

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE UN
SECTOR DE LA CUENCA TECTÓNICA DEL RÍO
GRANDE: COMUNIDAD DE NAMBI DE NICOYA Y SUS
ALREDEDORES.**

**Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa
de Estudios de Posgrado en Geología para optar al grado y título
de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos
Hídricos**

ALLAN GERARDO ALAN MORA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2017

DEDICATORIA

A Dios

A mi Madre y Padre

Ciria Mora Castillo

José María Alan León

A mi esposa:

Mariela Alfaro Salazar

A mi Hijo:

José Armando Alán Alfaro

A mis hermanos:

Miguel, Judith, Jenny, Dunia, Margot, Ily y José María.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me brindó la salud, sabiduría y fuerzas necesarias para poder terminar la presente investigación.

A mi esposa por su valioso apoyo y comprensión en esta etapa de mi vida.

A la Msc. Ingrid Vargas Azofeifa, por creer en esta investigación y brindarme su apoyo incondicional como directora del presente trabajo, excelente guía profesional basada en su experiencia en el campo de la Geología e Hidrogeología.

Al Dr. Marco Barahona Palomo, por el aporte de su gran experiencia y guía profesional en el campo de la hidrogeología.

A la Msc. Catalina Vargas Quesada, por su aporte y experiencia profesional en la corrección y apreciaciones técnicas importantes.

A la Escuela Centroamericana de Geología, por su valiosa cooperación en cuanto a la realización de las pruebas de laboratorio en suelos y el muestreo hidrogeoquímico.

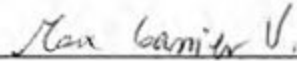
Al Sistema de Estudios de Pos grado de la Universidad de Costa Rica, por su aporte económico en la ejecución de los ensayos de laboratorio, durante los muestreos hidrogeoquímicos de la presente investigación.

Al Geógrafo Juan M. Serrano y al geólogo Roney Alfaro Salazar, por tan importante colaboración profesional durante el levantamiento geológico de campo y el procesamiento geográfico de los datos.

A la comunidad de Nambí de Nicoya y en especial al Señor Fermín Torres Torres, vecino de la comunidad de Nambí y fiel colaborador e intermediario, durante la ejecución de los trabajos de campo.

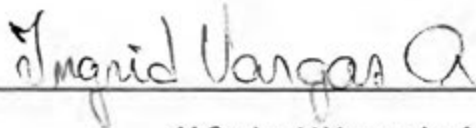
A todas las personas de que una u otra forma colaboraron en la realización de esta investigación.

"Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos".



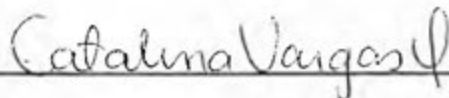
Dr. Maximiliano Garnier Villareal

Representante del Decano del Sistema de Estudios de Posgrado



M.Sc. Ingrid Vargas Azofeifa

Directora de Tesis




M.Sc. Catalina Vargas Quesada

Asesora de Tesis



Dr. Marco Barahona Palomo

Asesor de Tesis



M.Sc. Giovanni Perakdo Huertas

Representante del Director del Programa de Posgrado en Geología



Allan Gerardo Alán Mora

Candidato

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
HOJA DE APROBACIÓN.....	iv
TABLA DE CONTENIDO.....	v
RESUMEN.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xiv
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
3.1 Generalidades.....	1
3.2 Ubicación.....	2
3.3 Justificación.....	4
3.4 Hipótesis.....	5
3.5 Objetivos.....	5
3.5.1 Objetivo General.....	5
3.5.2 Objetivos Específicos.....	5
3.6 Antecedentes.....	6
3.6.1. Geológicos.....	6
3.6.2. Geo-estructurales.....	9
3.6.3. Hidrogeológicos.....	11
4 MARCO METODOLÓGICO.....	13
4.1. Características Geomorfológicas.....	13
4.2 Características geo-estructurales.....	14
4.3 Características geológicas.....	15
4.4. Características Geofísicas.....	16
4.5. Características Hidrológicas.....	18
4.6. Características Hidrogeológicas.....	20
5 MARCO TEÓRICO.....	25
6 RESULTADOS.....	34
6.1 Características geomorfológicas.....	34
6.1.1. Descripción de los patrones de drenaje.....	36
6.1.1.1. Drenaje Rectangular.....	36
6.1.1.2. Drenaje Dendritico.....	36
6.2.1.3. Drenaje Trellis.....	37
6.2.1.4. Drenaje Sub-paralelo.....	37
6.1.2 Densidad de Drenaje.....	38
6.1.3 Distribución espacial de Rasgos Geo-estructurales.....	40

