et, al., 1998).

#### **4.2 Cobertura Boscosa.**

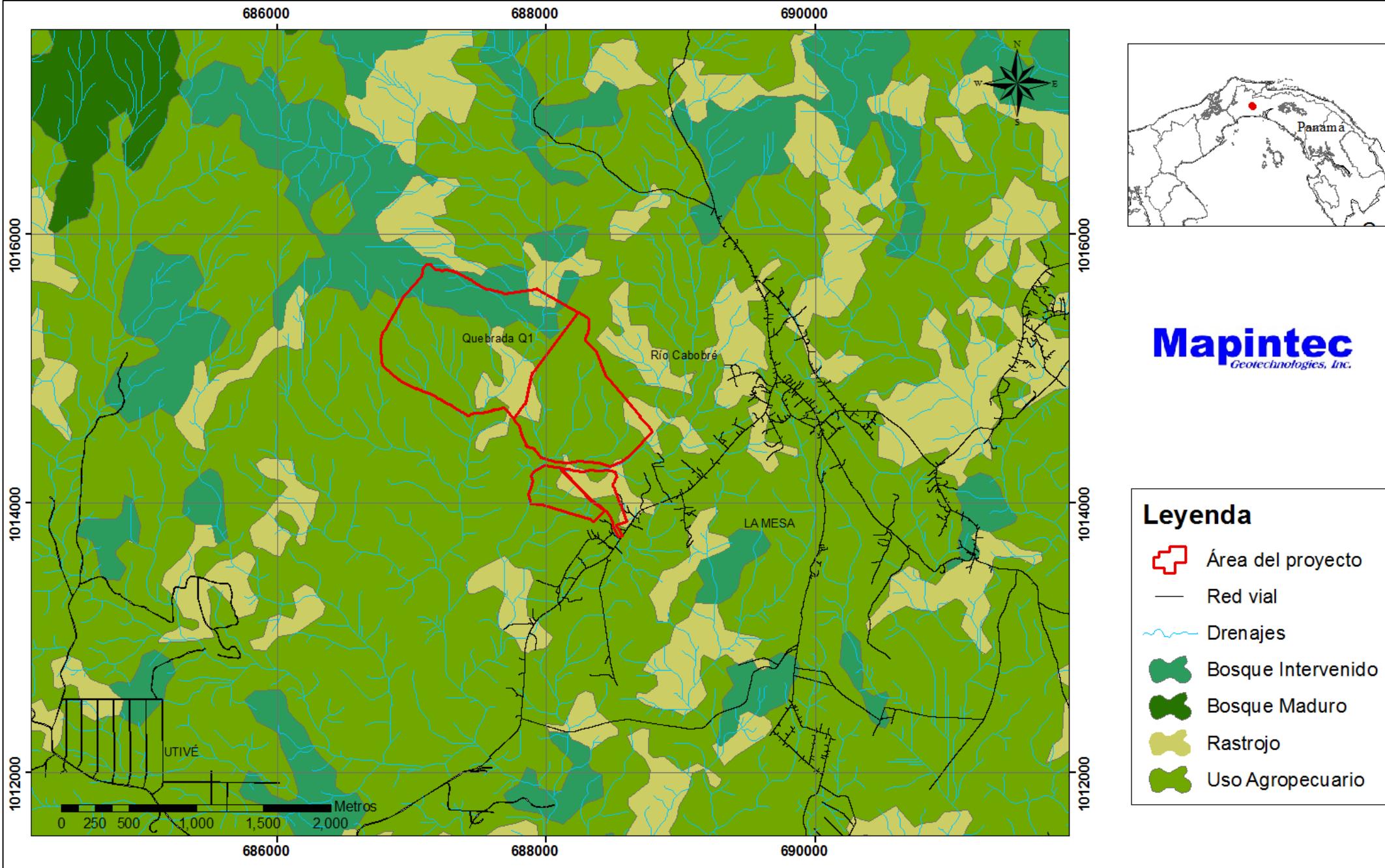
En cuanto a vegetación, la composición florística original ha sufrido severos cambios, originándose la deforestación de las tierras, observándose arbustos y herbáceas naturales dispersos y poco desarrollados, sobre todo en la parte media y baja de la cuenca. También en esta zona existen extensas áreas de pasturas degradadas y algunas zonas de cultivos de granos básicos. En la parte más alta, en suelos más inclinados se encuentran especies nativas formando bosques naturales específicamente en el área occidental de la parte alta, luego se tiene una pequeña zona agrícola con cultivos permanentes de café poco tecnificado, que se aproximan a un sistema agroforestal. La vegetación natural se va disminuyendo año con año, lo cual se puede considerar como un factor crítico (MSc. Luiggi Franceschi et, al., 1998)

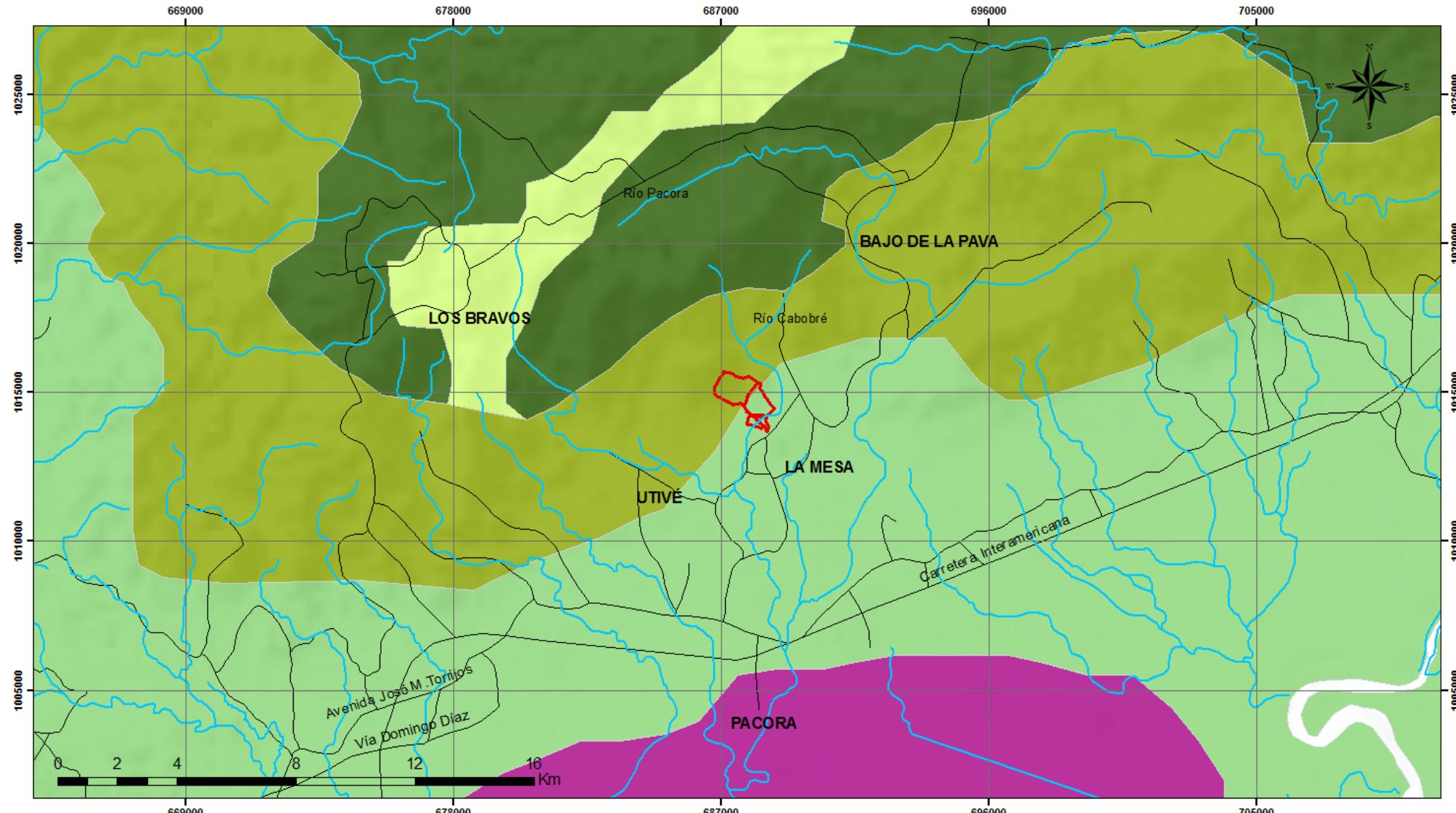
La cobertura boscosa con mayor predominio es la de uso agropecuario, que en total representa el 71.24 % de la superficie total de la zona de interés. A esta le sigue el rastrojo que ocupa el 15.22 % del terreno, y el bosque intervenido representa un 13.53% (Figura 16).

#### **4.3 Zonas de vida.**

En el país, según el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá (2010 – 2030) han sido identificadas y cartografiadas doce zonas ecológicas bien diferenciadas. Todas se caracterizan por la temperatura, la precipitación y las condiciones termoperiódicas de los trópicos interiores y por ello pertenece a la región latitudinal tropical. Estas zonas, llamadas también zonas de vida, encierran un rango de cuatro fajas latitudinales y cuatro provincias de humedad a saber:

- **Faja tropical:** Donde predominan los bosques secos tropicales, los bosques húmedos tropicales y los bosques muy húmedos tropicales.





### Leyenda

- + Área del proyecto
- Ríos principales
- Vías Principales

### Zonas de vida

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Bosque húmedo premontano | Bosque pluvial premontano    |
| Bosque húmedo premontano | Bosque muy húmedo premontano |
| Bosque húmedo tropical   | Bosque muy húmedo tropical   |

**Mapintec**  
Geotechnologies, Inc.

Coordinate System: NAD 1927 UTM Zone 17N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: North American 1927  
 false easting: 500,000.0000  
 false northing: 0.0000  
 central meridian: -81.0000  
 scale factor: 0.9996  
 latitude of origin: 0.0000  
 Units: Meter



Figura 17. Zonas de vida en el área de estudio

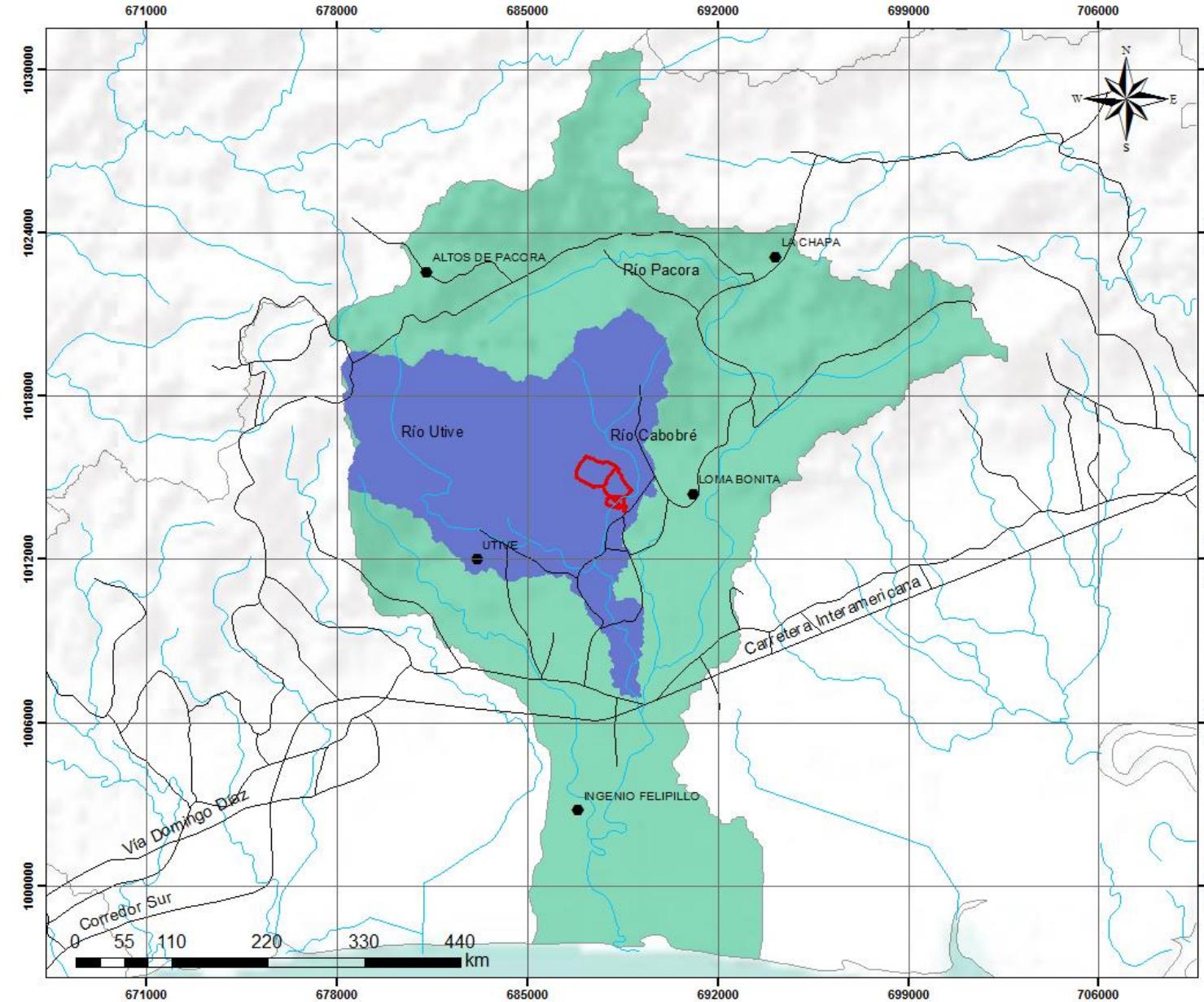
- **Faja premontano tropical:** Donde se encuentran bosques secos premontanos, bosques húmedos premontanos, bosques muy húmedos premontanos y bosques premontanos pluviales.
- **Faja montano bajo tropical:** Caracterizada por la presencia de bosques húmedos montanos bajos, bosques muy húmedos montanos bajos y bosques pluviales montanos bajos.
- **Faja montano tropical:** Donde existen bosques muy húmedos montanos y bosques pluviales montanos.

En la cuenca del río Pacora, se identifican cuatro zonas de vida, de acuerdo con mapa original elaborado bajo el Sistema de Clasificación de Holdridge, modificado por Tosi. Específicamente en la zona de estudio, está representada por alrededor de un 45% de Bosques muy húmedo premontano, un 55% de bosque húmedo tropical, tal y como lo muestra la Figura 17 (ANAM Autoridad Nacional del Ambiente, 2010).

## 5. HIDROLOGÍA.

La hidrología de Panamá está controlada por la geología, geomorfología y los usos del suelo, que influyen directamente en la longitud, pendiente y orientación de los drenajes. La divisoria principal de las cuencas nacionales es la cordillera central, la cual se extiende de oeste a este y marca dos vertientes significativas; la vertiente del Atlántico, por la cual corren el 30% de los drenajes con una longitud media de 56 km y una pendiente media de 2.5%, y la vertiente del Pacífico, que abarca el 70% de los drenajes del país con longitudes medias de 106 km y pendiente media de 2.27% (ETESA, s.f.). En total hay 52 cuencas hidrográficas, 18 en la vertiente del Atlántico y 34 en la vertiente del Pacífico (SIAGUA, s.f.). La zona de interés se encuentra dentro de la cuenca No. 146, denominada Cuenca del Río Pacora, la cual limita al noroeste con la cuenca del Lago Gatún (115), al noreste con la cuenca del Río Mandinga (119), al sur con la Bahía de Panamá, al este con la cuenca del Río Bayano (148) y al oeste con la cuenca del Río Juan Díaz (144). (Figura 18). Tiene un área aproximada de 361.20 km<sup>2</sup> y un perímetro de 120.77 km, con una longitud de cauce de 51.8 km desde su inicio hasta la desembocadura. Sus principales afluentes lo constituyen los ríos Indio, Cabobré y Tataré. Esta cuenca ha sido dividida en seis regiones o unidades hidrológicas, dentro de las que destaca la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé, y que es objeto de estudio en la presente investigación, debido a que su río principal (Cabobré) atraviesa en sentido este – oeste, la zona del proyecto residencial.

La subcuenca de los ríos Cabobré-Utivé tiene un área de 85.6 km<sup>2</sup> y un perímetro de 55.3 km. Esta subcuenca se inicia por el lado del Río Utivé, en la parte noroeste y norte de la cuenca (Figura 19), en la cadena montañosa que sirve de límite con la subcuenca del Río Pacora – Parte Alta y con la cuenca vecina del Río Cabra, y finaliza en el punto de confluencia con el Cabobré. La elevación del punto de inicio del escurrimiento es de 765 msnm y su punto más bajo de 43 msnm, con una longitud del cauce en este tramo de 16.1 km y una pendiente de 4.48%. Por otro lado, el Río Cabobré se inicia en la parte montañosa del noreste de la subcuenca y tiene una longitud total de cauce de 17.9 km, tiene una elevación de 467 msnm en su parte más alta y 14 msnm en su parte más baja, en la confluencia con el Río Pacora, con una pendiente promedio del cauce de 2.5%. El drenaje de esta subcuenca es dendrítico con afluentes que discurren en el eje norte-sur, principalmente.



## Mapintec

Geotechnologies, Inc.

Coordinate System: NAD 1927 UTM Zone 17N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: North American 1927  
 False Easting: 500,000.000  
 False Northing: 0.0000  
 Central Meridian: -81.0000  
 Scale Factor: 0.9996  
 Latitude Of Origin: 0.0000  
 Units: Meter

### Leyenda

- Vías Principales
- Área del proyecto
- ~~~~ Ríos Principales
- Estaciones meteorológicas
- Subcuencia Río Cabobré - Utivé
- Cuenca 146: Río Pacora

Figura 19. Subcuencia de los ríos Cabobré – Utivé y estaciones meteorológicas

## 5.2. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es un término que se aplica a un área de terreno cubierto de vegetación. En (Custodio & Llamas, 1983) se define este término como el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor y se expresa en milímetros (García Rodríguez & Fernández Escalante, 2009, Vol. 3º).

La proporción de evapotranspiración se reduce a medida que disminuye la humedad del suelo durante la estación seca. Cuanto menor es la humedad que queda en el suelo, más lenta es la pérdida por evapotranspiración.

Según el mapa de evapotranspiración potencial (ETP) publicado por (ETESA, 2007c) que se muestra en la Figura 20, el área de estudio presenta valores de evapotranspiración de aproximadamente 1310 mm/año, mientras que (CATIE, 2008) determinó para la misma, valores de evapotranspiración real (ETR) que oscilan entre 963 mm/año y 1261 mm/año, siendo el valor promedio de 1163 mm/año.

Dado que en la zona de estudio solo se encuentra una estación de medida para la evapotranspiración y de la cual no se presenta temporalidad en los datos, los medios para su cálculo en el presente estudio han sido indirectos, utilizando para ello la metodología de Thornthwaite (1948) que está basada en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número del día del mes. Los datos de temperatura fueron tomados de la estación Utivé (146–001), con una temporalidad de 6 años (1982–1987).

El Gráfico 2 muestra los valores de evapotranspiración real obtenidos por mes para la zona de estudio, en donde se puede apreciar que, entre los meses de enero y abril la ETR alcanza un valor máximo de 100.9 mm, mientras que en el resto del año tiene valores entre 124.7 y 151.7 mm. La ETR total anual promedio se estima en 1268.5 mm, lo que representa más del 42% de lo que llueve en el año. Se deduce entonces que gran parte de la lluvia regresa a la atmósfera por evapotranspiración.

A continuación, se describen los principales parámetros hidrológicos de la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé, en donde se ubica el área de estudio.

### **5.1. Precipitación.**

Precipitación es el término general con el que se define el agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie del globo terrestre, en forma de lluvia, nieve o granizo. En Panamá y en la mayoría de los países tropicales, la precipitación atmosférica consiste casi en su totalidad de lluvia, que es el resultado final del movimiento ascendente del aire, enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua (ANAM autoridad Nacional del Ambiente, 2010)

De acuerdo con información disponible de (CATIE, 2008), la precipitación promedio anual en la cuenca del río Pacora varía con su topografía y altitud, alcanzando un máximo de 4027 mm y un mínimo de 1500 mm anuales. En promedio en la parte media de la cuenca llueven 2527 mm/anuales, de los cuales el 94,3% lo hace en los meses lluviosos (mayo a diciembre) y el restante en la temporada seca (enero a abril), siendo muy marcado el período de estiaje. Estimaciones realizadas por la UNESCO (2007) sobre el mapa de isoyetas medias anuales para Panamá (en milímetros), corresponden a valores de 2500 mm/anuales para esta misma zona

Con la finalidad de obtener datos más precisos sobre las condiciones de precipitación en la zona, se realizó la revisión de los datos de estaciones meteorológicas de la red de ETESA, ubicadas sobre la cuenca del río Pacora y que tienen influencia directa sobre el área de estudio (subcuenca Cabobré – Utivé). En la Tabla 7 se detallan las coordenadas y características de estas estaciones, siendo la de Altos de Pacora (146-003) y Loma Bonita (146-002) las únicas que cuentan con registros de precipitación máxima en 24 horas, durante más de 30 años, condición necesaria para realizar el análisis del patrón de lluvias y la construcción de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

La ubicación relativa de las estaciones meteorológicas, con respecto a la zona de estudio, fue presentada en la Figura 18 y Tabla 8.

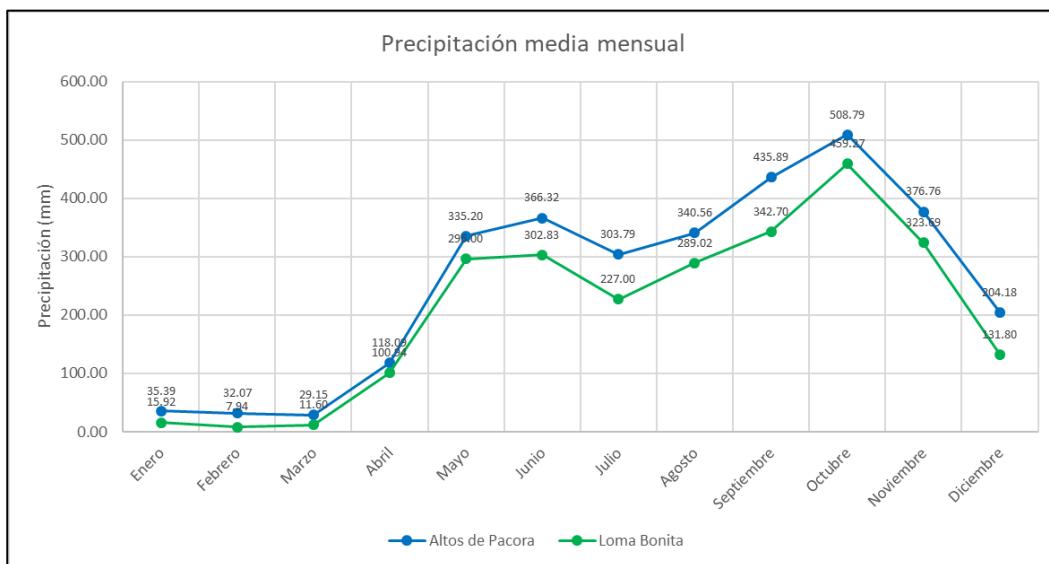
**Tabla 8.** Listado de estaciones meteorológicas cercanas al área.

Número	Nombre	Provincia	Tipo de Estación	Elevación (m)	Latitud	Longitud	Fecha Inicio	Fecha Final
146-002	LOMA BONITA	PANAMA	CC	100	1014399.4	691088.1	12/01/1974	
146-001	UTIVE	PANAMA	CC	80	1011996.2	683161.1	12/01/1970	03/01/2000
146-004	INGENIO FELIPILLO	PANAMA	BC	12	1002796.8	686868.2	05/01/1975	08/01/1991
146-007	LA CHAPA	PANAMA	CA	254	1023109.0	694128.8	09/01/2009	
146-003	ALTOS DE PACORA	PANAMA	CC	850	1022556.0	681311.0	12/01/1974	

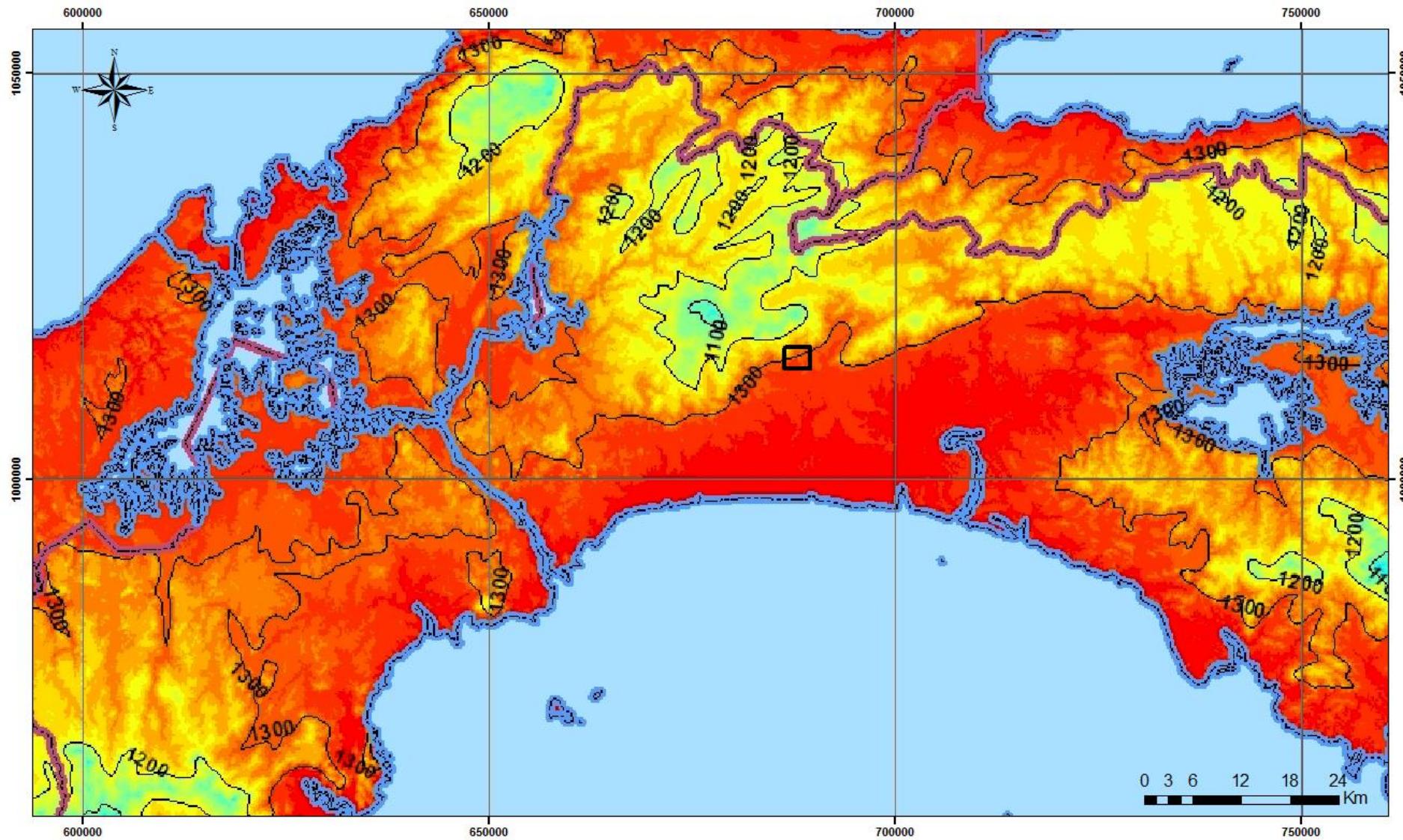
CC: Estación tipo C convencional; BC: Estación tipo B convencional;

CA: Estación tipo C automática. \*Coordenadas en datum WGS 84.

En el Gráfico 1 se presenta la variación de la precipitación mensual promedio (1975 – 2017) de las estaciones Loma Bonita (146–002) y Altos de Pacora (146–003). Como puede observarse, el patrón de precipitación para la zona de estudio es bimodal (tiene dos picos); presenta un pico entre los meses de mayo y junio con valores máximos promedio entre 296.00 y 366.32 mm/mes, y otro bien definido en el mes de octubre, con valores entre 459.27 y 508.79 mm/mes. Los meses que registran menor precipitación van de enero a marzo, con valores mínimos promedio entre 7.94 y 35.39 mm/mes. En general, se puede decir que sobre la subcuenca de los ríos Cabobré y Utivé llueve en promedio, un total de 2991 mm/año.



**Gráfico 1.** Precipitación media mensual (1975 – 2017), registrada en las estaciones Altos de Pacora (146 – 003) y Loma Bonita (146 -002).



#### Leyenda

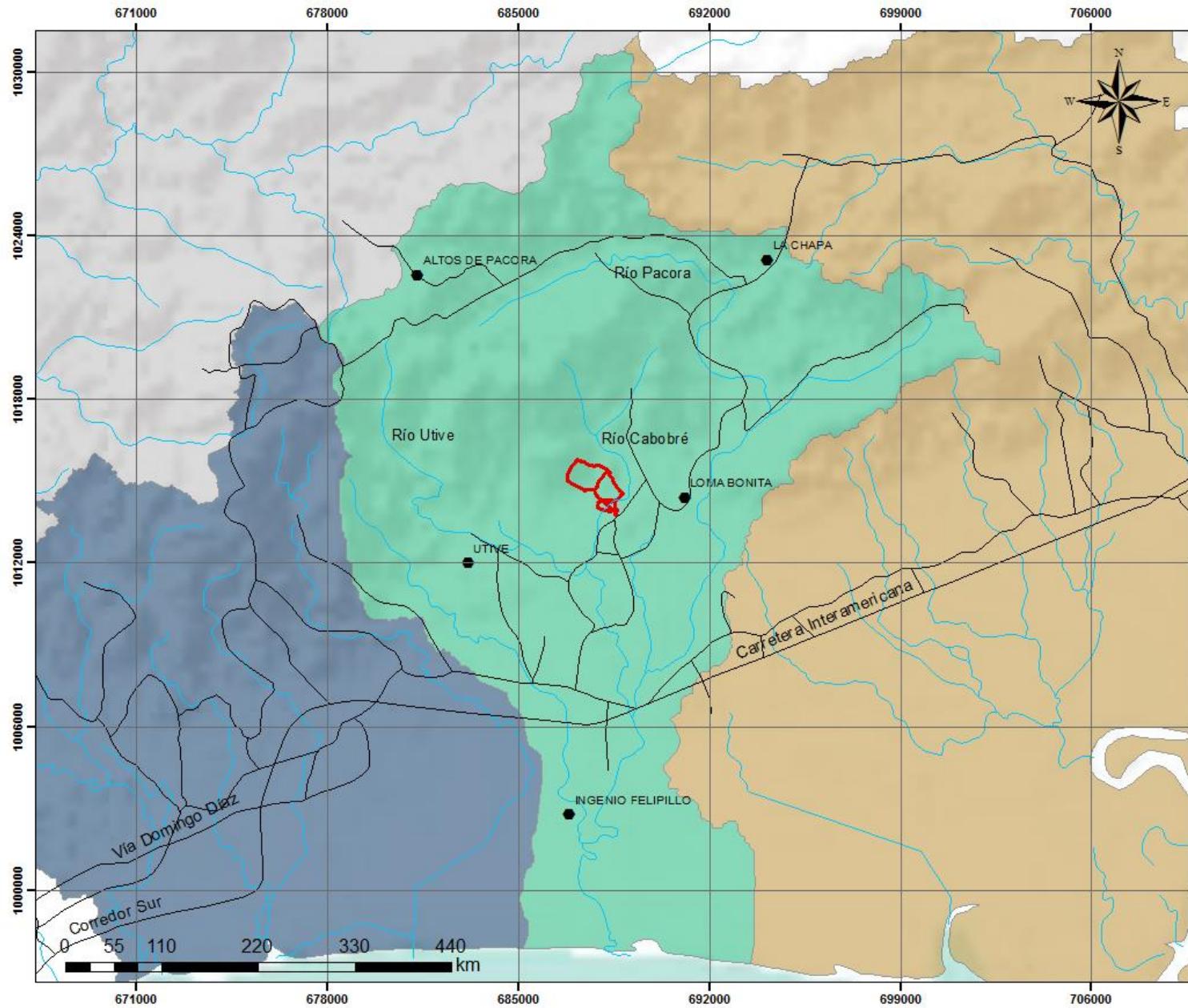
■ Ubicación del área de trabajo

#### Evapotranspiración en milímetros

386 - 600
601 - 715
716 - 890
891 - 965
966 - 1,025
1,026 - 1,045
1,046 - 1,070
1,071 - 1,100
1,101 - 1,135
1,136 - 1,165
1,166 - 1,195
1,196 - 1,230
1,231 - 1,260
1,261 - 1,280
1,281 - 1,295
1,296 - 1,310
1,311 - 1,325
1,326 - 1,343



Figura 20. Mapa de distribución de evapotranspiración (ETESA 2007c)



**Mapintec**  
Geotechnologies, Inc.

Coordinate System: NAD 1927 UTM Zone 17N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: North American 1927  
 False Easting: 500,000.0000  
 False Northing: 0.0000  
 Central Meridian: -81.0000  
 Scale Factor: 0.9996  
 Latitude Of Origin: 0.0000  
 Units: Meter

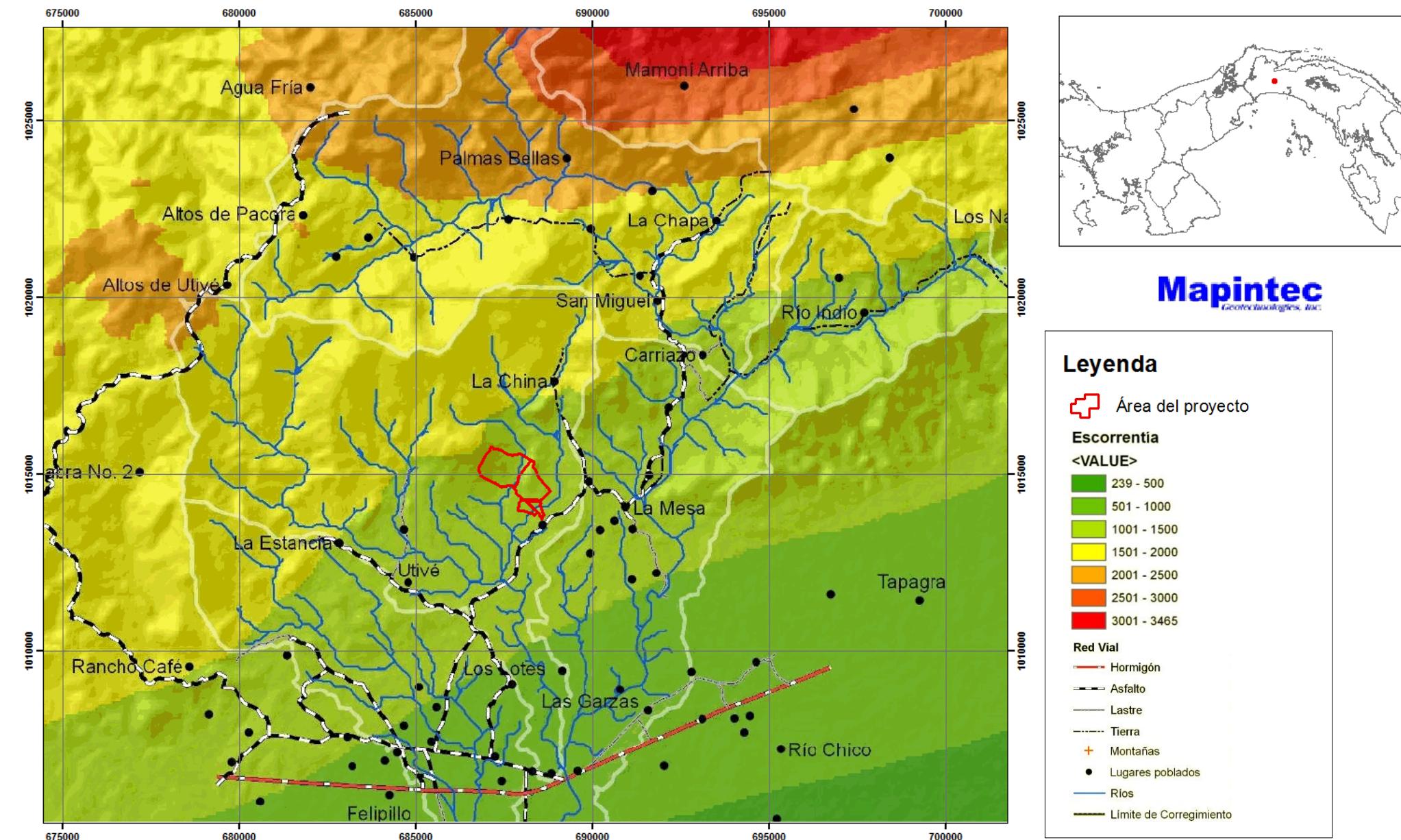
## Leyenda

- Vías Principales
- Área del proyecto (represented by a red cross)
- Ríos Principales
- Estaciones meteorológicas

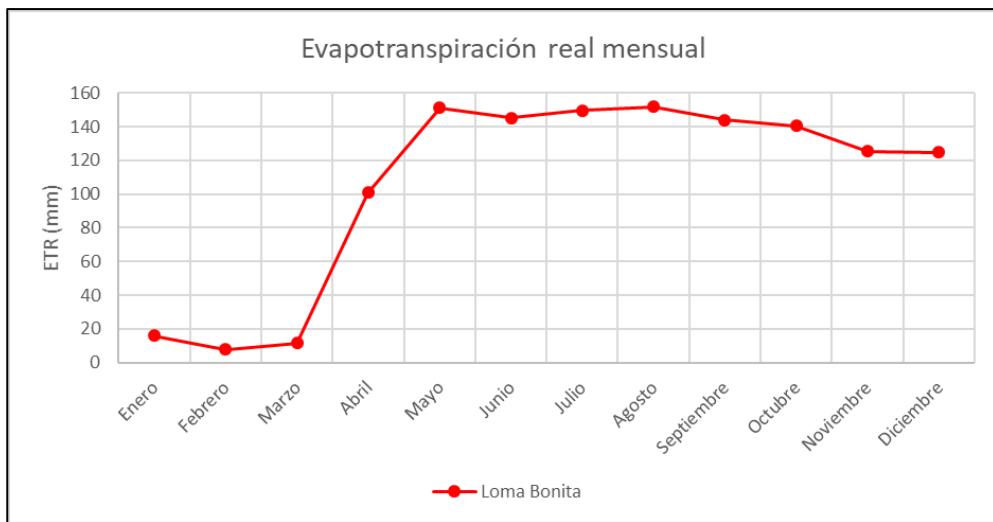
## Cuenca Hidrográfica

- |                             |
|-----------------------------|
| Cuenca 115: Canal de Panamá |
| Cuenca 146: Río Pacora      |
| Cuenca 144: Río Juan Díaz   |
| Cuenca 148: Río Bayano      |

Figura 18. Cuenca del Río Pacora (Nº 146) y estaciones meteorológicas



**Figura 21.** Mapa de escorrentía anual sobre la cuenca Pacora (CATIE, 2008)

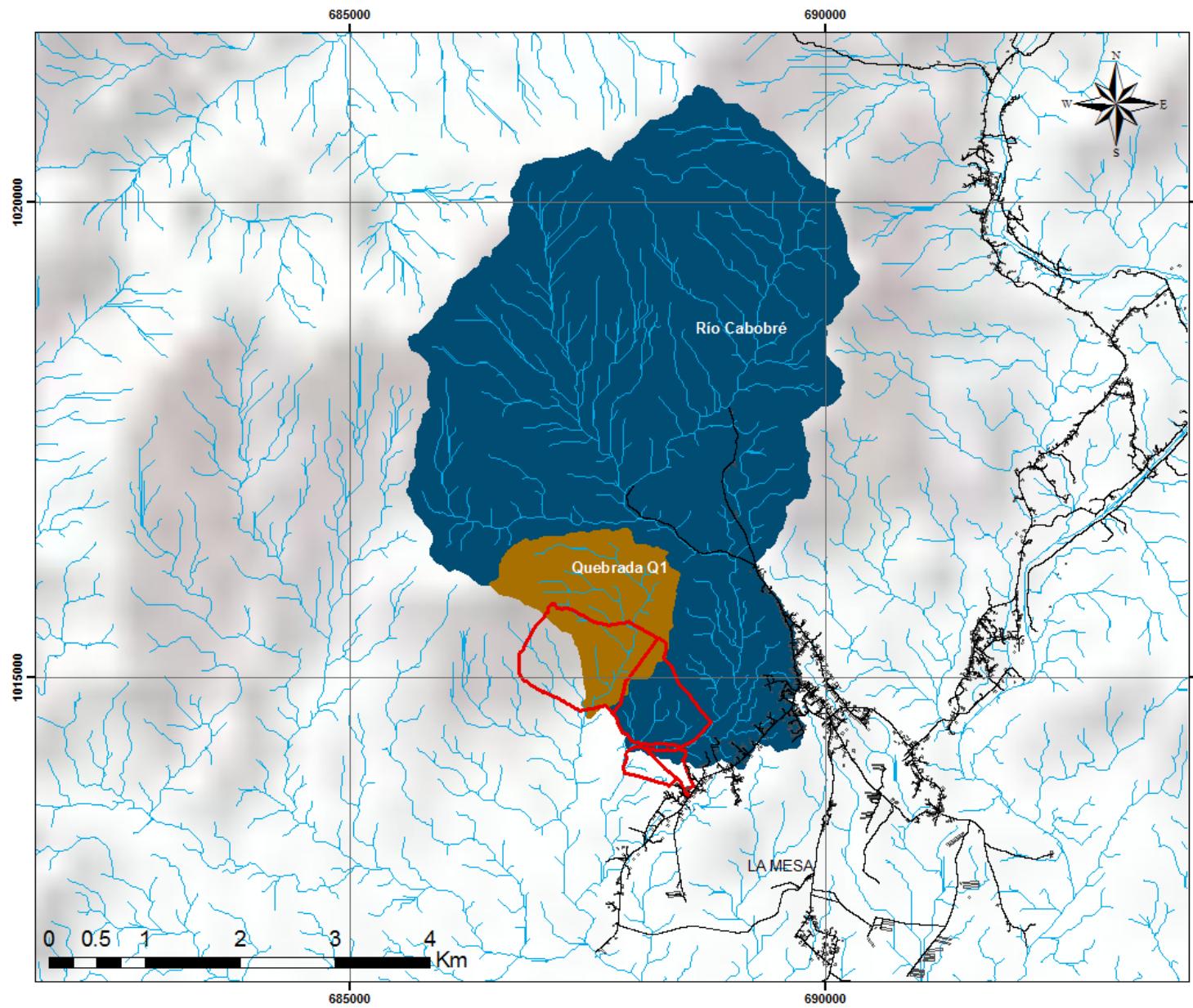


**Gráfico 2.** Evapotranspiración real media mensual estimada para la estación meteorológica Loma Bonita (146 -002).

### 5.3. Escorrentía.

La escorrentía en general está definida como la circulación de agua producida en un cauce superficial, bien sea de forma difusa o canalizada por ríos y arroyos. Se define, además, como la cantidad de agua que se escapa de la infiltración y de la evapotranspiración y que circula por la superficie (Universidad Jaume I de Castellón, 2007).

Conforme al mapa de escorrentía promedio anual desarrollado por (CATIE, 2008) Figura 21, el área de la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé tiene un rango de escorrentía que va de 501 a 2000 mm/año. En el mismo estudio, se determinó un volumen de escorrentía anual de 133.8 hm<sup>3</sup>, lo que dividido entre la cantidad de segundos que tiene un año, se traduce en un caudal de escurrimiento de 4.24 m<sup>3</sup>/s.



**Mapintec**  
Geotechnologies, Inc.

Coordinate System: NAD 1927 UTM Zone 17N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: North American 1927  
 False Easting: 500,000,000  
 False Northing: 0.0000  
 Central Meridian: -81.0000  
 Scale Factor: 0.9996  
 Latitude Of Origin: 0.0000  
 Units: Meter

### Leyenda

- + Área del proyecto
- Vías
- Poblaciones
- ~~~~~ Ríos Principales
- Microcuenca Q1
- Microcuenca Rio cabobré

Figura 22. Drenajes principales de la zona de estudio

#### **5.4. Modelación Hidrológica.**

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Dueñas 1997).

En vista de que dentro del área de construcción del Proyecto Inmobiliario Panamá Este, S.A., se encuentran una serie de drenajes superficiales de dimensiones considerables, se hace necesaria la realización de una modelación hidrológica que permita determinar entre otras cosas, los criterios de diseño de las obras necesarias para el manejo de estas corrientes, minimizando el riesgo de inundaciones ante eventos de precipitación excepcionales en el futuro. Para generar este modelado se requiere conocer los caudales producidos por precipitaciones máximas, asociadas a períodos de recurrencia de 1 en 50 años, como mínimo.