6.1.3.1. Foto-lineamientos Grupo 1	40
6.1.3.2. Foto-lineamientos Grupo 2	40
6.1.3.3. Foto-lineamientos Grupo 3	41
6.1.4 Modelo de elevación Digital y Mapa de pendientes	44
6.1.5 Unidades Hidro-Geomorfológicas	45
6.1.5.1 Unidad hidro-geomorfológica Z1	50
6.1.5.2 Unidad hidro-geomorfológica Z2	50
6.1.5.3 Unidad hidro-geomorfológica Z3	51
6.2 Características geo-estructurales.....	52
6.2.1. Estructuras Paleotectónicas	53
6.2.2. Estructuras Neotectónicas	56
6.2.2.1. Sistema de Fallas Belén	56
6.2.2.2. Falla Ponedero	57
6.2.2.3. Falla los Santos	58
6.2.2.4. Falla Morote	59
6.3 Características Geológicas del área de estudio.....	64
6.3.1. Basaltos del Complejo de Nicoya (JK-CN)	64
6.3.2. Formación Sabana Grande (K-Sg).....	65
6.3.3. Formación Nambi (K-Na).....	66
6.3.4. Formación Piedras Blancas (K-Pb)	67
6.3.5. Formación Cunú (KP-C).....	67
6.3.6. Depósitos coluvio-aluviales.....	68
6.4 Características Geofísicas	71
6.5 Características hidrológicas.....	78
6.5.1. Clima	78
6.5.2. Morfometría de la cuenca	83
6.5.3. Morfología de la cuenca.....	84
6.5.4. Uso del suelo de la cuenca analizada.....	85
6.5.5. Escurrimiento superficial.....	87
6.5.6. Balance Hídrico de la cuenca analizada	91
6.6 Características hidrogeológicas	104
6.6.1. Rasgos Hidrogeológicos de los Basaltos del Complejo Nicoya	105
6.6.2. Rasgos Hidrogeológicos de la Formación Sabana Grande.....	106
6.6.3. Rasgos Hidrogeológicos de las rocas carbonatadas	109
6.6.4. Rasgos Hidrogeológicos de los depósitos coluvio aluviales.....	114
6.6.5. Características hidrogeoquímicas de los acuíferos existentes.....	115
6.6.6. Modelo Hidrogeológico conceptual	122
6.6.7. Mapa del potencial acuífero dentro del Valle Tectónico de Nambi	126
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
7.1 Conclusiones	128
7.2 Recomendaciones.....	131

8.	LIMITACIONES Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	132
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	133
10.	APÉNDICES.....	136

	Documento
Apéndice 1	
Fotografías aéreas utilizadas en el proceso de análisis geomorfológico dentro de la zona estudiada.....	1
Apéndice 2	
Plantilla para la clasificación de macizos rocosos aplicada en campo, Clasificación RMR, tomado de (González, 2002).....	1
Datos de levantamiento de diaclasas en la zona de estudio, dirección de buzamiento de los planos de fracturas.....	2
Apéndice 3	
Sondeos Eléctricos Verticales.....	1
Cuadro de cálculo de los parámetros físicos de la roca a partir de los datos de resistividad.....	2
Apéndice 4	
Resultados de laboratorio de Geotecnia de la Escuela Centroamericana de Geología.....	1
Apéndice 5	
Datos meteorológicos, suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.....	1
Apéndice 6	
Aforos diferenciales de caudal para aguas superficiales, tomados en distintos puntos del área de estudio.....	1
Apéndice 7	
Pruebas de infiltración.....	1
Resultados de laboratorio del PM, CC y densidad aparente de los suelos.....	2
Hojas de cálculo del balance hídrico de suelos para las tres zonas de recarga.....	3
Apéndice 8	
Cuadro resumen de la información hidrogeológica existente (pozos).....	1
Análisis de pruebas de bombeo.....	2
Apéndice 9	
Resultados de pruebas de laboratorio del muestreo geoquímico.....	1
Cuadro Estadístico del muestreo geoquímico.....	2

RESUMEN

El área de estudio se ubica en la comunidad de Nambí de Nicoya, distrito primero Nicoya, Cantón Nicoya, provincia de Guanacaste, dentro de la cuenca alta del río Grande con un área de 26.10 km².