Para el caso puntual del presente estudio, se realizó el cálculo de los caudales máximos de avenida y modelación hidrológica de los dos drenajes de mayor importancia en el área (Figura 22), siendo éstos:

- 1) El río Cabobré que constituye el cuerpo de agua de mayor jerarquía de la subcuenca Cabobré - Utivé, tiene su nacimiento a 6.5 km al norte de la zona de estudio y que atraviesa la misma en sentido este-oeste, dividiendo los polígonos de la Fase I y II del proyecto y;
- 2) Una quebrada que nace a 700 m al norte del área, que atraviesa el polígono de la Fase III en sentido noreste-suroeste, y que para efectos del presente estudio se le denominará Q1 (Quebrada 1).

#### **5.4.1. Generación de caudales máximos.**

Para el cálculo de los caudales máximos de avenida del río Cabobré y la quebrada Q1 se utilizó el método empírico de Mac Math, el cual permite realizar la estimación a partir del área y coeficiente de escurrimiento de la cuenca, la pendiente media del cauce y la intensidad de precipitación asociada a un período de recurrencia dado.

La fórmula de Mac Math para el sistema métrico, es la siguiente (Muriales & Uriarte, 2014):

$$Q = 0.0091 * C * I * A^{\frac{4}{5}} * S^{\frac{1}{5}}$$

Donde:

$Q$  = Caudal máximo para un periodo de retorno de  $T$  años, en  $m^3/s$ .

$C$ = Factor de escorrentía de Mac Math, el cual representa las características de la cuenca.

$I$  = Intensidad máxima de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración  $T_c$ , y un periodo de retorno de  $T$  años, en  $mm/h$ .

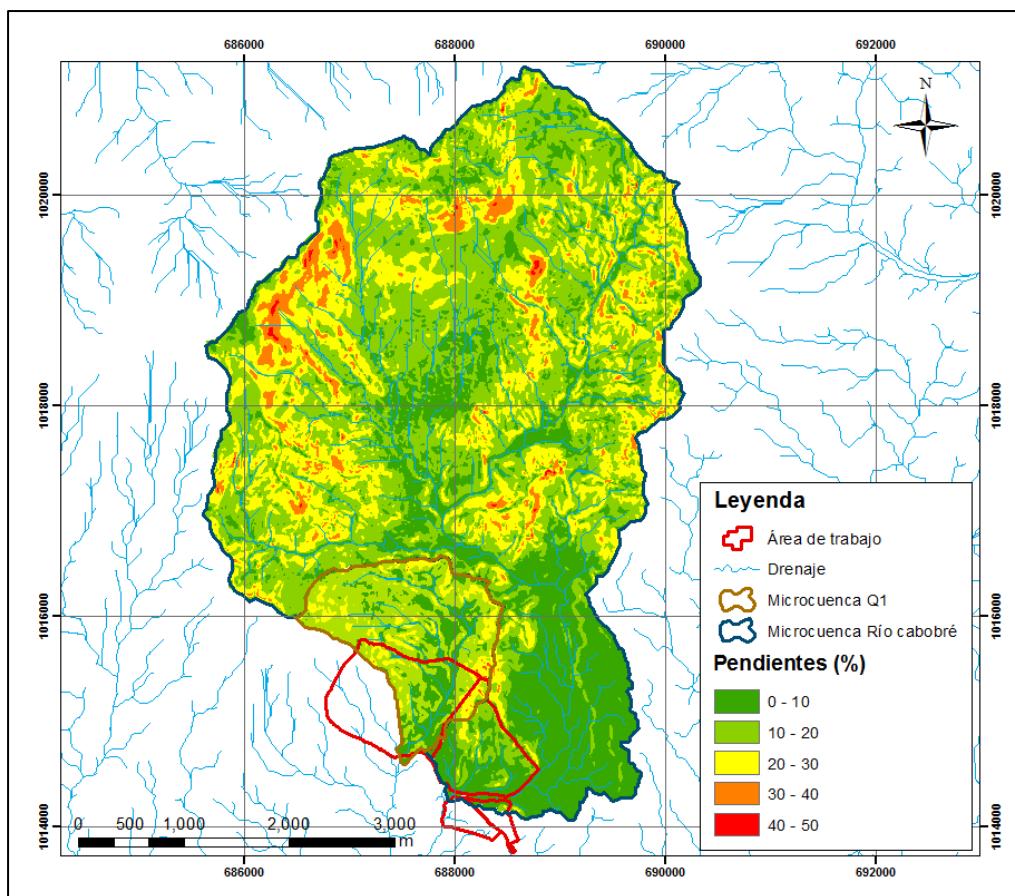
$A$  = Área de la cuenca, en has.

$S$  = Pendiente promedio del cauce principal, en %.

A continuación, se describen los criterios utilizados para determinar los parámetros necesarios para la estimación de los caudales máximos:

#### **Área de la cuenca, longitud y pendiente del cauce**

El área de la cuenca considerada para realizar los cálculos corresponde a la superficie de escurrimiento generada desde el nacimiento del cauce principal, hasta el punto de salida del proyecto. La longitud empleada corresponde del mismo modo, al trayecto recorrido desde el origen del cauce hasta el punto de descarga (salida del proyecto), y la pendiente media fue determinada a partir del mapa de pendientes de la Figura 23. En la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos para cada parámetro.



**Figura 23.** Mapa de pendientes de las microcuenca analizadas

**Tabla 9.** Área de la cuenca, longitud y pendiente del cauce.

Drenaje	Área de drenaje (has)	Longitud (km)	Pendiente media (%)
Río Cabobré	1993	10.87	4.24
Quebrada Q1	210	3.11	4.60

### Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro adimensional que resulta de la suma de tres valores asociados directamente a las características de la cuenca: 1) la cobertura vegetal (C1), 2) la textura del suelo (C2) y 3) la pendiente topográfica media (C3). Tomando como referencia los valores de la Tabla 10, y considerando una cobertura vegetal para el área entre 40 y 80%, una textura

arenosa para los suelos y una pendiente media cercana al 10%, se obtuvo un coeficiente de escorrentía de 0.39 para la cuenca de la quebrada Q1 y de 0.45 para la del río Cabobré.

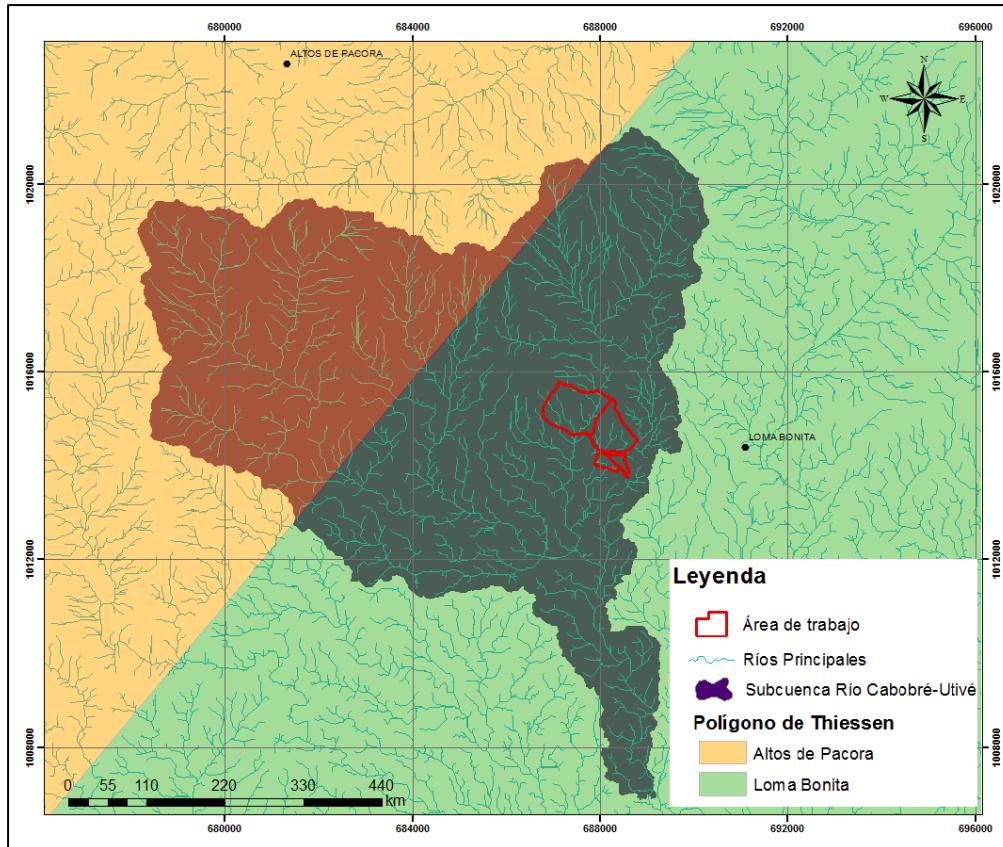
**Tabla 10.** Factor de escorrentía de Mac Math (*Muriales & Uriarte, 2014*)

Vegetación		Suelo		Topografía	
Cobertura (%)	C1	Textura	C2	Pendiente (%)	C3
100	0.08	Arenoso	0.08	0.0 - 0.2	0.04
80 - 100	0.12	Ligera	0.12	0.2 - 0.5	0.06
50 - 80	0.16	Media	0.16	0.5 - 2.0	0.06
20 - 50	0.22	Fina	0.22	2.0 - 5.0	0.10
0 - 20	0.30	Rocosa	0.30	5.0 - 10.0	0.15

### Intensidad de la lluvia

Para construir las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), se emplearon los datos de las estaciones pluviométricas Altos de Pacora (146-003) y Loma Bonita (146-002), las cuales cuentan con datos de precipitación máxima diaria, entre 1975 y 2018. En primer lugar, los registros fueron sometidos a un análisis estadístico mediante la prueba de Grubb's, la cual permite una limpieza de los datos, al establecer la presencia de valores anómalos dentro de una serie temporal. Posteriormente se construyeron las curvas IDF asociadas a cada una de las estaciones, implementando el método de distribución General de Valores Extremos (GEV), suponiendo una distribución de Gumbel, mediante la utilización de la aplicación Hidrojing.

Con ayuda de los polígonos de Thiessen generados (Figura 24), se determinó el área de influencia de la precipitación registrada en cada una de las estaciones, y se construyeron las curvas IDF representativas de toda la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé (Tabla 11 y Figura 25).

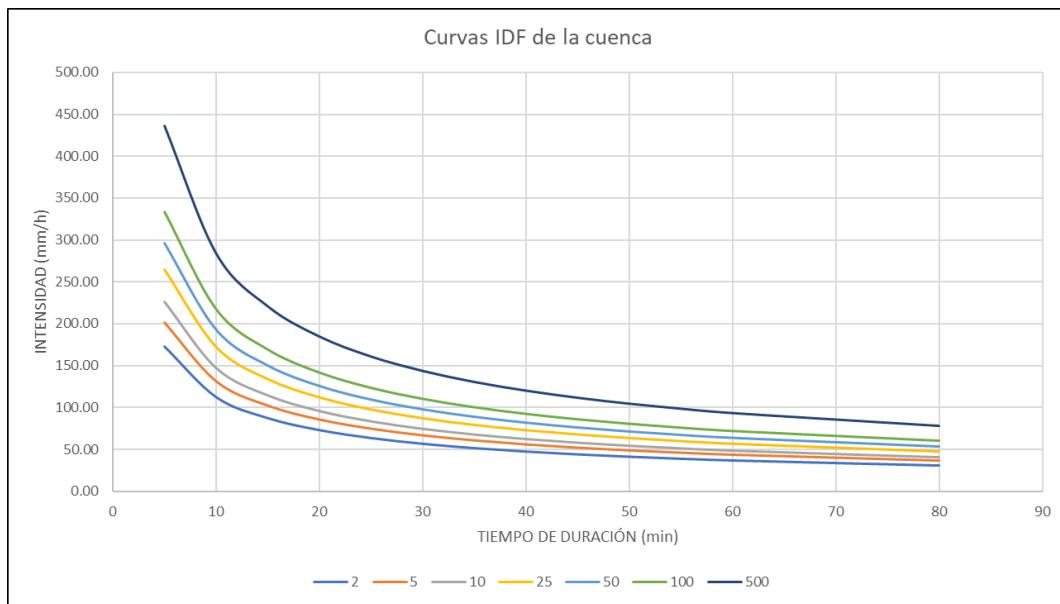


**Figura 24.** Polígonos de Thiessen para subcuenca de los ríos Cabobré-Utivé.

**Tabla 11.** Datos de curvas IDF de la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé.

Duración (min)	Frecuencia (en años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	172.98	201.68	226.51	264.09	296.61	333.13	436.22
10	112.64	131.33	147.50	171.97	193.15	216.93	284.06
15	87.65	102.19	114.77	133.81	150.29	168.79	221.02
20	73.35	85.52	96.05	111.99	125.78	141.26	184.98
25	63.89	74.49	83.66	97.54	109.55	123.04	161.12
30	57.07	66.54	74.74	87.14	97.86	109.91	143.93
35	51.88	60.49	67.94	79.21	88.96	99.91	130.83
40	47.77	55.69	62.55	72.93	81.90	91.99	120.46
45	44.41	51.78	58.15	67.80	76.15	85.52	111.99
50	41.61	48.51	54.48	63.52	71.34	80.12	104.92
55	39.22	45.73	51.36	59.88	67.25	75.53	98.91
60	37.17	43.33	48.67	56.74	63.73	71.58	93.73
80	31.10	36.27	40.73	47.49	53.34	59.90	78.44

\*Valores de Intensidad en mm/h



**Figura 25.** Curvas IDF para la subcuenca de los ríos Cabobré-Utivé

Una vez determinados los diferentes parámetros considerados en la fórmula de Mac Math, se procedió a determinar los caudales máximos asociados a diferentes tiempos de duración de precipitación y períodos de recurrencia. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12 y Tabla 13.

**Tabla 12.** Caudales máximos ( $m^3/s$ ) para el río Cabobré.

Duración (min)	Frecuencia (en años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	394.08	459.46	516.03	601.65	675.73	758.93	993.79
10	256.62	299.20	336.04	391.79	440.03	494.21	647.15
15	199.67	232.80	261.46	304.84	342.38	384.53	503.53
20	167.11	194.83	218.82	255.13	286.54	321.82	421.42
25	145.56	169.70	190.60	222.22	249.58	280.31	367.06
30	130.02	151.60	170.26	198.51	222.95	250.41	327.90
35	118.19	137.80	154.77	180.45	202.67	227.62	298.06
40	108.82	126.87	142.50	166.14	186.59	209.57	274.42
45	101.17	117.96	132.48	154.46	173.48	194.84	255.13
50	94.78	110.51	124.12	144.71	162.53	182.54	239.03
55	89.36	104.18	117.01	136.42	153.22	172.08	225.34
60	84.67	98.72	110.87	129.27	145.19	163.06	213.52
80	70.86	82.62	92.79	108.19	121.51	136.47	178.70

**Tabla 13.** Caudales máximos ( $m^3/s$ ) para la quebrada Q1.

Duración (min)	Frecuencia (en años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	56.96	66.41	74.59	86.96	97.67	109.69	143.64
10	37.09	43.25	48.57	56.63	63.60	71.43	93.54
15	28.86	33.65	37.79	44.06	49.49	55.58	72.78
20	24.15	28.16	31.63	36.88	41.42	46.52	60.91
25	21.04	24.53	27.55	32.12	36.07	40.52	53.05
30	18.79	21.91	24.61	28.69	32.23	36.19	47.39
35	17.08	19.92	22.37	26.08	29.29	32.90	43.08
40	15.73	18.34	20.60	24.01	26.97	30.29	39.66
45	14.62	17.05	19.15	22.33	25.07	28.16	36.88
50	13.70	15.97	17.94	20.92	23.49	26.38	34.55
55	12.92	15.06	16.91	19.72	22.15	24.87	32.57
60	12.24	14.27	16.03	18.68	20.98	23.57	30.86
80	10.24	11.94	13.41	15.64	17.56	19.72	25.83

### Tiempo de concentración

Se denomina tiempo de concentración, al tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de ésta (Muriales & Uriarte, 2014). Existen diferentes métodos para determinar este parámetro, dentro de los que destacan el uso de fórmulas empíricas.

En el caso particular del presente estudio, se utilizó la fórmula de (Kirpich, 1940) la cual fue desarrollada para cuencas rurales con canales bien definidos y pendientes empinadas. Esta fórmula es la siguiente:

$$Tc = 0.0078 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

$Tc$  = Tiempo de concentración, en minutos.

$L$  = Longitud del canal desde aguas arriba, hasta la salida, en pies.

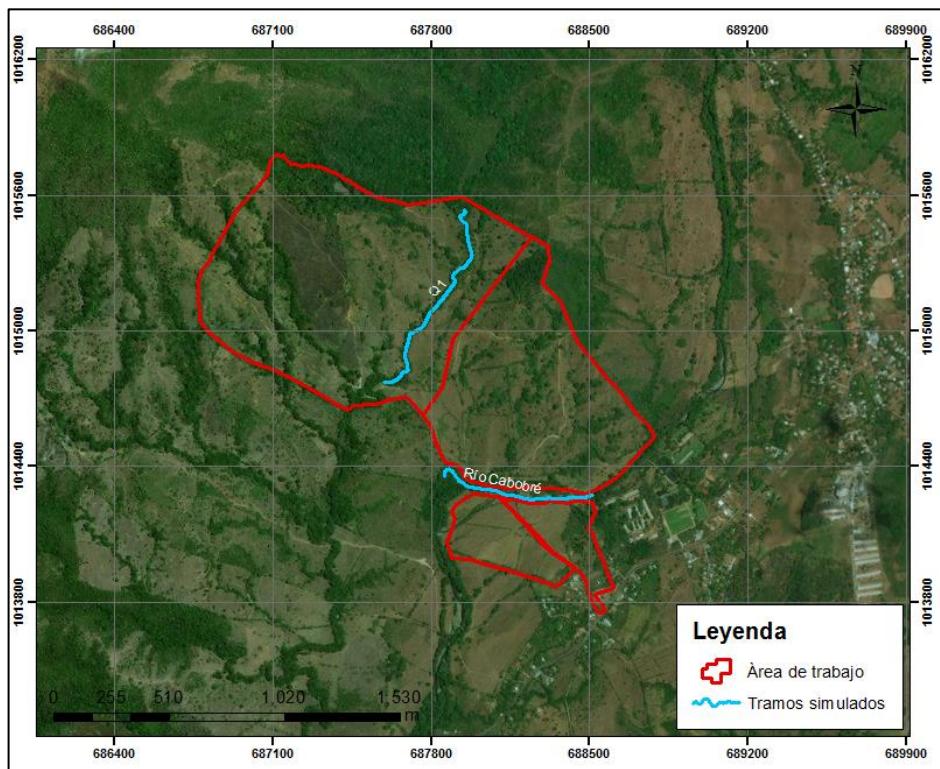
$S$  = Pendiente promedio del cauce, en pies/pies.

Al sustituir los valores de la Tabla 13 para cada uno de los parámetros considerados en la fórmula anterior, se obtuvo un tiempo de concentración de 31.16 min para la quebrada Q1 y de 84.29 min para el río Cabobré, por lo que los valores de caudal máximo que pudieran producirse en cada uno de estos drenajes, a la salida del área del proyecto son los siguientes (Tabla 14):

**Tabla 14.** Caudales máximos ( $m^3/s$ ) de Q1 y río Cabobré, obtenidos a la salida del área del proyecto.

Drenaje	Frecuencia (en años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Q1	18.79	21.91	24.61	28.69	32.23	36.19	47.39
Río Cabobré	70.86	82.62	92.79	108.19	121.51	136.47	178.70

De la tabla anterior se obtienen los caudales de diseño que sirven de insumo para el análisis de inundabilidad y de la hidráulica de flujo en los tramos de los cauces seleccionados (Figura 26), a través de la herramienta HEC-RAS.



**Figura 26.** Tramos seleccionados para la simulación en HEC- RAS.

#### **5.4.2. Modelación HEC-RAS del Río Cabobré.**

A partir de HEC-RAS 5.0.5 se realiza la modelación hidráulica del flujo de un régimen permanente del río Cabobré, para establecer las características de diseño para los caudales asociados a los períodos de retorno de 50 y 100 años (Tabla 15).

**Tabla 15.** Caudales de diseño para el Río Cabobré

Período de retorno T (años)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
50	121.51
100	136.47

#### **Metodología empleada.**

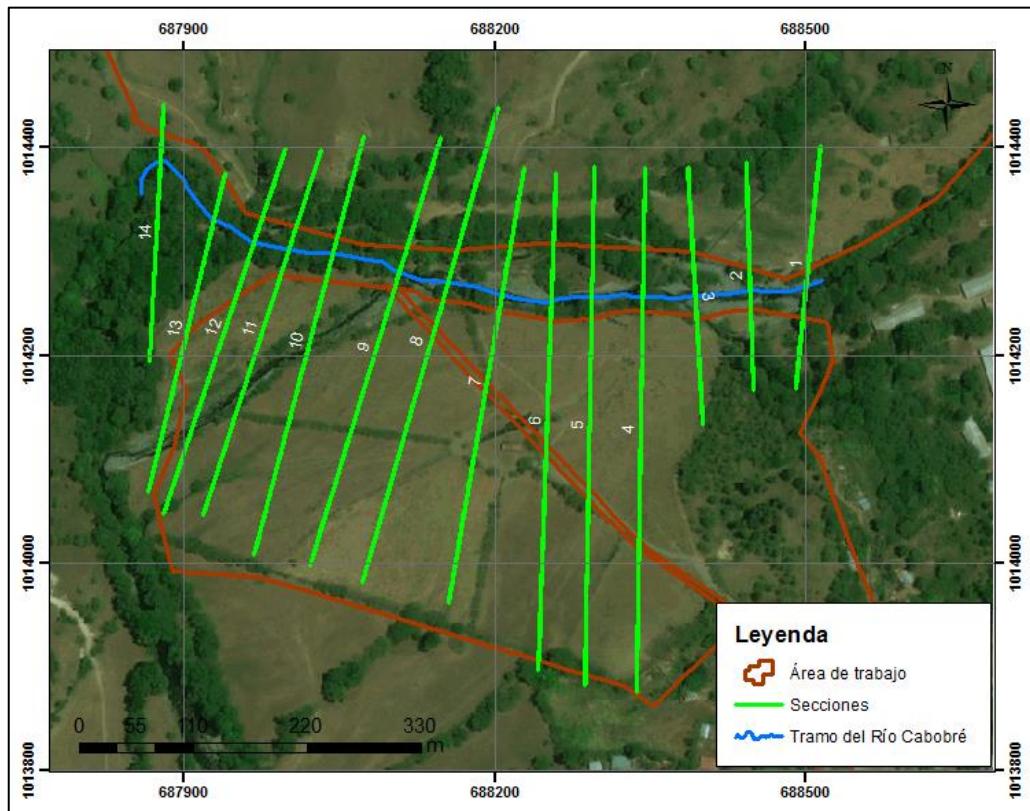
#### **Creación de la geometría en HEC-geoRAS.**

La red de drenaje fue creada en HEC-geoRAS a partir de modelo de la elevación del terreno natural suministrada por el cliente, que comprende 723.38 m del río Cabobré (Figura 27). También se crearon las secciones de análisis sobre el cauce, con una separación que varía alrededor de 50 m y las longitudes de éstas se realizaron considerando las posibles áreas afectadas, oscilando entre 215 y 504 m. Las coordenadas de ubicación de estas secciones se encuentran en el Anexo 6 del presente informe.

El valor del número de Manning es representativo de la resistencia que ofrece una superficie al fluido, es decir, la rugosidad de esa superficie. Por lo tanto, el valor de Manning que se asigna es tomado del Hydraulic Reference Manual HEC-RAS 2010, donde se recogen valores de n Manning verificados y comprobados para diferentes características de cauces. Para las llanuras de inundación se tomó el valor de 0.05 correspondiente a un área de maleza ligera y árboles; para el canal se asignó un valor de 0.035 que hace referencia a un cauce limpio, sin grietas o piscinas y con mayor cantidad de piedras y malezas.

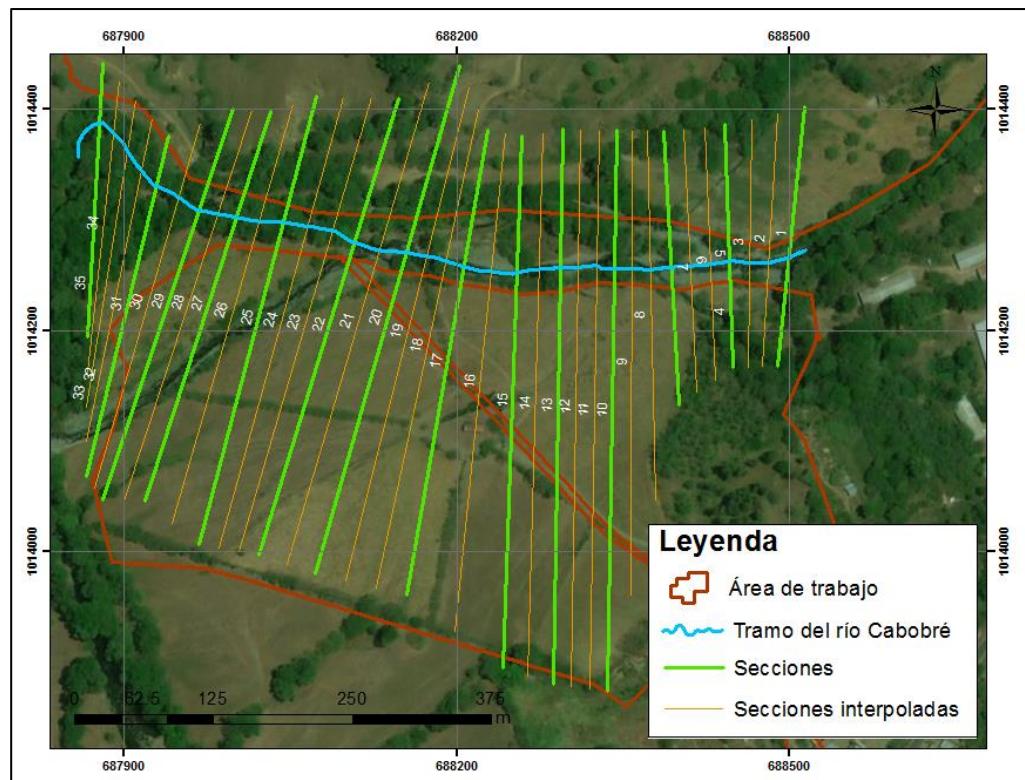
## Parámetros hidráulicos

Se considera un régimen permanente y los valores de caudales asociados a 50 y 100 años que se mostraron anteriormente en la Tabla 15. Como condición de contorno se establece el calado normal, por lo que se determina la pendiente entre dos secciones consecutivas cercanas aguas arriba y aguas abajo; obteniendo un valor de 0.02 de pendiente para aguas arriba y 0.01 aguas abajo. Debido a que se observan variaciones en la pendiente a lo largo del tramo del cauce estudiado, se realizó el modelado considerando un régimen de flujo mixto, el cual, además, es el tipo de flujo más habitual en la naturaleza.



**Figura 27.** Tramo del río Cabobré y secciones transversales.

De manera de ampliar la información geométrica disponible y afinar esta, con el objeto de tener resultados más precisos, se realiza una interpolación de secciones, generando un total de 35 secciones transversales (Figura 28).

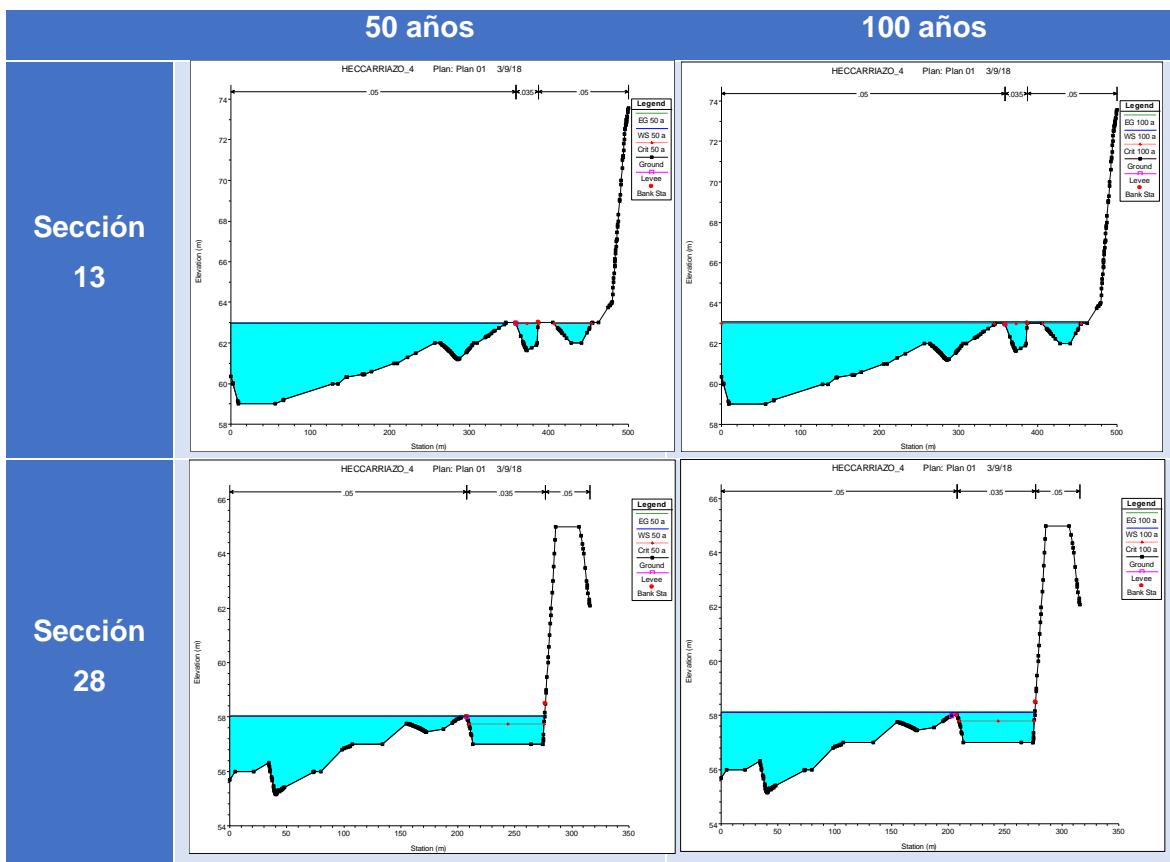


**Figura 28.** Tramo del río Cabobré y secciones transversales interpoladas.

## Resultados

En el Anexo 6 se presentan los resultados obtenidos para las 35 secciones, donde se confirma el régimen mixto ya que los valores de Froude obtenidos son variables, en algunas secciones son mayores y en otras menores a 1.

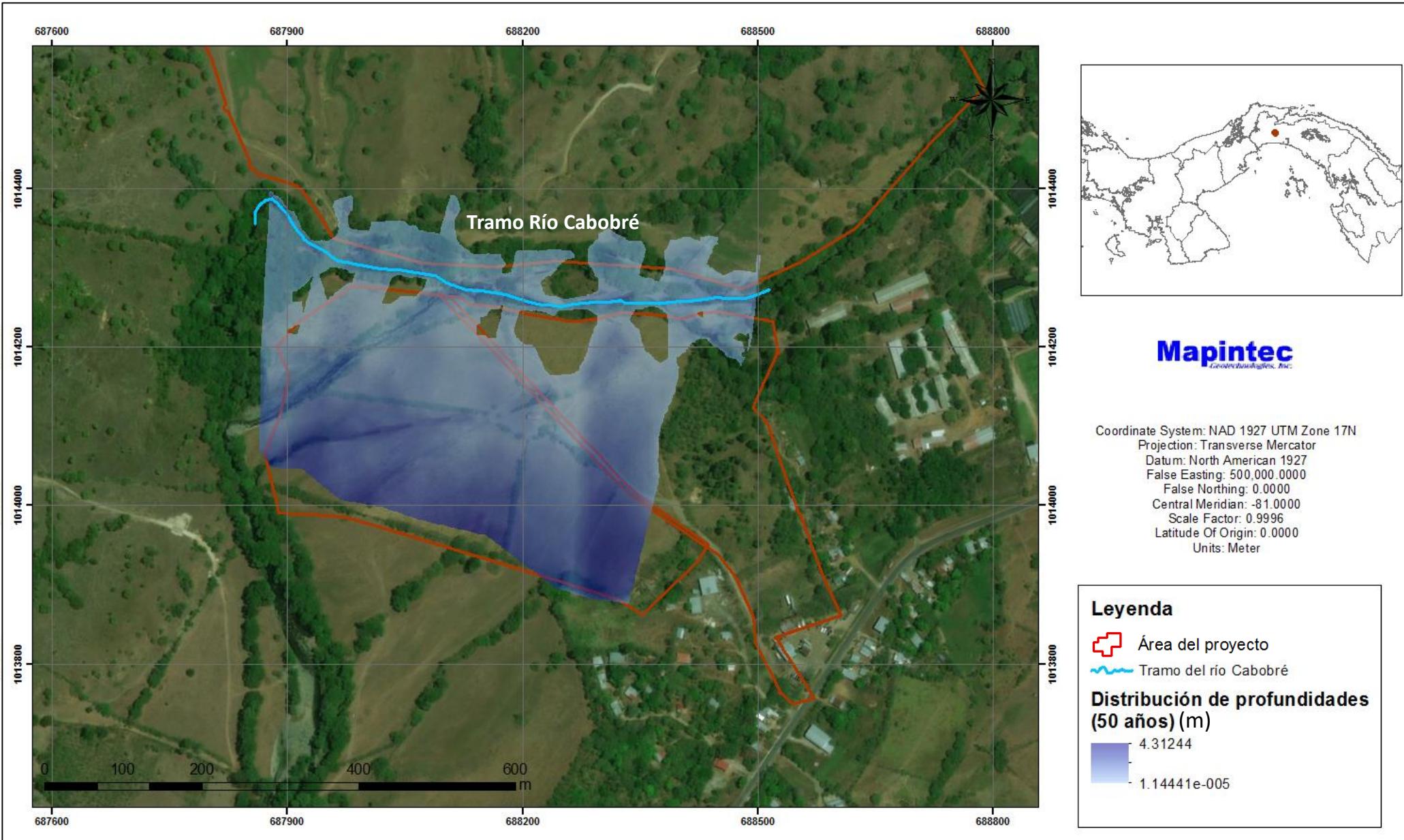
A continuación, se presentan dos secciones obtenidas en salida gráfica para los caudales de diseño de 50 y 100 años (Figura 29). Ambas presentan desbordamientos que pueden cubrir un área de más de 100 m de ancho de cauce, lo que puede atribuirse a las características del terreno, ya que las llanuras de inundación del río Cabobré tienen una ligera inclinación o pendiente hacia el flanco sur del mismo. Además, siendo esta una zona aluvial, presenta antiguos cauces o paleocauces que son propensas a inundación.



**Figura 29.** Salidas graficas de las secciones 13 y 28 (50-100 años).

En la Figura 30 se observa el mapa de inundación generado para un caudal de 50 años de retorno, donde se aprecia el desbordamiento total del río. Todas estas áreas afectadas son consideradas como zonas alto riesgo, puesto que se ubican dentro de la llanura de inundación del río. El polígono de inundación obtenido se encuentra como archivo digital, en el Anexo 6. Es necesario recalcar que las zonas afectadas que se presentan fueron calculadas con el modelo digital del terreno suministrado por el cliente, el cual presenta algunos problemas de inconsistencia de datos, valores anómalos en diversas zonas y que está restringido a los límites del proyecto.

Las áreas de inundación resultante para el caudal de 50 y 100 años de retorno son similares (Figura 30), con leves variaciones en cuanto a las profundidades del agua en las zonas afectadas como se observa en la Tabla 16:



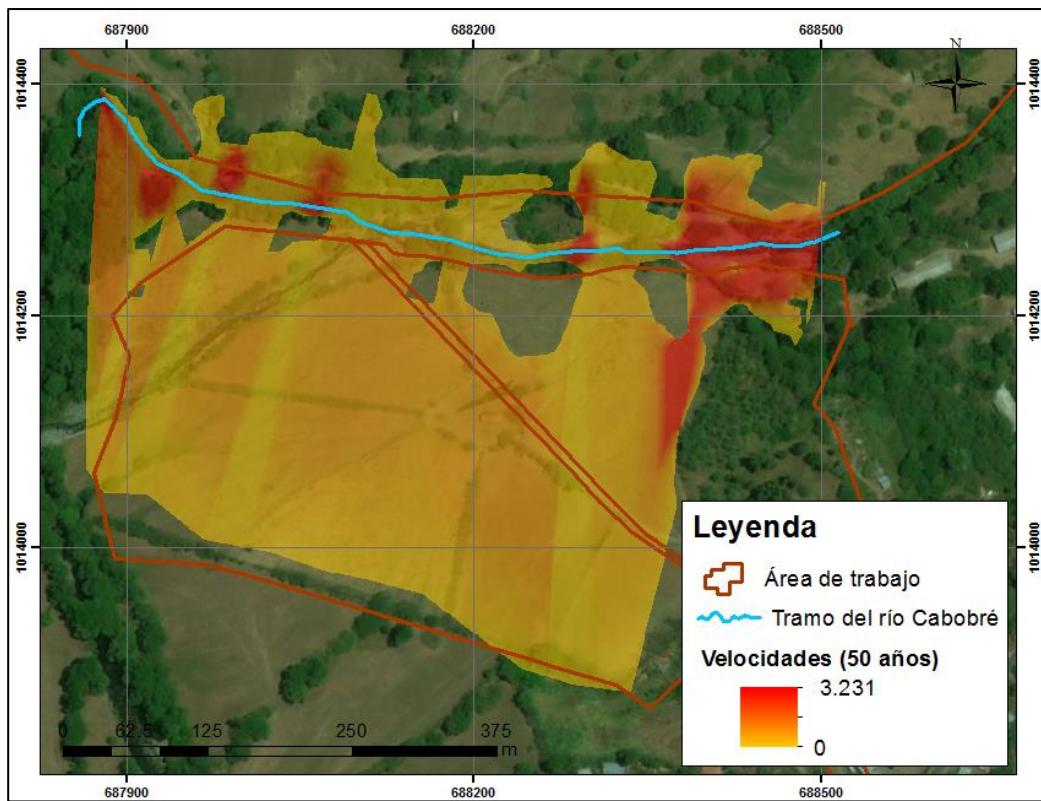
**Figura 30.** Área de inundación para un período de retorno de 50 años

**Tabla 16.** Profundidades máximas alcanzadas para los periodos de retorno de 50 y 100 años

Profundidad máxima para 50 años (m)	Profundidad máxima para 100 años (m)
4.31	4.34
Diferencia de 0.0228 m	

El área probable de inundación corresponde a 191,080.3849 m<sup>2</sup> tal como se muestra en la Figura 30, para un periodo de retorno de 50 años, lo que evidencia la necesidad de implementar medidas estructurales para el control de inundaciones en caso de proyectarse edificaciones dentro de este polígono.

Como puede observarse en la Figura 31, la velocidad del paso del fluido alcanza los mayores valores al principio del tramo estudiado del río Cabobré con valores de hasta 3.2 m/s. Por lo tanto, estas son zonas que debido a un flujo tan rápido tienden a sufrir erosión rápida que, combinada con la elevación de la lámina de agua alcanzada, evidencian el riesgo de inundación del área.



**Figura 31.** Distribución de velocidades de flujo para un periodo de retorno de 50 años.

#### 5.4.3. Modelación HEC-RAS de la quebrada Q1.

Al igual que para el río Cabobré se realiza la modelación hidráulica del flujo de un régimen permanente para establecer las características de diseño para los caudales asociados a los períodos de retorno de 50 y 100 años (Tabla 17).

**Tabla 17.** Períodos de retorno para Q1

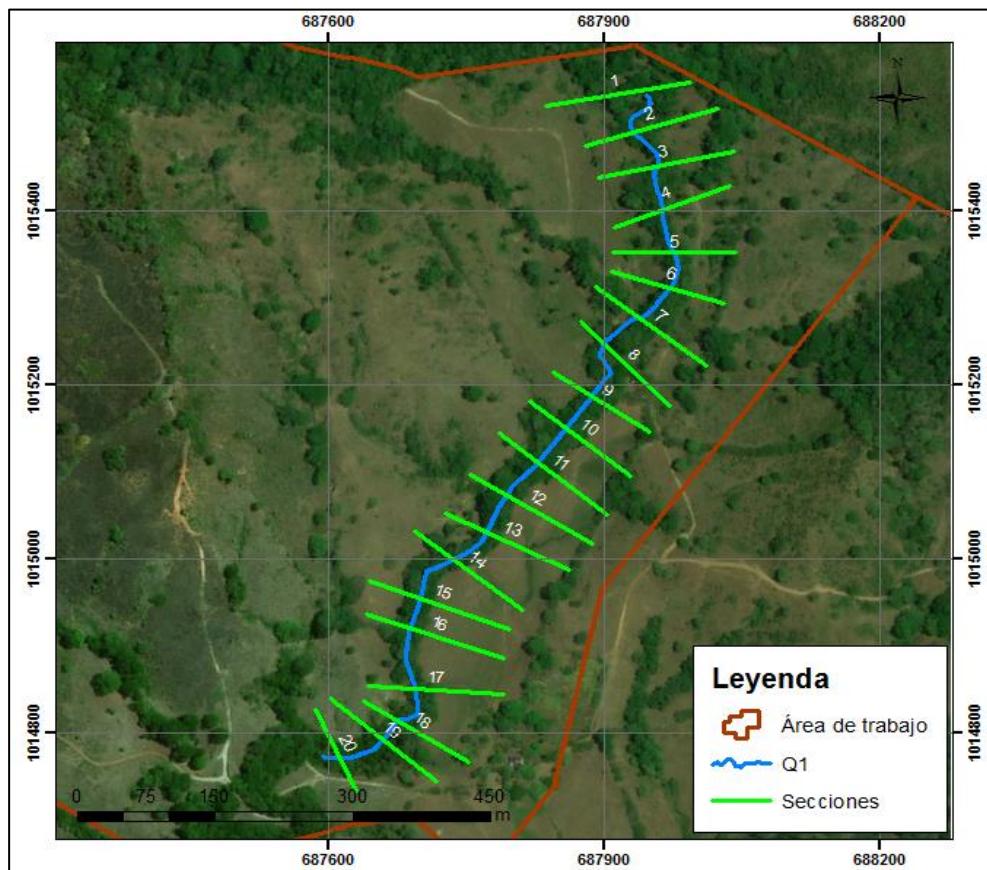
Periodo de retorno T (años)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
50	32.23
100	36.19

## **Metodología.**

### **Creación de la geometría en HEC-geoRAS**

La longitud de la red de drenaje que se consideró para la simulación es del 1005.14 m. Partiendo de HEC-geoRAS para obtener los parámetros de diseño requeridos y luego proceder a la creación de un modelo en HEC-RAS 5.0.5. Se crearon 20 secciones trasversales sobre el cauce, las cuales presentan una separación de 50 m y una longitud de 150 m cada una (Figura 32). Las coordenadas de dichas secciones se encuentran en el Anexo 6.

El valor del número de Manning se toma de la tabla de referencia del Hydraulic Reference Manual HEC-RAS, considerando un cauce con características similares al del río Cabobré, se asigna el mismo valor de 0.035; y para las llanuras de inundación se tomó el valor de 0.06 que corresponde al valor máximo de un área con maleza ligera y árboles.



**Figura 32.** Tramo de Q1 y secciones transversales.

## Parámetros hidráulicos

Se establece un régimen permanente y se utilizan los valores correspondientes de caudales asociados a 50 y 100 años que se mostraron anteriormente en la Tabla 17. Como condición de contorno se establece el calado normal, es decir, se debe introducir la pendiente de la línea de energía, por lo que se calcula la pendiente aguas arriba que es de 0.03 y la de aguas abajo es de 0.02.