El modelo hidrogeológico conceptual, está constituido por la presencia de 3 acuíferos importantes. El primero corresponde a un acuífero fracturado profundo el cual se infiere ubicado, entre la interface tectónica de las Formaciones Complejo de Nicoya y la Formación Sabana Grande. Es un reservorio de agua subterránea de tipo confinado, el cual aflora como manantiales de tipo surgente (manantiales 3 y 10). El caudal de descarga de este acuífero se encuentra entre los 1.40 a 5.20 litros/seg, la transmisividad del acuífero se estima en 11.23 m²/día, sin descartar valores de transmisividades más altos, con base en la variación del ancho de las zonas de falla. Se desconoce su conductividad hidráulica, debido a que no fue posible establecer el espesor real de la zona saturada. El segundo acuífero existente se encuentra localizado dentro del regolito y/o saprolito desarrollado sobre todas las rocas Cretácicas encontradas, tanto en las partes altas como en las partes bajas de la cuenca analizada. En estas zonas se almacena un acuífero de tipo libre, con caudales de descarga se encuentran entre los 0.16 a 2.00, la transmisividad del acuífero depende en gran medida del espesor de la zona saturada, el cual varía según el grado y profundidad de fracturación de la roca, presenta valores de transmisividad entre los 7.40 a 56.55 m²/día. La conductividad hidráulica del acuífero en el regolito saturado y la zona de fracturación superior de las rocas es de 0.90 m/día, se desconoce la conductividad hidráulica de las zonas fracturadas profundas. El tercer sistema acuífero importante encontrado en la parte alta de la cuenca río Grande, corresponde a un reservorio de agua subterránea contenido en los depósitos Coluvio-aluviales del sector Este de la cuenca. El acuífero Coluvio-aluvial es de tipo libre, los caudales de descarga se encuentran entre los 1.00 a 2.61 litros/seg, mientras que la transmisividad hidráulica se establece entre los 5.83 a 52.00 m²/día, para una conductividad hidráulica promedio de 1.57 m/día. Las características hidrogeoquímicas de los acuíferos encontrados muestran aguas de tipo bicarbonatadas sódicas para el acuífero 1 y bicarbonatadas cálcico magnésicas para los acuíferos 2 y 3.

Palabras claves: acuífero fracturado, cuenca, modelo hidrogeológico conceptual, regolito

LISTA DE CUADROS.

Cuadro 1: Matriz algebraica correspondiente a la suma de los mapas reclasificados de Densidad de Drenaje y Densidad de Fracturación.....	47
Cuadro 2: Matriz algebraica correspondiente a la suma de los mapas reclasificados de Porosidad Relativa y Pendientes del terreno.....	50
Cuadro 3: Resumen de resultados de los SEV obtenidos durante la campaña geofísica.....	72
Cuadro 4: Resultados de aforos diferenciales medidos en distintos puntos de la cuenca.....	89
Cuadro 5: Resultados del coeficiente Fc de infiltración obtenido en campo.....	93
Cuadro 6: Resultados de laboratorio sobre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez (PM).....	95
Cuadro 7: Resultados del análisis geotécnico y la determinación de la textura del suelo.....	96
Cuadro 8: Pesos asignados al uso del suelo.....	97
Cuadro 9: Pesos asignados a las pendientes del terreno.....	97
Cuadro 10: Pesos asignados a la textura del suelo.....	97
Cuadro 11: Resumen de resultados del Balance Hídrico de Suelos.....	102
Cuadro 12: Parámetro de transmisividad obtenido en los análisis de pruebas de bombeo en los pozos de la zona.....	110
Cuadro 13: Resumen de parámetros hidráulicos para los acuíferos existentes dentro de la zona de estudio.....	115
Cuadro 14: Resumen del contenido de iones mayores en las aguas subterráneas encontradas.....	118

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio.	3
Figura 2. Mapa Geológico Regional.....	8
Figura 3. Columna Crono-estratigráfica Regional de la zona de estudio.....	8
Figura 4. Mapa Geoestructural Regional.....	10
Figura 5. Parte del mapa hidrogeológico de la península de Nicoya.....	12
Figura 6. Esquema gráfico de la distribución geométrica del arreglo Schlumberger para el SEV.....	17
Figura 7. Esquema de construcción del Balance Hídrico de Suelos.....	20
Figura 8. Esquema del Marco Metodológico.....	24
Figura 9. Esquema tridimensional de una formación rocosa fisurada y detalle de un perfil vertical típico. El regolito de alteración superficial forma un acuífero libre, que es permeable por porosidad intergranular.....	26
Figura 10. Esquema de acuífero fracturado con grietas interconectadas que conforma un nivel freático virtual.....	28
Figura 11. Muestra un esquema de un acuífero fracturado con discontinuidades interconectadas orientadas en dirección de la zona de recarga-descarga.	28
Figura 12. Formulaciones matemáticas tomadas de (Angelone et al., 2006), Ecuación de Darcy.	29
Figura 13. Ecuación de Reynolds, tomado de (Angelone et al., 2006).....	29
Figura 14. Gráfico de clasificación regional de la transmisividad en rocas fracturadas, con base al índice de transmisividad (y).....	33
Figura 15. Esquema para generar el mapa de unidades hidro-geomorfológicas, mediante el álgebra de mapas.....	35
Figura 16. Mapa de tipos de patrones de drenaje.	37
Figura 17. Mapa de iso-líneas de densidades de drenaje en km/km^2 de la cuenca analizada.....	38
Figura 18. Mapa de distribución de zonas de densidad de drenaje.....	39
Figura 19. Mapa de foto-lineamientos y rasgos estructurales de la zona.....	42
Figura 20. Mapa de distribución de zonas por densidad de Fracturación, en base a foto-lineamientos y fracturas geológicas.....	43
Figura 21. Modelo de Elevación Digital de la cuenca alta del río Grande.	44
Figura 22. Mapa de distribución de pendientes de la cuenca alta del río Grande.....	45