## Resultados

La simulación se realizó bajo un régimen mixto, ya que en algunas secciones se obtiene un calado crítico y en otros subcrítico. Los resultados obtenidos para las 20 secciones se encuentran en el Anexo 6. A continuación, se muestran dos secciones del tramo Q1 (Figura 33):

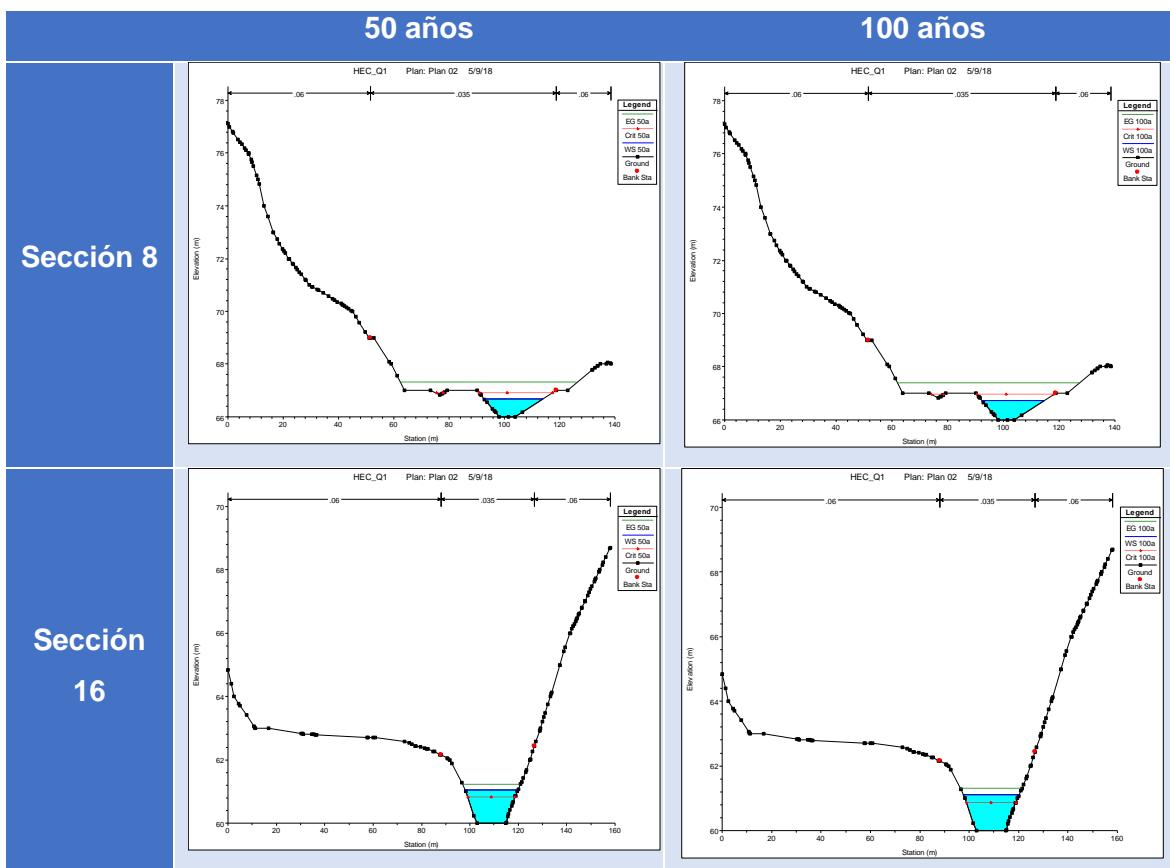


Figura 33. Salidas graficas de las secciones 5 y 16 (50-100 años).

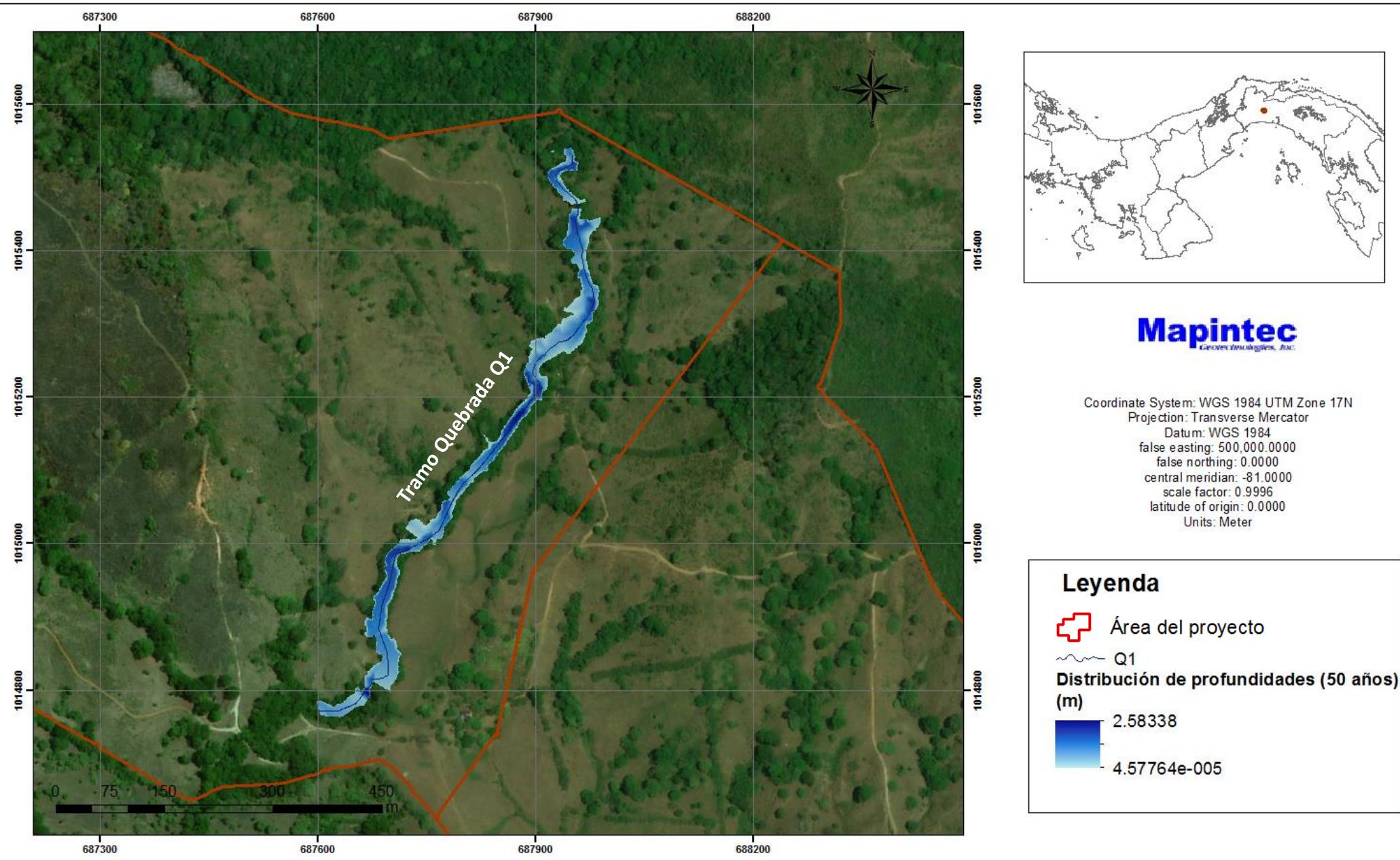


Figura 34. Distribución de profundidades de Q1 en un periodo de retorno de 50 años

Como se observa en la Figura 33, la sección 8 es un ejemplo de un régimen supercrítico; y la sección 16 de uno subcrítico. En ninguna de las 20 secciones se observó desbordamiento de la quebrada Q1, ya que la misma se encuentra en una zona rodeada de mayores elevaciones topográficas que permite que las aguas permanezcan encausadas. Sin embargo, para que se tenga en cuenta al momento de planificar el desarrollo del área, se muestra el mapa de distribución de las profundidades para Q1 (Figura 34). El polígono de inundación obtenido se presenta como archivo digital, en el Anexo 6.

## **6. HIDROGEOLOGÍA.**

### **6.1 Propiedades Hidrogeológicas de la zona de estudio.**

De acuerdo con el Mapa hidrogeológico de Panamá, elaborado por ETESA (1999 y 2008), la zona de estudio está localizada en la unidad C-3, que se caracteriza por ser acuíferos de muy baja producción ( $Q<1\text{m}^3/\text{h}$ ). Estos cuerpos geológicos se caracterizan por tener ausencia de acuíferos, constituidos por intrusiones múltiples de composición variable, con estructura masiva, afectadas por una serie de fallas y fracturas poco desarrolladas, y este caso se asocia con la Formación intrusiva Mamoni. La ocurrencia de aguas subterráneas está limitada a la zona de meteorización o fracturación de las rocas sanas o subyacentes.

La zona sur del área de estudio en la planicie aluvial del Río Cabobré se caracteriza por tener acuíferos con permeabilidades variables y se clasifican como moderadamente productivos, con un caudal medio de 3 a 10  $\text{m}^3/\text{h}$ . Corresponden a rocas basálticas, andesitas, aglomerados, pillow lavas, piroclastos y tobas, de la fase volcánica de la Formación Panamá. Se restringen a acuíferos locales limitados a zonas fracturadas y depósitos aluviales de poco espesor.

En este trabajo se han considerado que las unidades se clasificarán de acuerdo a su potencial para transmitir agua, ya sea que se encuentre saturada, parcialmente saturado o no saturado (Figura 35).

- Unidad de Alta importancia**

Bajo esta denominación se clasifican los depósitos no consolidados del cuaternario tales como depósitos aluviales recientes (Qa), aluviales antiguos (Qaa) y terrazas (Qt). Están constituidos por depósitos clasto-soportados, con tamaños de 10 hasta 60 cm, redondez media a alta y una esfericidad media indicando un alto transporte. La composición de los clastos varía desde gabros, dioritas y granodioritas. La matriz es arenosa con tamaño de grano medio y alto grado de alteración.

- **Unidad de media importancia**

En esta categoría se han agrupado las rocas volcánicas basálticas y andesíticas de color gris claro de la Formación Panamá (TO-Pa), en el área de estudio se presentan con un alto grado de fracturación. Se considera de media importancia ya que tiene la habilidad de conducir las aguas provenientes de la recarga a niveles inferiores a través de un medio fracturado.

- **Unidad de baja importancia**

Se considera la unidad hidrogeológica de baja importancia o nula a las rocas intrusivas de composición variable de la Formación Mamoni (K-COma), ya que la ocurrencia de aguas subterráneas es muy variable, limitada y está sujeta a zonas con alto grado de meteorización por desarrollo de suelos arenosos o fracturación asociado a rocas adyacentes, en este caso la Formación Panamá.

## 6.2. Cartografía Hidrogeológica.

Para elaborar el mapa de isopiezas del acuífero, cabe indicar que se utilizó información de más de 30 puntos de afloramientos de agua cartografiados durante la campaña realizada por Mapintec Geotechnhnologies Inc., donde se describe el comportamiento de la corriente entre intermitente y constante. Adicionalmente, se cuenta con la información de niveles freáticos provenientes de dos pozos exploratorios, ambos realizados en las márgenes de la planicie aluvial del río Cabobré, cabe destacar que el nivel freático se encontraba a 1,7 m de la superficie en promedio.

El patrón general de flujo en el mapa de isopiezas de la figura 26, muestra una clara tendencia de escurrimiento similar a la de la cuenca hidrográfica, la orientación general de las curvas equipotenciales es E-W y en general son perpendiculares a los drenajes.

Es importante acotar que las isopiezas son líneas equipotenciales en la que todos los puntos de cada línea tienen el mismo nivel piezométrico, por lo que el mapa obtenido es una representación en planta de la distribución del potencial hidráulico del agua de un acuífero. Las zonas en donde las líneas se encuentran más juntas

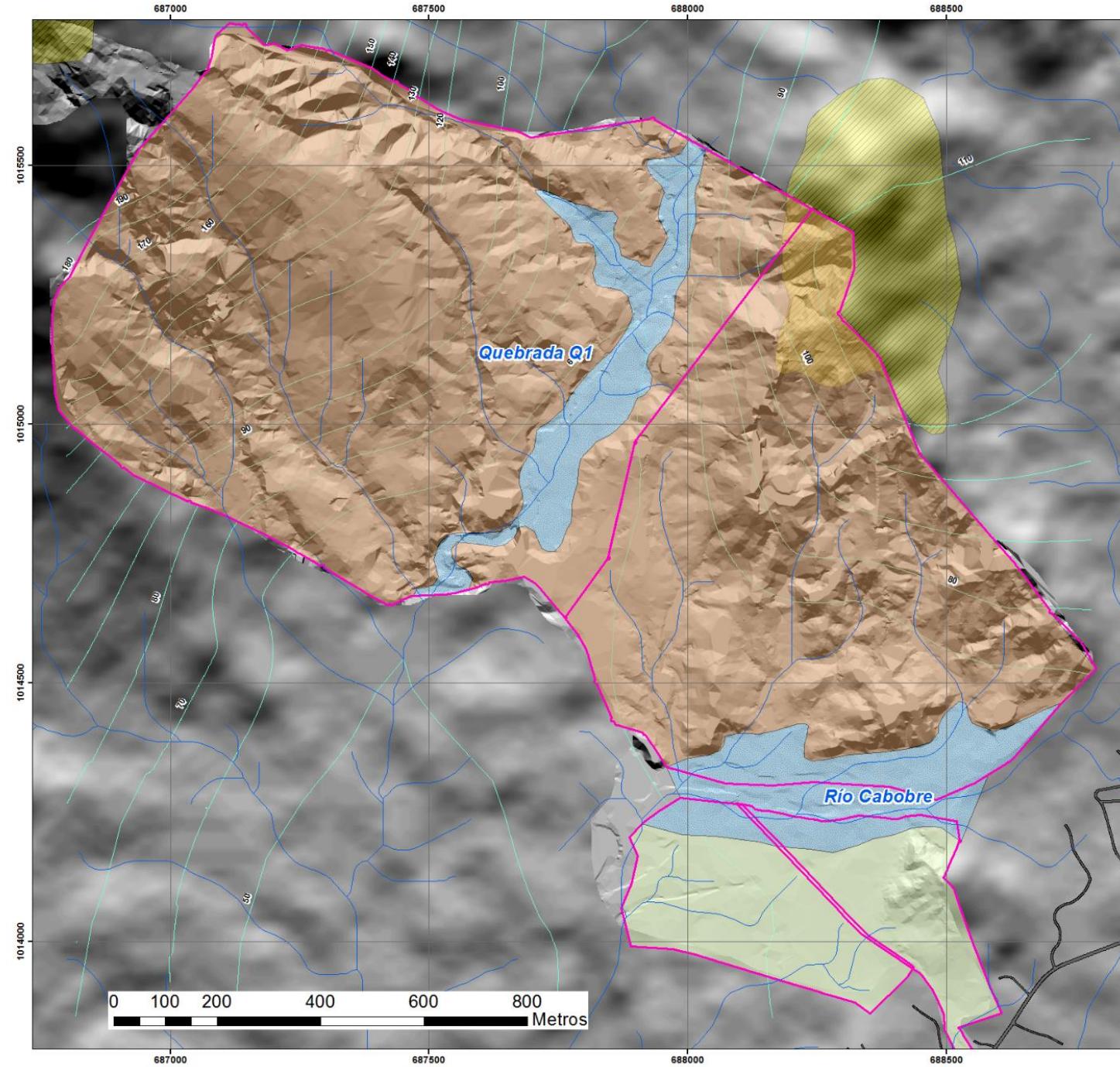


Figura 35. Unidades hidrogeológicas de la zona de estudio

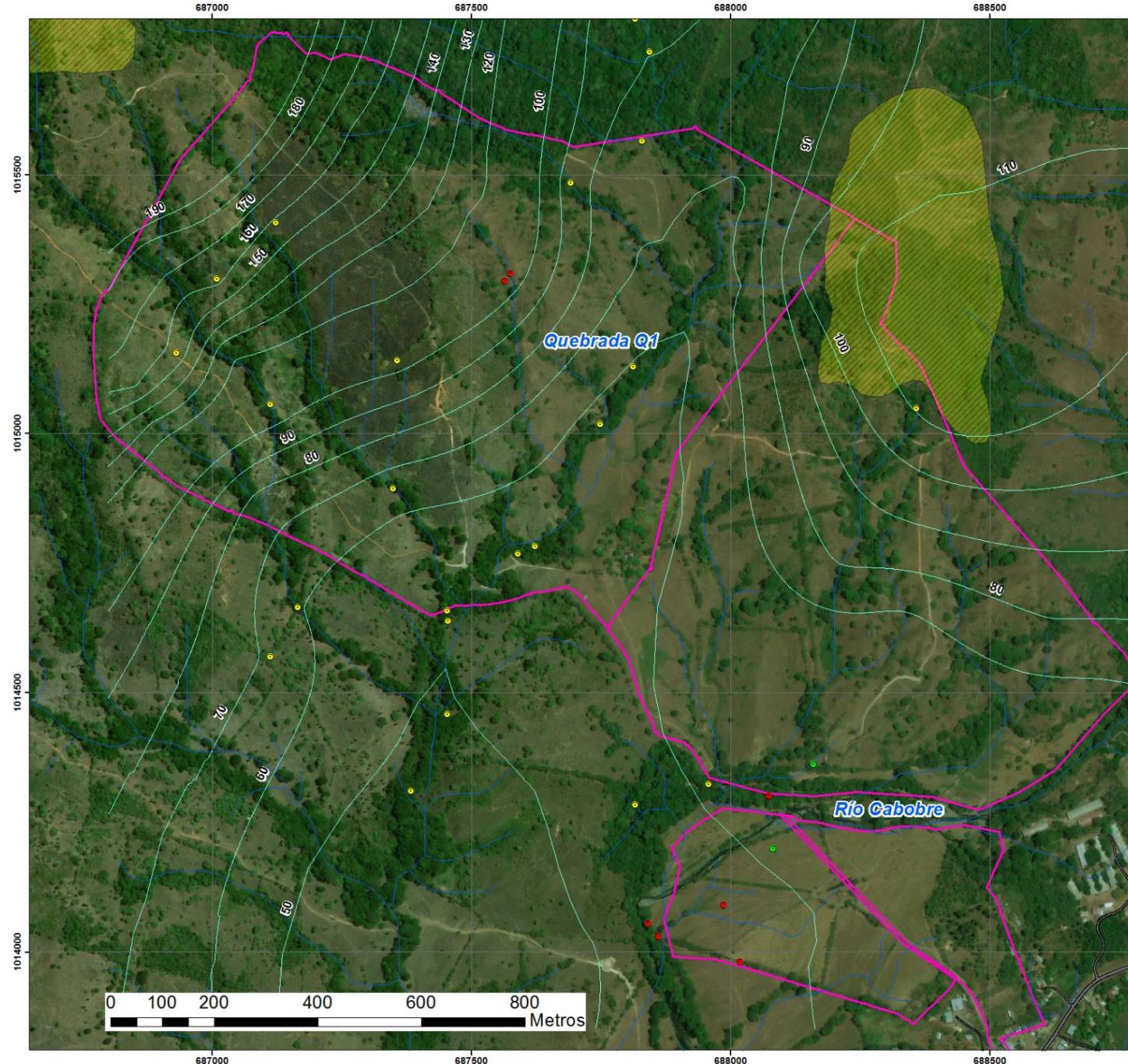
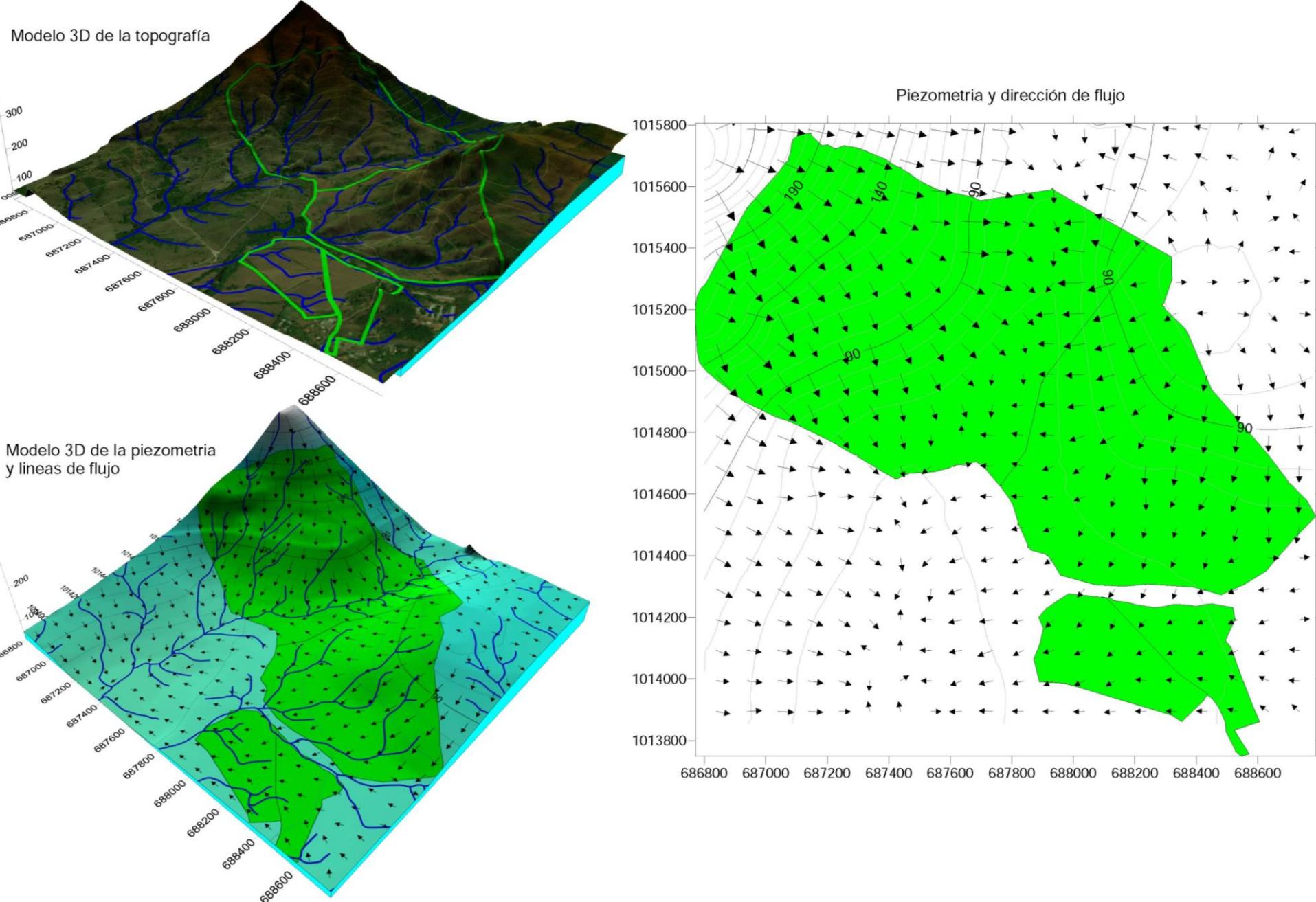


Figura 36. Mapa de isopiezas, flujo subterráneo y zonas de recarga



**Figura 37.** Modelo 3D del flujo subterráneo para el área de estudio

corresponden a máximo gradiente, lo que está asociado a áreas de baja permeabilidad, mientras que las zonas donde las isopiezas están separadas, constituyen un bajo gradiente hidráulico y están asociados a permeabilidades altas

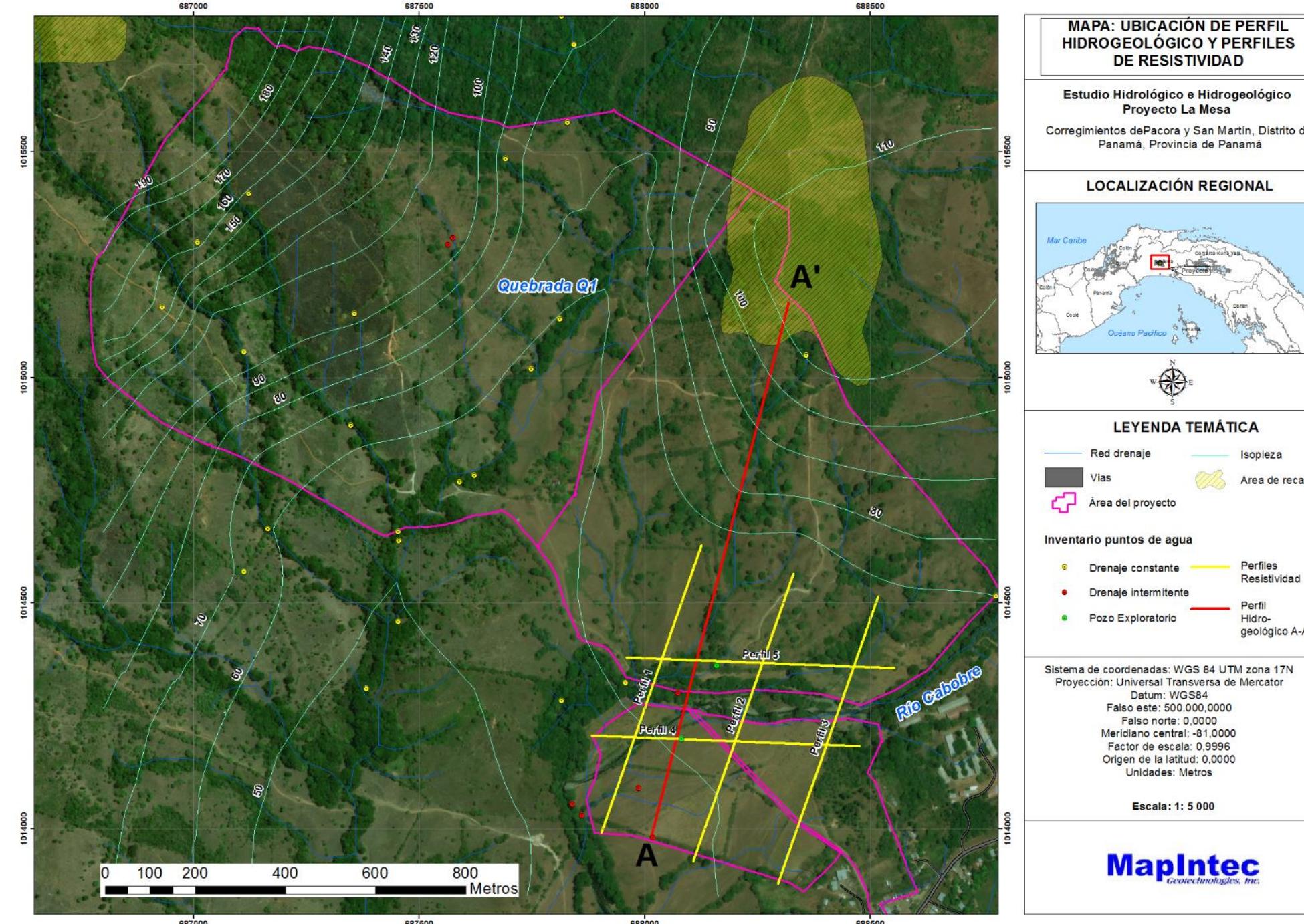
### **6.3. Zona de recarga y descarga.**

La recarga de un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a partir de las aguas superficiales, es decir desde ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos (Otálvaro, s.f.).

En el área de estudio, la zona de recarga fue determinada mediante el mapa de isopiezas, el cual muestra que, al este de la zona de estudio son subortogonales y concéntricas donde se determina una zona de recarga del río Cabobré, sus afluentes, y parte de la quebrada Q1. Al oeste de la zona de estudio son ortogonales y se determina una segunda zona de recarga que proviene de las altas vertientes, lo que tiene gran incidencia en la trasferencia de aguas subterráneas al eje principal de la cuenca de la quebrada Q1, de forma que implica una mayor transferencia de aguas hacia Q1, que la piezométrica de la vertiente este (Figura 36).

Finalmente, todas las aguas subterráneas de la zona de estudio convergen al sector de confluencia del Río Pacora, eje principal de la cuenca hidrográfica.

En la Figura 37 se muestra una representación gráfica de los modelos de piezometría y direcciones del flujo en la zona del proyecto, tal como se describe en el párrafo anterior.



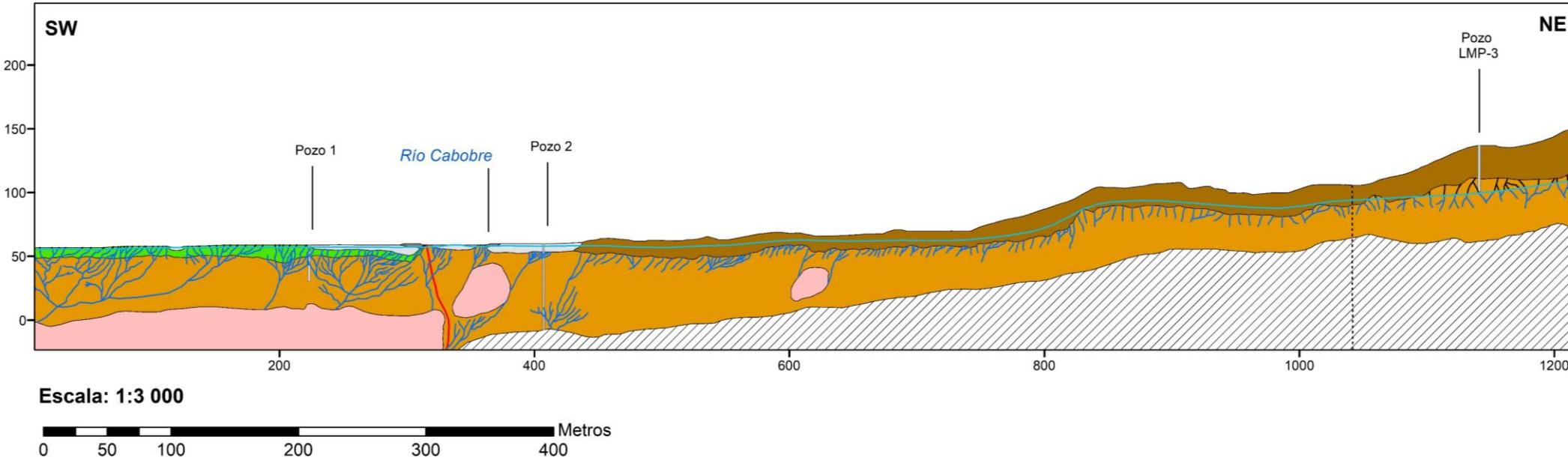
**Figura 38.** Ubicación del perfil hidrogeológico A-A' y perfiles de resistividad

**A**

N: 1013983,92  
E: 688014,16

**A'**

N: 1015166,23  
E: 688320,02



#### Litología

- Qa: Arenas con fragmentos líticos
- Qaa: Arenas con fragmentos líticos volcánicos
- Qt: Conglomerados con matriz arcillosa
- TO-Pa: Basaltos
- K-COMa: Diorita fresca
- K-COMa: Diorita fracturada
- K-COMa: Suelo residual arenó-arcilloso (Diorita)
- Sin información

#### Estructuras

- Falla
- ..... Lineamiento
- Diaclasa

#### Convenciones

- Pozos
- Nivel freático
- Fracturas hidráulicas

### PERFIL HIDROGEOLÓGICO A-A'

#### Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Proyecto La Mesa

Corregimientos de Pacora y San Martín, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá

Sistema de coordenadas: WGS 84 UTM zona 17N  
Proyección: Universal Transversa de Mercator  
Datum: WGS84

Figura 39. Perfil hidrogeológico A-A'

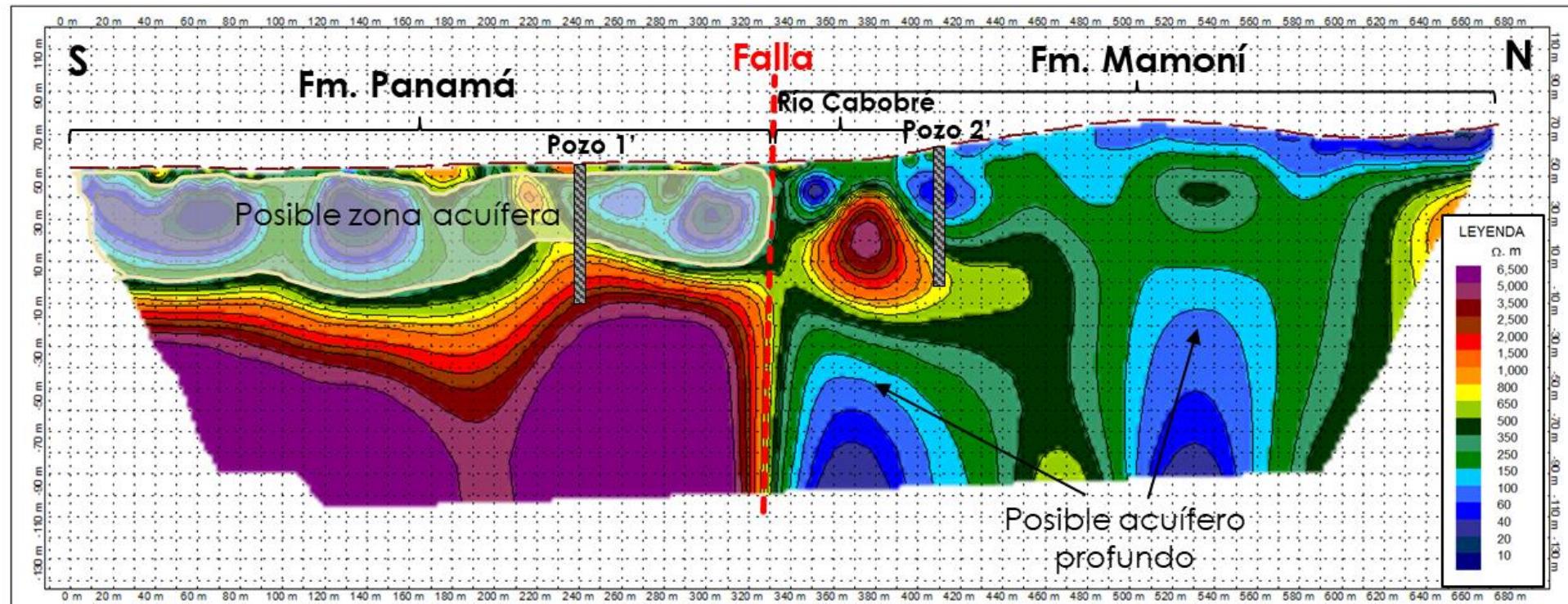


Figura 40. Perfil de resistividad

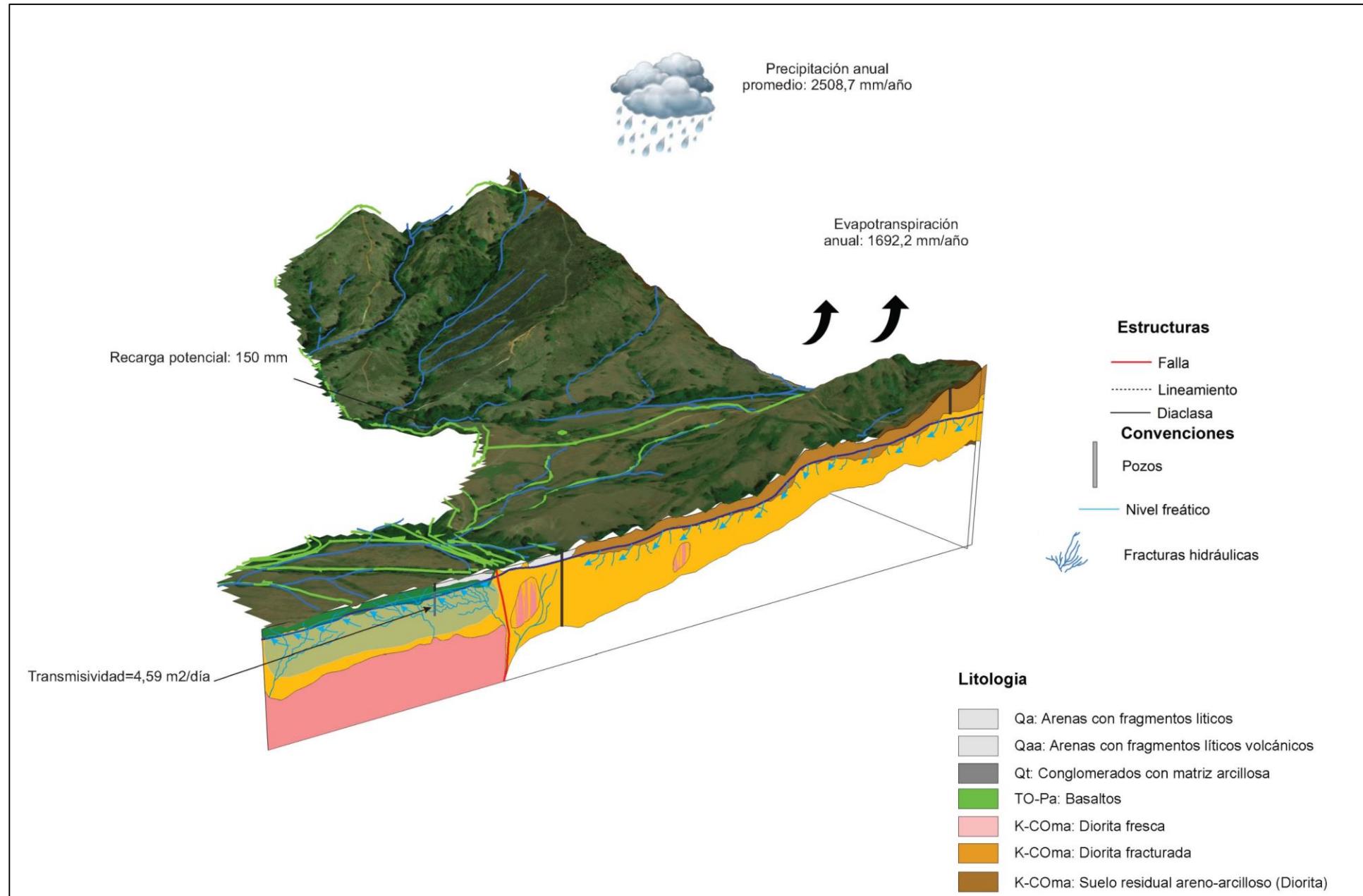
#### **6.4. Perfiles Hidrogeológicos.**

Las unidades hidrogeológicas reconocidas en superficie y en profundidad se han representado a través de un perfil hidrogeológico cuya ubicación en planta se muestra en la Figura 38, para esto se ha considerado la información estratigráfica, perfiles de resistividad, perfiles geológicos, inventario de puntos de agua e información bibliográfica de trabajos anteriores.

El perfil A-A' (Figura 39) tiene una longitud de 1220 m y una orientación NE-SW. En el extremo SW se incluye la traza de los pozos 1 y 2. En el margen izquierdo, aguas abajo del río Cabobre (Pozo 1) afloran rocas volcánicas con un espesor aproximado de 7,5 m, seguido de una roca intrusiva con variaciones texturales desde diorita hasta granodiorita, con fracturamiento de moderado a alto hasta aproximadamente 40 m, donde finalmente, se encuentra la diorita fresca. Se muestra en superficie la unidad hidrogeológica de media importancia con permeabilidad variable y restringida a zonas con alto grado de fracturamiento, esta se encuentra conectada hidráulicamente al horizonte de meteorización de la diorita de acuerdo con lo interpretado en el Perfil 1 de resistividad (Figura 40).

El pozo 2 se localiza en la unidad hidrogeológica de alta importancia, esta secuencia inicia con un depósito aluvial de arenas con fragmentos líticos volcánicos con un espesor aproximado de 4,5 m, seguido de una roca intrusiva de composición diorítica con variedad textural y composicional, altamente fracturada hasta los 9m, de allí continua hasta los 70 m aproximadamente con diferentes grados de fracturación.

En el extremo noreste se localiza el pozo LMP-3, perforado durante trabajos previos realizados por Mapintec en el 2008. La columna estratigráfica describe que no hay recuperación en los primeros 10 m, posiblemente por alto fracturamiento o grado de meteorización de la roca intrusiva compuesta por cuarzo, plagioclasa, anfíboles y biotita que continua hasta los 39 m con un alto grado de fracturación. Aparece aquí la unidad hidrogeológica de baja importancia que cubre en gran parte el área de estudio.



**Figura 41.** Modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio

## **6.5. Modelo Hidrogeológico.**

Para el modelo hidrogeológico de este trabajo, se construyó un modelo conceptual que es una simplificación esquemática de la naturaleza, en la que se busca describir el funcionamiento y características del sistema hidrológico e hidrogeológico.

En la Figura 41 se esquematiza el modelo conceptual hidrogeológico que incluye la litoestratigrafía, nivel estático, parámetros hidrogeológicos como la zona potencial acuífera, dirección de flujo, hidráulicos como transmisividad y parámetros hidrológicos como; precipitación media anual, evapotranspiración anual y recarga potencial, mostrando mayor potencial de recarga en los depósitos cuaternarios por presentar pendientes planas, suelos arenosos, y los suelos areno-arcillosos del saprolito de la roca intrusiva de la Formación Mamoní.

## **7. GESTIÓN DEL AGUA.**

### **7.1. Calidad del agua.**

Según el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá año 2010-2030, la calidad del agua se afecta no solo por las características climáticas y geológicas en las que el recurso se origina, sino también por los diferentes usos que ocurren en cada cuenca.

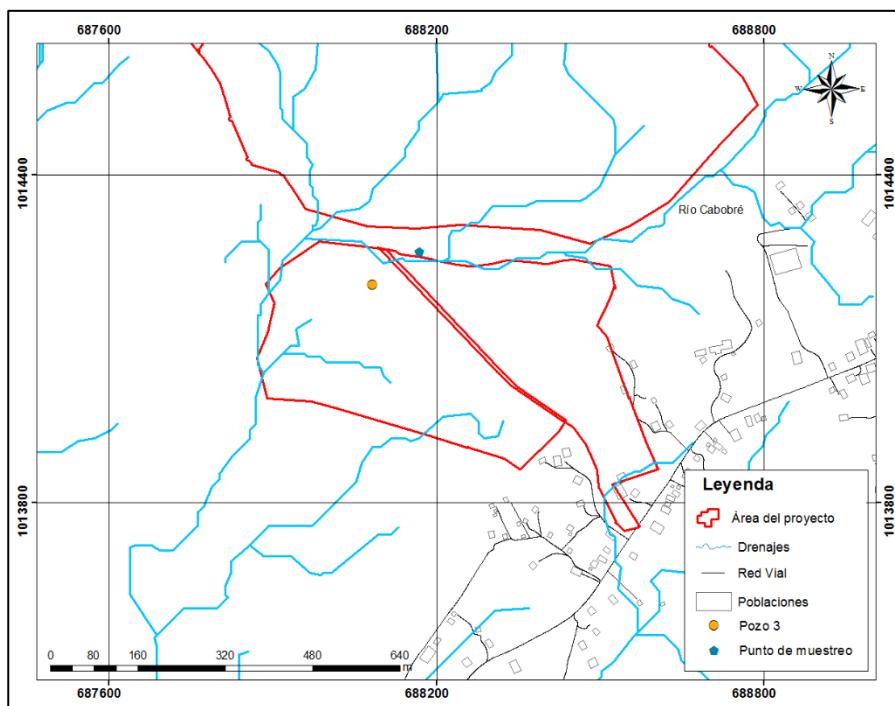
La mayor problemática que afrontan las cuencas hidrográficas tiene que ver con la creciente degradación de la que son objeto. Entre los factores que la generan, cabe mencionar la deforestación, así como el mal uso de desechos contaminantes provenientes de actividades domésticas, industriales y productivas, que son altamente degradantes y cuyo vertido se hace en los cuerpos de agua, ocasionando un progresivo deterioro en la calidad del agua.

En el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá año 2010-2030 (PGIRH 2010-2030) (ANAM Autoridad Nacional Ambiental, 2011) se establece la calificación del agua en función de lo que se denomina Índice de Calidad del Agua (ICA), para el cual se toman en consideración parámetros como PH, oxígeno disuelto (OD), coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, cambio de temperatura, fosfatos, nitratos, turbidez y sólidos totales. Para la clasificación de la calidad del agua según el ICA, se utilizaron cinco criterios: en un rango con valores de 0 a 25, la categoría se clasifica en altamente contaminado; de 26 a 50, en contaminado; de 51 a 70, en poco contaminado; de 71 a 90 la clasificación es aceptable; y de 91 a 100, se considera no contaminado. En función del análisis de los parámetros mencionados en el PGIRH 2010-2030, se establecen rangos para la calidad de agua de los principales ríos pertenecientes a 35 cuencas hidrográficas de la región. Según este estudio, para el año 2010 el Río Pacora se encuentra dentro de los poco contaminados en función del ICA. Sin embargo, el crecimiento demográfico en la región ha alterado un poco esta condición. Para poder determinar las condiciones fisicoquímicas actuales de este importante curso de agua, el día 13 de abril de 2018 se realizó la toma de muestra de agua superficial, sobre el río

Cabobré, el cual atraviesa la zona del proyecto inmobiliario. Las coordenadas del punto donde se tomó la muestra de agua (Figura 42) se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Coordenadas del punto de muestreo superficial del río Cabobré.

Punto de Muestreo	Coordenadas (UTM)	
	Norte	Este
1	1014259	688169



**Figura 42.** Mapa de ubicación del punto de muestreo de agua superficial.

En esta muestra se analizaron los parámetros bacteriológicos (Coliformes Totales y Fecales), parámetros fisicoquímicos (PH, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, Conductividad, entre otros), adicionalmente, se analizó la presencia de metales como: Calcio, Magnesio, Hierro  $^{+2}$  y  $^{+3}$  y Sodio.

La muestra fue tomada por representantes del Centro de Investigaciones Químicas S.A. La normativa aplicada para el análisis de los resultados está contenida en la tabla de estándares de control para clase 1-C, del Capítulo IV. Estándares de Calidad de Agua, del Anteproyecto de normas de calidad ambiental para aguas naturales (2007). En la Tabla 19 (Análisis completo en Anexo 7), se puede apreciar

que solamente el parámetro de Coliformes fecales excede la norma, lo cual es predecible debido a la cantidad de instalaciones de cría de aves y cerdos, fincas, casas y otros emplazamientos en las áreas circundantes al proyecto.