Figura 23. Mapa de densidades de drenajes según porosidad relativa de la roca. Escala según cuadrícula geográfica cada 1000 m.	46
Figura 24. Mapa de porosidades relativas de las rocas.....	47
Figura 25. Mapa de reclasificación de las pendientes.....	49
Figura 26. Mapa de Unidades Hidro-geomorfológicas.....	52
Figura 27. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla La Tranquera.	53
Figura 28. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Barrio Cuba.	54
Figura 29. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Cordón.	55
Figura 30. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Belén.	57
Figura 31. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Ponedero.	58
Figura 32. Mapa de ubicación de las rosas asimétricas del análisis estructural realizado.....	61
Figura 33. Ubicación de las redes estereográficas de Schmidt.	62
Figura 34. Modelo Geoestructural conceptual de la zona.....	63
Figura 35. Mapa geológico Conceptual del área de estudio.....	70
Figura 36. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales.....	71
Figura 37. Ubicación de la seudosección eléctrica A-B, entre sondeos eléctricos 1, 2 y 4. Puntos azules pozos de agua subterránea, rombos rojos nacientes o manantiales.....	73
Figura 38. Seudosección eléctrica entre Sondeos Eléctricos Verticales 1, 2, 4.	74
Figura 39. Ubicación de la seudosección eléctrica C-D, entre sondeos eléctricos 6, 7 y 8.....	75
Figura 40. Seudosección eléctrica entre Sondeos Eléctricos Verticales 6,7 y 8.....	75
Figura 41. Ubicación de la zona de fractura de la Falla La Tranquera.....	77
Figura 42. Mapa de distribución climática regional.....	80
Figura 43. Mapa de distribución del uso del suelo dentro de la cuenca analizada.....	87
Figura 44. Mapa de ubicación de las microcuencas analizadas y la ubicación de los puntos de aforos diferenciales	88
Figura 45. Mapa de iso-valores de (q) vrs iso-valores del nivel estático, en color morado zonas de cauces influentes.	91
Figura 46. Esquema para la elaboración del mapa de iso-valores de recarga acuífera mediante la utilización del algebra de mapas, cuenca alta del río Grande.	92
Figura 47. Mapa de ubicación de las diferentes pruebas de infiltración ejecutadas en campo. La abreviatura (infil) se refiere a la prueba de infiltración.	93
Figura 48. Mapa de ubicación de muestreo de suelos para la determinación de la capacidad de campo y el punto de marchites de los suelos existentes.....	94
Figura 49. Mapa de ubicación de muestreos geotécnicos, para la determinación de la textura del suelo.	96
Figura 50. Mapa de usos del suelo reclasificado.....	98

Figura 51. Mapa de pendientes reclasificado.....	99
Figura 52. Mapa de texturas del suelo reclasificado.....	99
Figura 53. Mapa de Zonas de Recargas Potenciales de aguas subterráneas, Zona 1, Zona 2 y Zona 3	100
Figura 54. Mapa de iso-potencial de Recarga Acuífera en ($m^3/$ año), dentro de la cuenca del Río Grande.....	103
Figura 55. Mapa de Ubicación de pozos, manantiales y sondeos eléctricos verticales.	105
Figura 56. Gráfico de clasificación regional de la transmisividad en rocas fracturadas, con base al índice de transmisividad (γ). Tomado de Krásný & Sharp (2003, Fig.3). Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo, dentro de las unidades hidrogeológicas carbonatadas.....	112
Figura 57. Bloque diagrama, muestra el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero contenido en la unidad hidrogeológica de rocas carbonatadas.....	113
Figura 58. Diagrama de Piper para los resultados de muestreos de aguas subterráneas existentes.....	116
Figura 59. Ubicación del muestreo hidrogeoquímico, con relación a las estructuras geológicas.....	117
Figura 60. Modelo Hidrogeológico conceptual de la zona de estudio en dos dimensiones.....	124
Figura 61. Modelo Hidrogeológico conceptual sobre la dirección de movimiento del agua subterránea en las zonas de Falla.	125
Figura 62. Potencial Hidrogeológico del Valle Tectónico de Nambí, Nicoya, Guanacaste.....	127

LISTA DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Datos de precipitación Estación Nicoya Extensión Agrícola.....	81
Gráfico 2. Distribución mensual de la temperatura en grados centígrados.....	81
Gráfico 3. Distribución mensual del brillo solar en porcentaje de horas sol.....	82
Gráfico 4. Evapotranspiración Potencial de la zona en mm/mes.....	83
Gráfico 5. Curva Hipsométrica y de frecuencia de altitudes Cuenca alta del Río Grande.....	84
Gráfico 6. Distribución porcentual del uso del suelo en la cuenca analizada.....	86