**Tabla 19.** Parámetros analizados en la muestra de agua superficial tomada en el río Cabobré.

Parámetros	Unidades	Resultado Lab # 478-18	Requisitos de calidad	Interpretación
<b>Coliformes Totales</b>	CFU/100mL	3700	--	--
<b>Coliformes Fecales</b>	CFU/100mL	800	<250	Excede la norma
<b>pH</b>	--	8,0	6,5-8,5	Dentro de la norma
<b>Sólidos Disueltos</b>	mg/L	108	<500	Dentro de la norma
<b>Sólidos Suspensidos</b>	mg/L	<0,1	--	--
<b>Conductividad</b>	µS/cm	178,7	--	--
<b>Turbidez</b>	NTU	0,5	50 (época seca)	Dentro de la norma
<b>Color</b>	--	Incoloro	virtualmente ausente	Dentro de la norma
<b>Olor</b>	--	No perceptible	virtualmente ausente	Dentro de la norma
<b>Dureza</b>	mg/L	80,0	--	--
<b>Oxígeno Disuelto</b>	mg/L	8,3	>6,0	Dentro de la norma
<b>Alcalinidad Total</b>	mg/L	69,0		--
<b>Cloruros</b>	mg/L	6,0	<250	Dentro de la norma
<b>Sulfatos</b>	mg/L	2,8	<250	Dentro de la norma
<b>Fosfatos</b>	mg/L	<0,1	--	--
<b>Nitratos</b>	mg/L	0,3	<10	Dentro de la norma
<b>Nitritos</b>	mg/L	<0,001	<1,0	Dentro de la norma
<b>Calcio</b>	mg/L	17,6	--	--
<b>Magnesio</b>	mg/L	8,7	--	--
<b>Hierro +2</b>	mg/L	<0,1	0,3	Dentro de la norma
<b>Hierro +3</b>	mg/L	<0,1		
<b>Sodio</b>	mg/L	3,9	--	--

Para conocer los parámetros de calidad del agua subterránea, también se realizó la toma de una muestra de agua proveniente del Pozo 3 perforado en la zona del proyecto, para definir sus características fisicoquímicas.

Los resultados del análisis de la muestra tomada se resumen en la Tabla 20 y se incluyen completos en el Anexo 8. En esta misma tabla se incluyen los valores de la normativa establecida en el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 23-395-1999, que rige las condiciones que esta debe tener para que sea considerada agua potable.

**Tabla 20.** Resultados de la muestra de agua tomada en el Pozo3.

Parámetro	Resultado	Unidad	Incertidumbre	L.M.C	Valores máx. permisibles	Interpretación
<b>Alcalinidad</b>	106,0	mg/L	(*)	1,0	120	Dentro de la norma
<b>Cloro Residual</b>	N. A	mg/L	± 0,02	0,05	1,5	Dentro de la norma
<b>Cloruros</b>	5,84	mg/L	±4,4	3,5	250	Dentro de la norma
<b>Coliformes totales</b>	<1,0	NMP/100mL	±0,40	1,0	3	Dentro de la norma
<b>Color</b>	<1,0	UPtCo	(*)	0,2	15	Dentro de la norma
<b>Conductividad eléctrica</b>	209,0	µs/CM	±0,9	0,0	--	--
<b>Dureza</b>	76	mg/L	(*)	1,0	100	Dentro de la norma
<b>Escherichia coli</b>	<1,0	NMP/100mL	±0,40	1,0	--	--
<b>Hierro</b>	<0,010	mg/L	(*)	0,010	0,30	Dentro de la norma
<b>Nitritos</b>	<0,05	mg/L	±0,062	0,05	1,0	Dentro de la norma
<b>Potencial de Hidrógeno</b>	7,44	--	±0,02	-2,0	6,5 – 8,5	Dentro de la norma
<b>Sulfatos</b>	10,36	mg/L	±0,290	2,0	250	Dentro de la norma
<b>Turbiedad</b>	0,33	UTN	±0,03	0,02	1,0	Dentro de la norma

L.M.C= Límite Mínimo de Cuantificación, N. A = No Aplica.

Tal como se muestra en la tabla anterior, todos los parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos en el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 23-395-1999 el cual regula la calidad del agua potable.

## 7.2. Uso del Recurso Hídrico.

Según el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (2015 – 2050), Panamá cuenta con abundantes recursos hídricos, donde la precipitación juega un rol importante. El volumen de precipitación total en el país se estima en 233.8 mil millones de m<sup>3</sup>/año estimándose un promedio anual nacional de 2924 l/m<sup>2</sup>, con un mínimo de 1.000 l/m<sup>2</sup> y un máximo de 7.000 l/m<sup>2</sup>, siendo el mayor valor registrado para Centroamérica.

En Panamá la disponibilidad total de agua dulce (diferencia entre la precipitación promedio anual y la evapotranspiración real de un territorio) se ha estimado en 119.5

mil millones de metros cúbicos de los cuales se utiliza solo el 25.8% aproximadamente (Comité de Seguridad Hídrica, 2015).

La utilización del recurso hídrico en el país está distribuida de la siguiente manera: para usos consuntivos (es el uso del agua que no se devuelve en forma inmediata al ciclo del agua), el consumo humano demanda el 1.3% del total de agua dulce utilizada, el sector agropecuario el 1.7 %, el industrial el 0.02 % y sector turístico recreacional el 0.01%. En cuanto a usos no consuntivos, el sector hidroeléctrico demanda el 89.6 % del uso total, la operación del Canal de Panamá utiliza el 7.4 % para el tránsito de buques y mercaderías, y el 0.01% es demandado para belleza escénica (Comité de Seguridad Hídrica, 2015).

En cuanto a la cuenca del río Pacora específicamente, existen estudios como el realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que detallan el uso del recurso hídrico en la cuenca, y que para efectos de este informe fueron usados como referencia. Estos están basados en los registros de concesiones otorgadas por la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) para el año 2008, que constituyen un total de 25 y son destinadas a diversos usos que se detallan en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Concesiones de agua registrada en la Cuenca del Río Pacora  
(Fuente: ANAM, 2008).

# de Reg.	USO	VÓLUMEN CONCESIONADO, HM <sup>3</sup>				
		LLUVIOSA	SECA	TOTAL	ACUMULADO	PROP. %
2	ACUICOLA	157.44	77.43	234.87	234.87	86.49
4	AGRICOLA	13.31	6.54	19.85	254.72	7.31
	AGRICOLA/DOMESTICO		0.00	0.00	254.72	0.00
2	AGROINDUSTRIAL	0.40	0.16	0.56	255.27	0.20
6	AGROPECUARIO	1.40	0.55	1.95	257.22	0.72
	COMERCIAL	0.00	0.00	0.00	257.22	0.00
3	DOMESTICO	5.33	0.51	5.84	263.06	2.15
	DOMESTICO/ AGROPECUARIO	0.00	0.00	0.00	263.06	0.00
1	DOMESTICO/COMERCIAL	0.63	0.31	0.94	264.01	0.35
	DOMESTICO/TURISTICO	0.00	0.00	0.00	264.01	0.00
	HIDROELECTRICO	0.00	0.00	0.00	264.01	0.00
7	INDUSTRIAL	5.06	2.49	7.55	271.56	2.78
	TURISTICO	0.00	0.00	0.00	271.56	0.00
25	7	183.58	87.98	271.56		100.00

De los usos establecidos, se evidencia en la Tabla 21 que para acuicultura se destina un volumen de 234.87 hm<sup>3</sup>, que corresponde al 86% del total de 271.56 hm<sup>3</sup>. El resto está distribuido entre uso agrícola, industrial y doméstico.

La subcuenca del Río Cabobré - Utivé tiene un área total de 85.6 km<sup>2</sup>, lo que corresponde a un 23.70% del total de la cuenca del río Pacora. Asumiendo una relación directamente proporcional, se puede estimar que el consumo en la subcuenca del Río Cabobré - Utivé es de 64.36 hm<sup>3</sup>.

## 8. BALANCE HÍDRICO.

En toda cuenca hidrográfica debe existir un balance entre la cantidad de agua que recibe la subcuenca y la cantidad de agua que sale de ella. Con el conocimiento de las precipitaciones medias mensuales, las infiltraciones y la evapotranspiración media mensual estimada, se pudo estudiar el equilibrio del agua a lo largo de un año hidrológico.

La ecuación de balance hídrico refleja el ciclo y el equilibrio que debe existir en toda cuenca, y se puede resumir de la siguiente forma: el volumen de agua que entra a la cuenca (por medio de la precipitación) debe ser igual a la suma del volumen que sale por medio de escorrentía, evapotranspiración y el volumen de almacenamiento que se pueda dar en los suelos, embalses, etc. En otras palabras: lo que entra debe ser igual a la suma de lo que sale más lo que se retiene.

La ecuación del balance hídrico en su forma general es:

$$P - ET - S - Q = 0$$

Donde las entradas de agua en la ecuación están representadas por la precipitación (P) y las salidas por la evaporación (ET), el almacenamiento de aguas subterráneas (S) y los flujos superficiales (Q). Debido a que no se cuenta con registros precisos de escorrentía superficial mensual del área, se consideró la suma de la cantidad de agua infiltrada (almacenamiento subterráneo, S) y los flujos superficiales (Q), como el valor excedente (EX), que se escapa de la evapotranspiración. De esta manera, la ecuación general toma una forma más simple:

$$EX = P - ETR$$

### 8.1. Parámetros para el cálculo del Balance Hídrico.

Para el cálculo del balance hídrico se deben considerar una serie de parámetros como: precipitación (P), Temperatura (T), Evapotranspiración Potencial (ETP), Evapotranspiración Real (ETR), los cuales fueron analizados en el capítulo 5

(Hidrología) del presente informe. A continuación, se especifican los criterios utilizados para determinar el resto de los componentes del balance hídrico:

### **8.1.1. Reserva (R).**

Se determina en función de las características físicas del terreno; es decir, este valor no es constante y varía en función de los tipos de suelos. En la práctica el balance hídrico se elabora para diferentes capacidades de retención que en la zona de estudio suele ser entre 100 y 150 mm, dado el tipo de suelo residual.

La Tabla 22 muestra las capacidades de retención de diferentes suelos y cultivos, utilizados para adecuar el cálculo del balance en función del tipo de terreno y de cultivo:

**Tabla 22.** Capacidad de retención del suelo (mm) en función del tipo de suelo y cultivo

Textura	Cultivos someros (mm)	Cultivos profundos (mm)	Árboles frutales (mm)
Arenoso fino	50	100	150
Arenoso	75	150	250
Limoso	125	250	300
Arcilloso	100	250	250
Arcilloso compacto	75	200	200

### **8.1.2. Variación de la reserva (VR).**

Es la diferencia entre la reserva del mes en el que se calcula y la reserva del mes anterior:

$$VR_i = R_i - R_{i-1}$$

Donde:

$R_i$ : reserva del mes calculado

$R_{i-1}$ : reserva del mes anterior

### **8.1.3. Déficit (D).**

Comprende el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de la vegetación para evaporar y transpirar: Se calcula de la siguiente manera:

$$D_i = ET_i - ETR_i$$

Donde:

$D_i$ : Déficit del mes calculado

$ET_i$ : Evapotranspiración potencial en el mes calculado

$ETR_i$ : Evapotranspiración real en el mes calculado

### **8.1.4. Exceso de agua (EX).**

Es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda. Por lo tanto:

$$Ex_i = P_i - ET_i - VR_i \quad Si (P_i - ET_i) > 0$$

$$Ex_i = 0 \quad Si (P_i - ET_i) < 0$$

Donde:

$Ex_i$ : Exceso de agua en el mes calculado

$P_i$ : Precipitación en el mes calculado

$ET_i$ : Evapotranspiración potencial en el mes calculado

$VR$ : Variación de reserva

### **8.1.5. Escurrimiento (ESC)**

Corresponde al exceso de agua que se dirige a los niveles freáticos y ríos. Thornthwaite propuso que el 50% del excedente de agua de un mes se escribe hacia los ríos durante el mes en cuestión y el resto se infiltra hacia las capas profundas. Tenemos entonces que:

$$Esc_i = 0,5 * (Esc_{i-1} + Ex_i)$$

Donde:

*Esc*: Escurrimiento

*Esc<sub>i-1</sub>*: Escurrimiento mes anterior

*Ex*: Exceso de agua

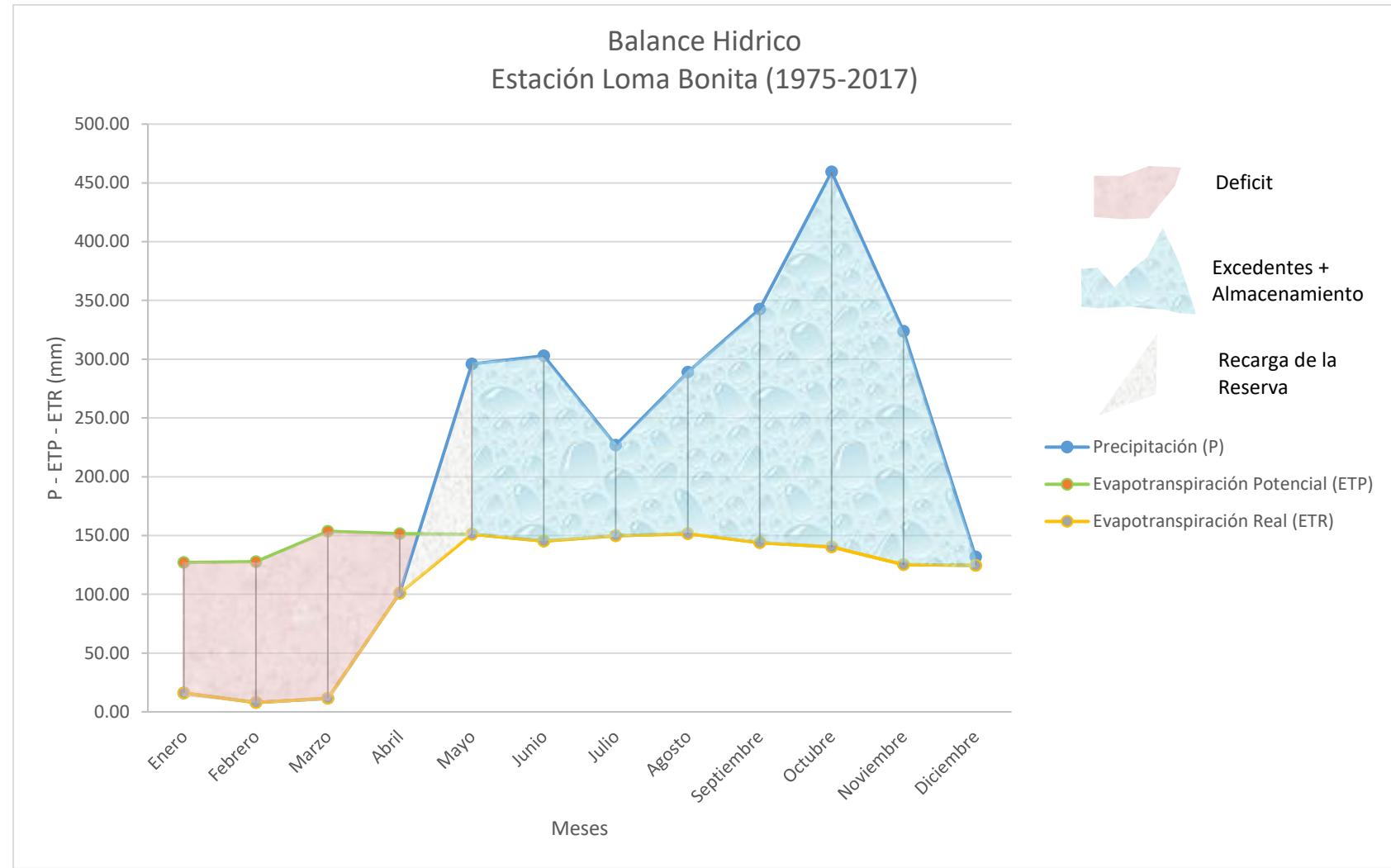
## 8.2. Resultados del balance hídrico.

Los componentes hidrológicos para el balance hídrico de la zona de estudio de la propiedad inmobiliaria, que comprende parte de la subcuenca del Río Cabobré y Utivé, fueron obtenidos utilizando datos de precipitación de una serie de temporalidad de 42 años de la estación Loma Bonita y evapotranspiración potencial mediante el método de Thornthwaite, utilizando la hoja de cálculo de Excel para el tratamiento estadístico de los datos (Tabla 23).

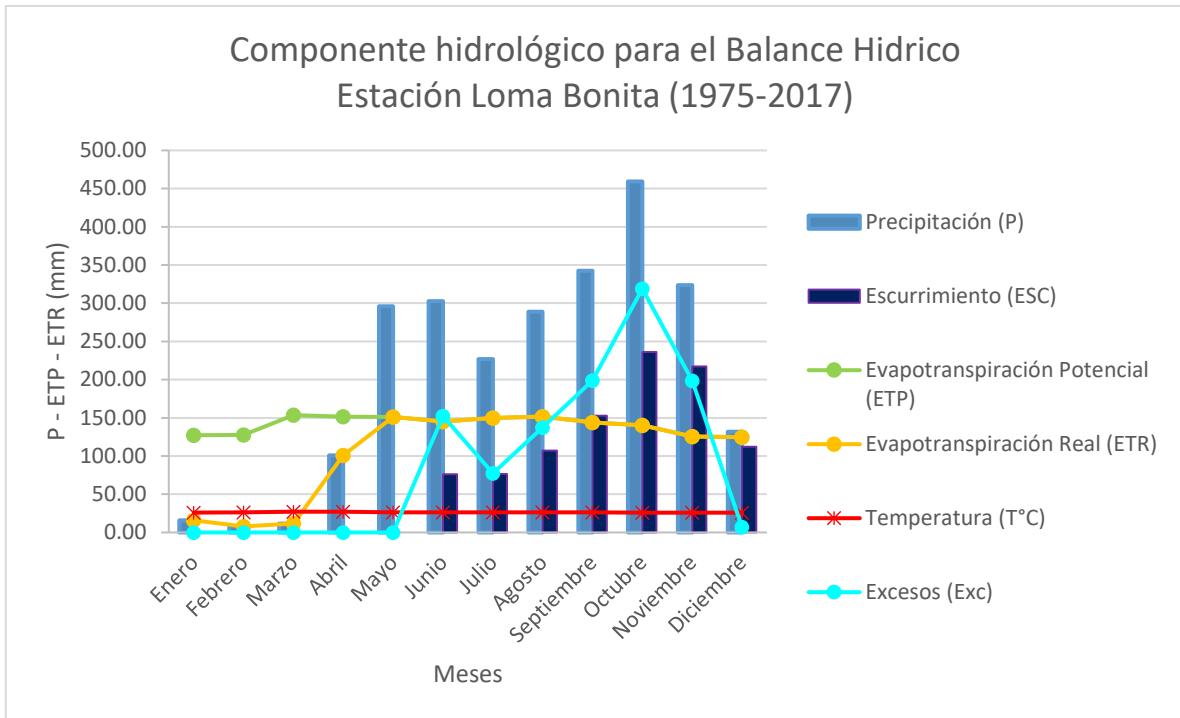
De acuerdo con los resultados obtenidos, en el área se presenta un déficit del recurso hídrico entre los meses de enero y abril (Figura 43 y Figura 44). Tal como se muestra para el caso de la variación de la Reserva, existe una recarga en mayo que permite una recuperación de la capacidad de campo y posteriormente el área presenta una generación de excedentes en el balance de junio a diciembre, siendo este último, el periodo más húmedo (Figura 45).

**Tabla 23.** Componentes del Balance Hídrico mensual (mm) de la estación Loma Bonita (1971-2017)

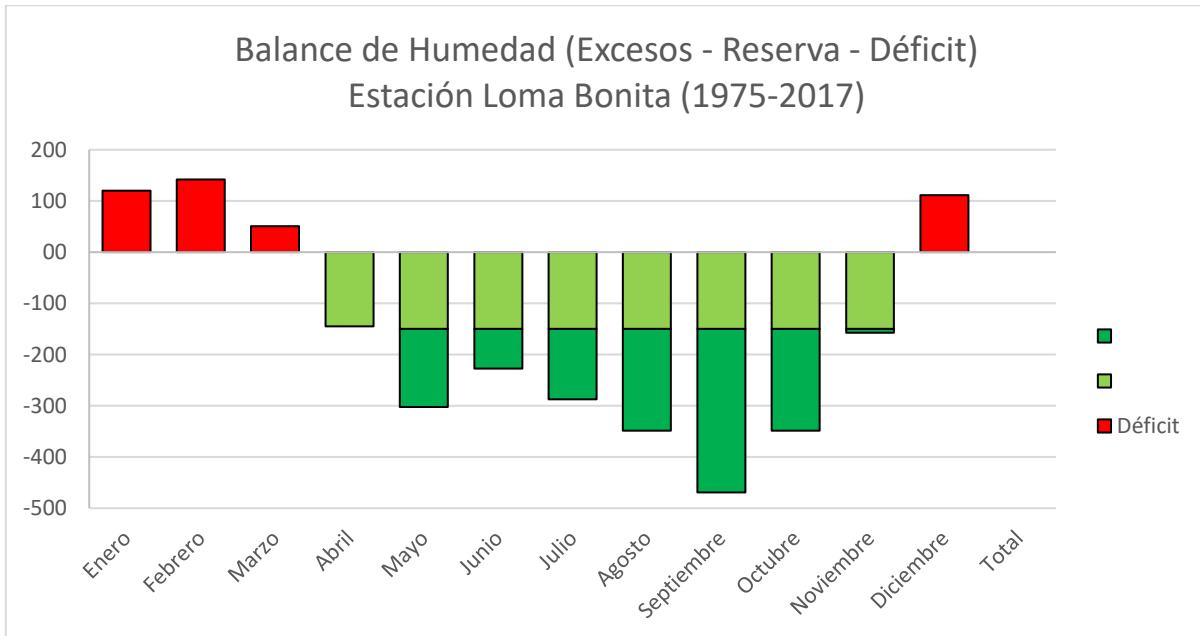
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Reserva máx	150
													Diciembre	Total
T (°C)		26	26,5	27,2	27	26,3	26,5	26,4	26,4	26,2	26,1	26,1	26,1	
P (mm)		15,92	7,94	11,60	100,94	296,00	302,83	227,00	289,02	342,70	459,27	323,69	131,80	<b>2508,7</b>
ETP corr.		127,2	127,8	153,6	151,6	151,2	145,3	149,7	151,7	143,9	140,4	125,4	124,7	<b>1692,2</b>
ETR		15,9	7,9	11,6	100,9	151,2	145,3	149,7	151,7	143,9	140,4	125,4	124,7	<b>1268,5</b>
Déficit (D)		111,3	119,8	142,0	50,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<b>423,7</b>
Reserva (R)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,8	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	
Excedentes (Exc)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	152,4	77,3	137,4	198,8	318,9	198,3	7,2	<b>1090,2</b>
Escurrimiento (Esc)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,2	76,8	107,1	152,9	235,9	217,1	112,1	<b>978,09</b>



**Figura 43.** Curva de Excesos y Déficit de los componentes hidrológicos para el Balance hídrico mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017).