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografías 1 y 2. Muestran el marco de madera desarmable donde se colgó la bomba tipo Jet para la ejecución de las pruebas de bombeo en pozos de alto diámetro.....	22
Fotografías 3 y 4. Muestran parte de la herramienta e indumentaria utilizada para la ejecución de las pruebas de bombeo en pozos de alto diámetro de la zona.....	23
Fotografías 5 y 6. Muestra el sitio conocido como Barrio Cuba (19-7-012-2), donde afloran materiales de la FM. Curú, los cuales son cortados por una Falla Paleotectónica de tipo dextral.....	54
Fotografías 7 y 8. Muestra el sitio de afloramiento (19-7-012-3), donde afloran materiales de la FM. Sabana Grande, cortados por la Falla Cerdón.....	55
Fotografías 9 y 10. Muestra el sitio de afloramiento (10-5-012-1), donde afloran materiales de la FM. Nambí, cortados por la Falla Belén.....	56
Fotografías 11 y 12. Muestra el sitio de afloramiento (10-5-012-3), donde afloran materiales de la FM. Sabana Grande, cortados por la Falla Ponedero.....	57
Fotografías 13 y 14. Muestra el sitio de afloramiento de la falla Los Santos (Chi-2-31-1-012) cortando rocas de la FM. Sabana Grande, en este punto existe un manantial o brote de agua....	59
Fotografías 15 y 16. Muestra el sitio de afloramiento sobre la calle de la Tranquera (coordenadas 372420E-244680N), se muestra la secuencia sedimentaria de la FM. Nambí, basculada en sentido NE.....	60
Fotografías 17 y 18. Muestran las estructuras en almohadilla de los basaltos del Complejo Nicoya encontrados entre las coordenadas 371011E-241414N.....	64
Fotografías 19 y 20. Muestran afloramientos rocosos de la Formación Sabana Grande.....	65
Fotografías 21 y 22. Muestran restos fósiles de Inoceramus dentro de la Formación Nambí, afloramiento ubicado en las vueltas de Nambí.....	66
Fotografías 23 y 24. Muestran topografías de lomas típicas de la subunidad de areniscas superior de la FM. Nambí y roca fresca de las areniscas.....	67
Fotografías 25 y 26. Muestran un afloramiento de areniscas grises con estratificación métrica de la Formación Curú, límite SE de la cuenca analizada.....	68
Fotografías 27 y 28. Muestran afloramientos de los depósitos coluvio aluviales al pie del cerro los Santos.....	69
Fotografías 29 y 30. Se muestra la zona de fracturación que le da origen al manantial 3 y la salida de agua por medio de la fractura en el manantial 3. Fotografías tomadas en Febrero del 2012..	107

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS.

Siglas

ASADAS: Asociaciones Administrativas de Acueductos Comunitarios

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

IGN: Instituto Geográfico Nacional

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo

INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria

SENARA: Servicio Nacional de Riego y Avenamiento

Abreviaturas

CC: Capacidad de Campo

Ci: Coeficiente de infiltración del suelo

Ds: Densidad del suelo

ESC: Escorrentía superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial Total

ETPR: Evapotranspiración Potencial

Fc: Coeficiente de infiltración básica del suelo

FM: Formación geológica

GOD: Groundwater hydraulic confinement Overlaying strata Deph to grounwater table

HSF: Humedad final del suelo

HSi: Humedad inicial del suelo

Infil: prueba de infiltración

Kfc: Coeficiente de infiltración por textura de suelo

Kp: Coeficiente de fracción que infiltra por efecto de pendiente

Kv: Coeficiente de fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal

m.b.n.s: metros bajo el nivel del suelo

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

Pi: Precipitación que infiltra

PM: Punto de Marchitez

q: Coeficiente de Gasto Unitario

QH: Microcuenca de la Quebrada Honda

QP1: Microcuenca de la Quebrada Ponedero 1

QP2: Microcuenca de la Quebrada Ponedero 2
Ret: Fracción de lluvia interceptada por el follaje
RG1: Microcuenca del Río Grande 1
RG2: Microcuenca del Río Grande 2
RG3: Microcuenca del Río Grande 3
RP: Recarga Potencial
Rs: Resistividad de la roca saturada
Rt: Resistividad transversal de la roca
Rw: Resistividad del agua
SEV: Sondeo Eléctrico Vertical
SEV's: Sondeos Eléctricos Verticales

"... La ciencia es un esfuerzo de colaboración. Los resultados combinados de varias personas que trabajan juntas es a menudo mucho más eficaz de lo que podría ser el de un científico que trabaja solo".

(1908-1991) John Bardeen Ingeniero Eléctrico y Físico.

INTRODUCCIÓN

3.1 Generalidades

Esta investigación propone un modelo hidrogeológico conceptual del valle tectónico cuenca alta del Río Grande, comunidad de Nambí de Nicoya, Guanacaste, relacionando la influencia que ejercen las estructuras geológicas como fallas, diaclasas y pliegues en la distribución, almacenamiento y flujo del agua subterránea dentro de las rocas cretácicas existentes dentro del área de estudio. El propósito fundamental de la investigación fue, identificar el potencial hidrogeológico del área estudiada, con el fin de que el recurso hídrico subterráneo de la zona sea utilizado como fuente de abastecimiento público y logre así, hacerle frente a la fuerte demanda del recurso agua para la comunidad de Nambí y otras comunidades cercanas, que presentan un crecimiento poblacional importante.

En la actualidad la comunidad de Nambí se abastece del agua suministrada por Acueductos y Alcantarillados (AyA), dicho recurso es traído desde la comunidad de Nicoya centro, a unos 18 km de distancia hacia el sureste del valle de Nambí, desde el acueducto del río Potrero, el cual se encuentra a unos 10 km del poblado de Nicoya. Con relación a este acueducto administrado por el AyA Sing (2009), estableció que la demanda de agua potable para el consumo humano de la comunidad de Nicoya centro era de 88.87 litros/segundo, mientras que el AyA estaba suministrando apenas una cantidad de 52.67 litros/segundo para un déficit de abastecimiento del recurso agua de 36.20 litros/segundo. Esta situación refleja el faltante del recurso hídrico en la zona para suplir la demanda creciente, tanto para los habitantes de la comunidad de Nicoya centro como para los habitantes de la comunidad de Nambí.

La comunidad de Nambí de Nicoya, pertenece al distrito primero Nicoya, provincia de Guanacaste, el cual según el INEC (2015) posee una densidad poblacional de 79.83 habitantes/Km²; el área estudiada es de 26.11 km² y se estima por tanto una cantidad poblacional de 2084.00 habitantes que tienen una demanda del recurso hídrico general estimada en 521,000.00 litro/día (6.03 litros/seg).

Gran parte de la península de Guanacaste, carece de zonas que almacenen cantidades importantes de agua subterránea debido principalmente a factores como: la poca precipitación, la escasa existencia y distribución de depósitos aluviales y coluviales que permitan el almacenamiento, la alta distribución de rocas ígneas como basaltos e intrusivos del complejo de Nicoya y rocas sedimentarias Cretácicas que limitan el almacenamiento del agua subterránea. Por tanto la relación entre las condiciones geo-estructurales y el

almacenamiento del agua subterránea en la zona, fue de suma importancia para identificar áreas que pudieran generar la cantidad de agua suficiente para abastecer a la comunidad de Nambí.

Paralelamente se pretendió con esta investigación contribuir con un instrumento más, en la orientación y elaboración de estudios hidrogeológicos orientados a investigar zonas donde el almacenamiento del agua subterránea está dominado por las estructuras geológicas como fallas y pliegues (acuíferos fracturados) comunes en la zona de Guanacaste y otras partes del territorio nacional.

La información generada será un instrumento para las instituciones del estado, que tienen que ver de una u otra forma con la gestión del recurso hídrico en la zona de Nicoya y lugares circunvecinos, instituciones tales como el AyA, Asociaciones Administradoras de Acueductos Comunitarios (ASADAS) y el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA), Municipalidades entre otros, que tienen que dotar de agua a comunidades localizadas en zonas con presencia de acuíferos fracturados, o zonas con bajo potencial hídrico como la comunidad de Nambí.

3.2 Ubicación

Geográficamente el área de estudio se localiza en la parte alta de la cuenca del Río Grande entre las comunidades de Nambí y Sabana Grande de Nicoya, comprende un área total de 26.11 Km² entre las coordenadas Lamber Norte 368000 E – 240000 N y 376000E – 246000N, hojas cartográficas Diría y Talolinga del IGN a escala 1: 50000 (Figura 1). La Ubicación político administrativa comprende el Distrito primero Nicoya, Cantón Nicoya provincia de Guanacaste.