**Figura 44.** Curva P-ETP-ETR-T-EXC-ESC del Balance hídrico mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017).



**Figura 45.** Balance de humedad mensual (mm) estación Loma Bonita (1975-2017).

### **8.3. Sostenibilidad del recurso hídrico.**

Para poder estimar la sostenibilidad del recurso hídrico a lo largo del tiempo, en una determinada zona, es necesario conocer cuánto agua entra al sistema a través de la precipitación y cuánta agua es utilizada a través de la demanda. Desde el punto de vista de la disponibilidad del recurso hídrico (oferta hídrica), en el presente estudio se ha realizado una evaluación cuantitativa, pero la evaluación de la demanda solo ha sido cualitativa y con base en el análisis de estudios previos, a excepción del parámetro evapotranspiración, el cual, si pudo ser analizado en términos cuantitativos, ya que se cuenta con datos suficientes para ello.

Para una mejor comprensión, los términos de oferta y demanda son expresados en unidades de hectómetros cúbicos ( $hm^3$ ). Para obtener el volumen total de la oferta hídrica mensual, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_i = A * P_i * 10^{-6}$$

Donde:

$V_i$ = Volumen mensual de agua en  $hm^3$

$A$ = Área del proyecto en  $m^2$

$P_i$ = Precipitación mensual en m

Debido a que la zona del proyecto abarca un área total de  $1.903 km^2$  ( $1903000 m^2$ ), el volumen de agua precipitado en el año (oferta anual), es de  $4.774 hm^3$ .

Dentro de los parámetros considerados como demanda, se encuentra el término de caudal ecológico, el cual podría definirse como el flujo de agua requerido para mantener las necesidades mínimas de los ecosistemas acuáticos existentes en un área de influencia antrópica que modificará los caudales naturales de un río o quebrada. Debido a la poca información sobre indicadores biológicos que permita estimar un caudal ambiental adecuado, se utilizó una metodología basada en información hidrológica mediante información histórica de una serie de años. En este caso se utiliza la metodología del código del medio ambiente francés (Ley 2006-1772 del 30 de diciembre de 2006-art 6. JORF 31 de diciembre de 2006), el cual

establece como caudal mínimo el 10% del caudal medio mensual interanual, calculado para un periodo mínimo de 5 años.

Para el cálculo de la intercepción de la lluvia por la vegetación, y de los valores de infiltración somera y profunda, se tomó como referencia, el estudio realizado por (CATIE, 2008), el cual establece un valor de 3% para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

De acuerdo con la información disponible, metodologías y criterios aplicados, se presenta el resumen del balance, que incluye oferta y demanda del recurso hídrico, en la Tabla 24. Según se puede observar, enero, febrero, marzo y diciembre presentan un déficit hídrico, desde luego son moderados, pero incluso pueden hacerse mayores si la demanda aumenta o la oferta disminuye, o ambas cosas ocurren. De abril a noviembre es cuando hay excedentes y por lo tanto se presenta un balance positivo (Figura 46).

En complemento, se tiene que la oferta potencial de agua equivale a la suma del escurrimiento total a la salida de la cuenca, más los usos demandados (concesionados o registrados); que en este caso son despreciables para la zona de estudio, más el volumen ambiental, más las fugas en el sistema, si las hay. Así, para este caso, la oferta potencial es:

$$\text{Oferta potencial} = 1,453 + 0,477 = 1,93 \text{ hm}^3$$

Por otro lado, la demanda total es la suma de lo concedido (demanda total para usos); que en este caso son despreciables para la zona de estudio, más el volumen para uso ambiental, más las fugas, si las hay, (CNA, 2002) es decir:

$$\text{Demanda total} = 0,477 = 0,48 \text{ hm}^3$$

Calculando la relación oferta potencial/demanda total, según el criterio de la Norma Oficial Mexicana NOM 011 de la conservación del recurso agua (CNA, 2002), se tiene que:

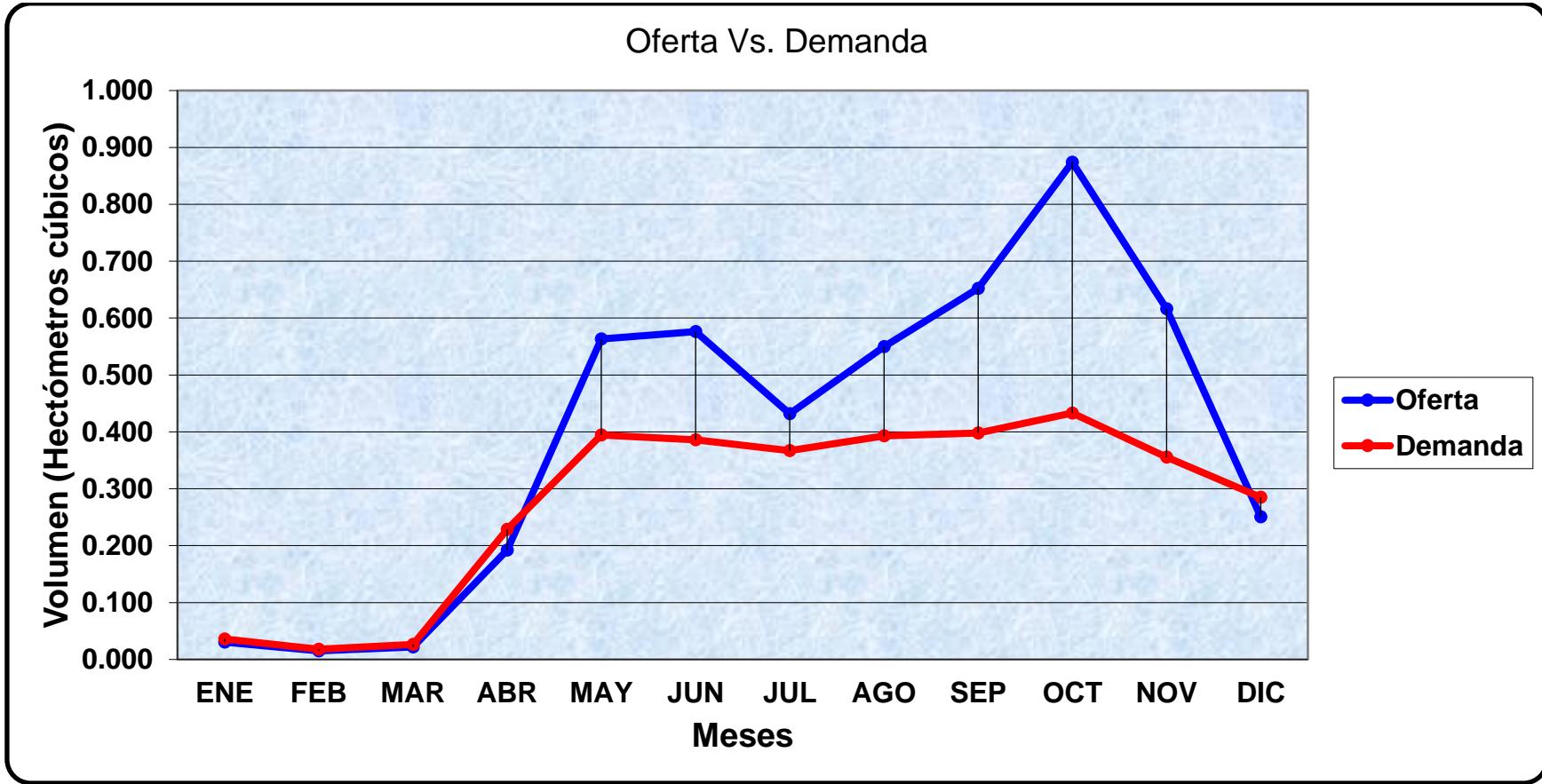
$$\frac{Oferta Potencial}{Demanda total} = \frac{1,93}{0,48} = 4,02$$

El cual es un indicador de que, en la zona de estudio, al ser mayor la oferta que la demanda –anualizadas-, hay cierto grado de excedentes hídricos, que ocurren durante la temporada lluviosa.

En cuanto a las aguas subterráneas, tal y como se puede apreciar en la Tabla 24, el volumen de recarga anual de los acuíferos fue estimado en  $0.143 \text{ hm}^3$  ( $143000 \text{ m}^3$ ), el cual podría ser aprovechado con una tasa de extracción de aproximadamente  $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$  (70 gpm), si se bombea de forma continua durante los 365 días del año, sin parar.

**Tabla 24.** Balance Hídrico mensual multianual ( $\text{Hm}^3$ ).

PROPORCIÓN	CONCEPTO	MESES SECOS				MESES HUMEDOS								TOTAL ( $\text{Hm}^3$ )	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
ENTRADAS	100%	LLUVIA EN LA ZONA DE ESTUDIO	0.030	0.015	0.022	0.192	0.563	0.576	0.432	0.550	0.652	0.874	0.616	0.251	4.770
		RETORNOS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		BOMBEO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		MANANTIALES	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		IMPORTACION (TRASVASE)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		SUMA	0.030	0.015	0.022	0.192	0.563	0.576	0.432	0.550	0.652	0.874	0.616	0.251	4.770
SALIDAS	51%	EVAPOTRANSPIRACION	0.030	0.015	0.022	0.192	0.288	0.277	0.285	0.289	0.274	0.267	0.239	0.237	2.410
	3%	INFILTRACION SOMERA	0.001	0.000	0.001	0.006	0.017	0.017	0.013	0.017	0.020	0.026	0.018	0.008	0.143
	3%	INFILTRACION PROFUNDA	0.001	0.000	0.001	0.006	0.017	0.017	0.013	0.017	0.020	0.026	0.018	0.008	0.143
	3%	INTERCEPCION	0.001	0.000	0.001	0.006	0.017	0.017	0.013	0.017	0.020	0.026	0.018	0.008	0.143
		SUMA	0.033	0.016	0.024	0.209	0.338	0.328	0.324	0.338	0.333	0.346	0.294	0.260	2.840
	10%	USO AMBIENTAL	0.003	0.002	0.002	0.019	0.056	0.058	0.043	0.055	0.065	0.087	0.062	0.025	0.477
		SUMA TOTAL DEMANDA	0.036	0.018	0.026	0.229	0.395	0.386	0.367	0.393	0.398	0.433	0.356	0.285	3.320
		BALANCE	-0.006	-0.003	-0.004	-0.036	0.169	0.190	0.065	0.157	0.254	0.441	0.260	-0.034	1.450



**Figura 46.** Oferta y demanda del recurso hídrico para la zona de estudio

## 9. CONCLUSIONES.

- La litología en el área es fundamentalmente constituida por rocas volcánicas e intrusivas como lo son dioritas, granodioritas, tobas, andesitas y basaltos, las cuales presentan un fracturamiento en diferentes grados, lo cual hace propicio este material rocoso para el almacenamiento y circulación de agua.
- Los suelos en el área son predominantemente arenos arcillosos y arcillo arenoso, producto de la meteorización de las rocas parentales las cuales son de tipo diorita y granodiorita principalmente. Estos suelos presentan tasas de coeficientes de infiltración entre  $1 \times 10^{-5}$  y  $5 \times 10^{-5}$  (Riverside 2011) por ser fundamentalmente suelo arenoso con presencia de limo y arcilla en menor proporción, lo que se traduce en medios propicios para la infiltración.
- El patrón de precipitación para la zona de estudio es bimodal (tiene dos picos); presenta un pico entre los meses de mayo y junio con valores máximos promedio entre 296.00 y 366.32 mm/mes, y otro bien definido en el mes de octubre, con valores entre 459.27 y 508.79 mm/mes. Los meses que registran menor precipitación van de enero a marzo, con valores mínimos promedio entre 7.94 y 35.39 mm/mes.
- La Evapotranspiración real (ETR) anual promedio para la zona de estudio se estima en 1268.5 mm, lo que representa más del 42% de lo que llueve en el año.
- El área de la subcuenca de los ríos Cabobré – Utivé tiene un rango de escorrentía que va de 501 a 2000 mm/año. El volumen de escorrentía anual tiene un valor de 133.8 hm<sup>3</sup>, lo que dividido entre la cantidad de segundos que tiene un año, se traduce en un caudal de escurrimiento de 4.24 m<sup>3</sup>/s.
- El río Cabobré y la quebrada Q1 constituyen los principales cuerpos de agua de interés en la zona. Los caudales de diseño asociados a estos drenajes son: 32.23 m<sup>3</sup>/s (50 años) y 36.19 m<sup>3</sup>/s (100 años) para la quebrada Q1, y 121.51 m<sup>3</sup>/s (50 años) y 136.47 m<sup>3</sup>/s (100 años) para el río Cabobré,

- A partir del modelado hidráulico en HEC-RAS en el tramo del Río Cabobré se obtuvo que más del 60% de las secciones de análisis presentan desbordamiento para los periodos de retorno de 50 y 100 años, generando una posible área de inundación alrededor de 190 km<sup>2</sup>, por lo que se recomienda implementar medidas estructurales para el control de inundaciones. El tramo de la quebrada Q1, no presentó desbordamiento en ninguna de las secciones de análisis consideradas para los períodos de retorno de 50 y 100 años.
- Se ha considerado toda el área de estudio como un gran sistema acuífero de comportamiento libre, sin embargo, se han subdividido en 3 sub-acuíferos de acuerdo con su litología constituyente y a sus características hidráulicas. Estas unidades a su vez se clasifican de acuerdo a su importancia productiva, siendo la unidad de importancia media, la más representativa para la zona de estudio, ya que tiene la habilidad de conducir las aguas provenientes de la zona de recarga a niveles inferiores a través de las fracturas interconectadas del medio poroso.
- El mapa de isopiezas muestra que, al este de la zona de estudio, las isopiezas son subortogonales y concéntricas definiendo allí, una zona de recarga del río Cabobré, sus afluentes, y parte del río Pacora. Al oeste de la zona de estudio también indican la presencia de una segunda zona de recarga que proviene de las más altas vertientes, lo que tiene gran incidencia en la trasferencia de aguas subterráneas al eje principal de la cuenca del río Cabobré.
- Los resultados de la prueba de bombeo arrojan que la transmisividad para este sitio en concreto es de 4,56 m<sup>2</sup>/día, sin embargo, debido a la variación del espesor saturado, se espera una amplia variabilidad en la conductividad hidráulica. Esto supone que el sistema acuífero es complejo, lo que implica una elevada heterogeneidad del acuífero atribuido a su complejidad litológica asociada a procesos de meteorización y sistemas de fracturas.
- Los diagramas (Q-d) y (d/Q-d) tienen una buena correlación con respecto a la curva característica de comportamiento de sistemas acuíferos multicapa y circulación de aguas a través de fracturas en régimen turbulento, obteniendo valores elevados de "n".

- De acuerdo con la interpretación de los ensayos de bombeo, la producción óptima de agua subterránea es de 6 gpm con un 98% de eficiencia, sin embargo, la prueba de bombeo a caudal constante de 18 gpm, denota una buena estabilización en el descenso en los últimos 330 minutos, un caudal específico aceptable de 0,67 l/s\*m y una eficiencia de pozo del 76%, lo que supone gastos energéticos moderados.
- El balance hídrico realizado para la zona de estudio permite deducir que se presenta un déficit del recurso hídrico en la temporada de estiaje (enero-abril), en el mes de mayo se presenta una recarga en la reserva que permite la recuperación de la capacidad de campo, posteriormente, se presenta un periodo húmedo con excedentes desde junio a diciembre.
- El volumen de recarga anual de los acuíferos fue estimado en  $0.143 \text{ hm}^3$  ( $143000 \text{ m}^3$ ), el cual podría ser aprovechado con una tasa de extracción de aproximadamente  $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$  (70 gpm), si se bombea de forma continua durante los 365 días del año.

## 10. BIBLIOGRAFÍA.

- ANAM Autoridad Nacional Ambiental. (2011). *Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la República de Panamá (2010-2030)*. Panamá.
- ANAM Autoridad Nacional del Ambiente. (2010). *atlas Ambiental de la República de Panamá*. Panamá: Novo Art.
- CATIE, C. A. (2008). *Formulación del Plan Estratégico para el manejo integrado de la cuenca del río Pacora*. Panamá.
- CNA. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales*. México: Comisión Nacional del Agua.
- Comité de Seguridad Hídrica. (2015). *Plan Nacional de Seguridad Hídrica (2015-2050)*. Panamá: Gobierno de la República de Panamá.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Omega.
- Deere, D. (1963). Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. *Rock Mech. Eng. Geol. Rock Mech. Eng. Geol*, 16-22.
- ETESA. (1999). *Mapa Hidrogeológico de Panamá. Escala 1:1 000 000. Texto Explicativo*. República de Panamá: Departamento de Hidrometeorología.
- ETESA. (2007c). *ETESA Mapa de evapotranspiración potencia*. Panamá.
- ETESA. (2008). *Mapa Hidrogeológico de Panamá. Escala 1: 1 000 000*. República de Panamá: Departamento de Hidrometeorología.
- ETESA. (13 de Agosto de 2018). *Hidromet. Datos de precipitación Estación Loma Bonita*. Obtenido de [https://www.hidromet.com.pa/open\\_data.php](https://www.hidromet.com.pa/open_data.php)
- ETESA. (s.f.). *Empresa de Transmisión Eléctrica*. (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.) Recuperado el 15 de Diciembre de 2016, de Red Nacional: [http://www.hidromet.com.pa/red\\_nacional.php](http://www.hidromet.com.pa/red_nacional.php)
- Garcia Rodríguez , M., & Fernández Escalante, A. (2009, Vol. 3º). *Hidrogeología básica. Las aguas subterráneas y su flujo*. Ediciones FIEC.

- Kirpich, Z. (1940). *Time of concentration of small agricultural watersheds.*
- MAPINTEC GEOTECHNOLOGIES INC. (2009). *Evaluación Geológica del Proyecto La Mesa, Suplidora Panamá Este, S.A. Republica de Panamá.*
- MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS. (1990). *Geología de Panamá. Escala 1: 250 000.* . República de Panamá: Dirección General de Recursos Minerales.
- Montero Olarte, J. (s/f). Capítulo 11. Caracterización geológica de macizos rocosos. UNAL.
- MSc. Luiggi Franceschi et, al. (1998). *Diagnóstico Participativo de la Cuenca del Río pacora.* Panamá.
- Muriales, & Uriarte. (2014). *Cálculo de caudal máximo para el diseño de un puente en subcuenca pozo con Rabo.* Chiclayo.
- Otalvaro, M. V. (s.f). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos* . Medellín.
- PREVDA. (2008). *Formulación del Plan Estratégico para el Manejo Integrado de la Cuenca del Río Pacora.* República de Panamá: PREVDA-PAN/SER/004-07.
- THORNTWHITE, C. W. (1948). An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Soil*, 66 (1), 77.
- Universidad Jaume I de Castellón. (2007). *Grupo de Gestión de Recursos Hídricos.* Recuperado el 09 de Febrero de 2017, de Escorrentía:  
<http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH05.pdf>

## **Anexo 1. Informe de Resistividades Eléctricas.**

**Anexo 2. Registro de perforaciones mecánicas y manuales con auger, realizadas por Mapintec (2009).**

### **Anexo 3. Columnas estratigráficas de los Pozos 1, 2 y 3.**

**Anexo 4. Fotos de los núcleos de los Pozos 1 y 2.**

**Anexo 5. Resultados prueba de bombeo caudal constante.**

**PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE**

**Pozo : PP1**

**Distrito de Chepo**

Fecha inicio:

8/08/2018      Fecha Final: 10/08/2018

Hora                  Inicio: 1:00 pm, Hora Final: 12 am

NEA: 2.13 m

(6.98 pies)

Caudal aforado: 18 gpm.

Realizó Aforo: Sr. Fernando Villegas

**CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE BOMBEO**

Tipo                  Sumergible 3 HP

Sarta de descarga de 1. ¼" pulgada.

Tiempo (min)	ABATIMIENTO (m)
0	2.13
1	4.38
2	5.20
3	5.81
4	6.40
5	6.73
6	7.02
7	7.14
8	7.24
9	7.38
10	7.54
15	8.15
30	8.86
45	9.15
60	9.40
90	9.65
120	9.84
150	10.07
180	10.37
210	10.49
240	10.67
270	10.68
300	10.69
330	10.70
360	10.70
390	10.70
420	10.70
450	10.70
480	10.70

Tiempo (min)	ABATIMIENTO (m)
510	10.70
540	10.70
570	10.70
600	10.70
630	10.70
660	10.70
690	10.70
720	10.70
750	10.70
780	10.70
810	10.70
840	10.70
870	10.70
900	10.70
930	10.70
960	10.70
990	10.70
1020	10.70
1050	10.70
1080	10.70
1110	10.70
1140	10.70
1170	10.70
1200	10.70
1230	10.70
1260	10.70
1290	10.70
1320	10.70
1350	10.70
1380	10.70
1410	10.70
1440	10.70
1470	10.70
1500	10.70
1530	10.70
1560	10.70
1590	10.70
1620	10.70
1650	10.70
1680	10.70
1710	10.70
1740	10.70
1770	10.70
1800	10.70
1830	10.70

Tiempo (min)	ABATIMIENTO (m)
1860	10.70
1890	10.70
1920	10.70
1950	10.70
1980	10.70
2010	10.70
2040	10.70
2070	10.70
2100	10.70
2130	10.70
2160	10.70
2190	10.70
2220	10.70
2250	10.70
2280	10.70
2310	10.70
2340	10.70
2370	10.70
2400	10.70
2430	10.70
2460	10.70
2490	10.70
2520	10.70
2550	10.70
2580	10.70
2610	10.70
2640	10.70
2670	10.70
2700	10.70
2730	10.70
2760	10.70
2790	10.70
2820	10.70
2850	10.70
2880	10.70
2910	10.70
2940	10.70
2970	10.70
3000	10.70
3030	10.70
3060	10.70
3090	10.70
3120	10.70
3150	10.70
3180	10.70
3210	10.70

Tiempo (min)	ABATIMIENTO (m)
3240	10.70
3270	10.70
3300	10.70
3330	10.70
3360	10.70
3390	10.70
3420	10.70
3450	10.70
3480	10.70
3510	10.70
3540	10.70
3570	10.70
3600	10.70
3630	10.70
3660	10.70
3690	10.70
3720	10.70
3750	10.70
3780	10.70
3810	10.70
3840	10.70
3870	10.70
3900	10.70
3930	10.70
3960	10.70
3990	10.70
4020	10.70
4050	10.70
4080	10.70
4110	10.70
4140	10.70
4170	10.70
4200	10.70
4230	10.70
4260	10.70
4290	10.70
4320	10.70

**Anexo 6. Resultados obtenidos modelo HEC-RAS  
(Río Cabobré – Quebrada Q1).**

**Anexo 7. Resultados Análisis de aguas superficiales  
(Río Cabobré).**

## **Anexo 8. Resultados análisis de agua en el Pozo 3.**