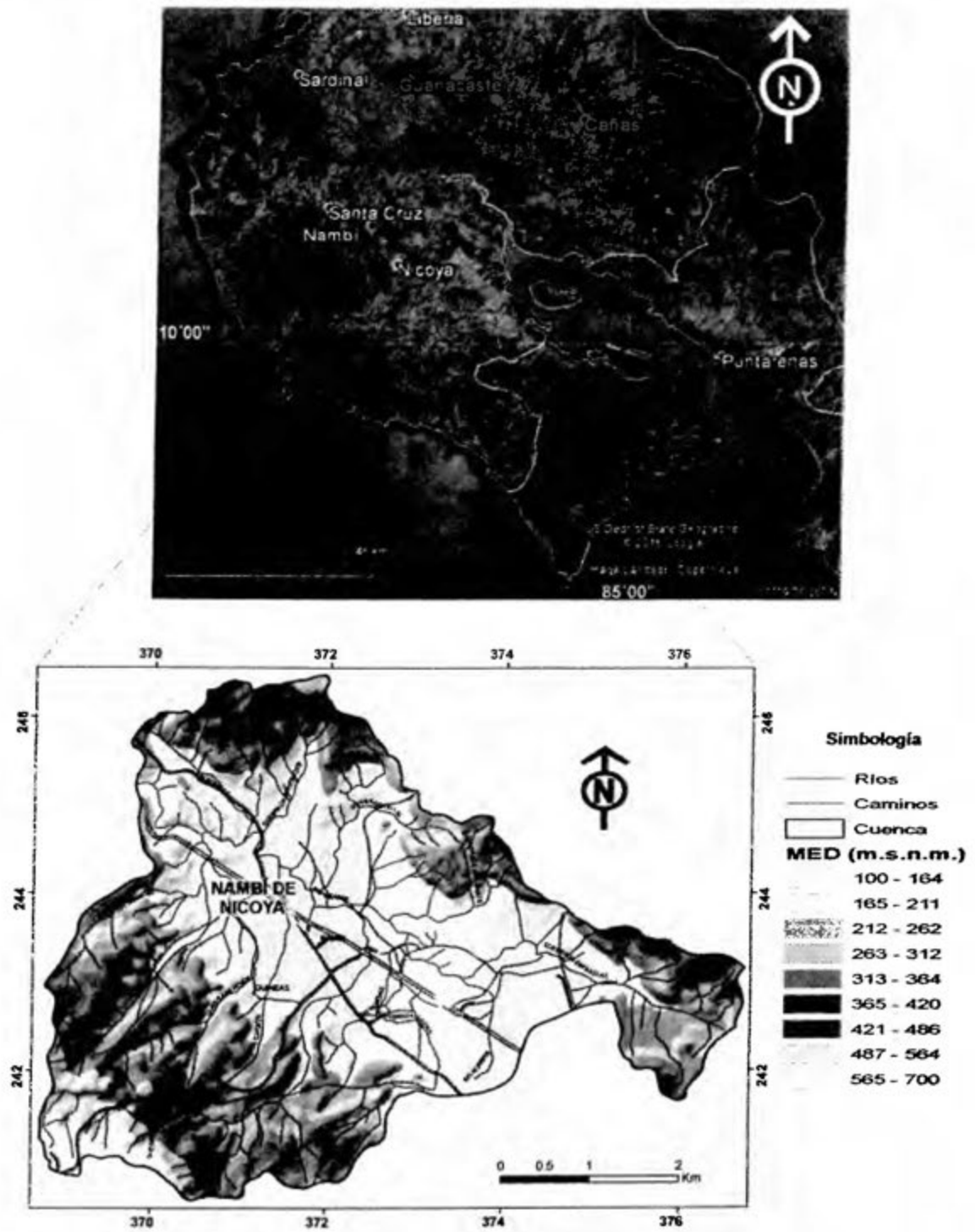


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Tomado y modificado de las Hojas Topográficas Tablinga 3146 IV y Diría 3046 I

3.3 Justificación

Gran parte del territorio de la provincia de Guanacaste tiene un clima predominantemente seco, y presenta formaciones geológicas de tipo rocoso poco permeables; SENARA (2002) menciona que las formaciones rocosas Cretácicas limitan la posibilidad de almacenamiento del agua subterránea en la zona. Aunado a estos factores, tenemos el crecimiento demográfico de la región, con base en datos del censo poblacional del 2008 INEC (2008), el distrito de Nicoya donde se encuentra ubicada la comunidad de Nambí, poseía para ese año, una densidad poblacional de 77.80 habitante/km², esta densidad se incrementó durante el 2011 a 79.83 habitantes/km², según, INEC (2015), dicho factor de crecimiento poblacional, conlleva paralelamente a una demanda cada vez más grande en el consumo del recurso hídrico.

Por la complejidad geológica de la zona, se necesita de la elaboración de investigaciones científico-técnicas específicas en el campo de la hidrogeología y geología estructural, para determinar las zonas de almacenamiento del agua subterránea, con el propósito de suplir la creciente demanda del recurso agua en la zona.

La comunidad de Nambí de Nicoya, como muchas de las localidades rurales de Guanacaste, ha carecido a través de su historia de fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico, consumo humano, agrícola e industrial, limitando con esto el crecimiento económico de la zona. Antes de la década de 1990, los habitantes de Nambí se abastecían por medio de una ASADA, la cual proveía la demanda de agua existente en ese momento. Así mismo, en la mayor parte de las casas existían pozos artesanales cuya agua era utilizada para el consumo humano, ganadero y agrícola de la zona. Posteriormente, después de la década de 1990, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA) pasa a suplir la demanda del recurso hídrico de la comunidad, y traslada el agua desde Nicoya a una distancia de más de 18 km, con las limitaciones que esto conlleva, debido a que el agua que le es suministrada a la comunidad de Nambí proviene de zonas muy alejadas y forma parte de la misma red, que le da el suministro de agua a comunidades grandes como Nicoya centro con una densidad poblacional importante.

Con base en la investigación bibliográfica realizada, se observó un faltante importante en investigaciones técnicas orientadas a identificar acuíferos en zonas fracturadas dentro de la provincia de Guanacaste, esto ha provocado, que las instituciones del estado que tienen que suplir el recurso hídrico a comunidades que se encuentran en zonas de bajo potencial hidrogeológico, tengan que trasvasar agua de zonas alejadas con grandes costos de inversión, en traslado y distribución del recurso hídrico, a zonas donde el potencial acuífero

es limitado. Por lo tanto, esta investigación pretendió primordialmente, generar la información técnica necesaria para determinar áreas con potencial importante para el almacenamiento de agua subterránea dentro de las rocas fracturadas existentes, con el fin de abastecer del recurso hídrico a la comunidad de Nambí de Nicoya y comunidades circunvecinas.

Así mismo, esta investigación pretende brindar recomendaciones para permitir una explotación racional del recurso hidrogeológico en el área de estudio, y generar herramientas técnicas para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico subterráneo como tal. Todo esto con el fin de lograr una mejor planificación en cuanto al desarrollo de actividades antrópicas en esta parte de la Cuenca de Río Grande, donde hasta el momento no existen planes reguladores ni estudios hidrogeológicos específicos que puedan determinar el potencial hidrogeológico de las rocas existentes.

3.4 Hipótesis

El almacenamiento y distribución del agua subterránea en la parte alta de la cuenca del río Grande está influenciado por las estructuras geológicas como fallas, diaclasas y pliegues presentes en la zona de estudio.

3.5 Objetivos

3.5.1 Objetivo General

Analizar el potencial acuífero desde un enfoque geológico, considerando rasgos estructurales en la parte alta de la cuenca tectónica del río Grande, dentro de la comunidad de Nambí de Nicoya y sus alrededores para ser utilizado como fuente de abastecimiento de agua subterránea en la zona.

3.5.2 Objetivos Específicos

- Establecer la influencia de las estructuras geológicas en el almacenamiento y el flujo del agua subterránea dentro del área estudiada para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual.
- Determinar la recarga acuífera potencial en la zona de estudio a partir de la construcción de un balance hídrico de suelos para la extracción del agua subterránea.
- Determinar la calidad del agua subterránea en la zona para su uso en distintas actividades humanas, tanto de la población de Nambí de Nicoya y lugares circunvecinos.

3.6 Antecedentes

3.6.1. Geológicos

La zona de estudio se encuentra dentro de la península de Nicoya, donde se han realizado investigaciones geológicas orientadas básicamente al cartografiado geológico. En dichas investigaciones, se han definido las formaciones rocosas aflorantes dentro de la cuenca analizada, la más antigua corresponde al Complejo de Nicoya, denominado así por los geólogos de la campaña petrolera de Costa Rica, al referirse a las rocas más viejas de la Península de Nicoya (Dengo, 1962). El primero en mencionarlo fue Sapper (en: Dengo, 1962), al hablar de las cuarcitas con jaspe y piedra eruptiva verde. Romanes (en: Dengo, 1962) describe las rocas del Complejo, Macdonald (en: Denyer, 2010) describió los basaltos del Complejo y los denominó lavas de la Península de Nicoya. Sears (en: Dengo, 1962), señaló la complejidad estructural y los fenómenos de alteración secundaria de estas rocas.

Según Flores (2003) dentro del área de estudio el Complejo de Nicoya está representado por basaltos y brechas, los basaltos están relacionados con aglomerados e intrusiones de diabasas, gabros y dioritas, con cloritización de los basaltos a lo largo de los planos de cizalle (Dengo, 1962).

Dentro de la propuesta crono estratigráfica de Flores (2003) el Complejo de Nicoya se encuentra entre el Aptiano y Cenomaniano del Cretácico. Seguidamente en contacto discordante y tectónico se encuentran materiales de orígenes sedimentarios pelágicos silíceos y carbonatados, conocidos como la Formación Sabana Grande de edad Cenomaniano – Turoniano (*ibid*).

Posteriormente, sobreyaciendo la Formación Sabana Grande tenemos en contacto transicional a la Formación Nambí, propuesta por Flores (2003) la cual corresponde con sedimentos turbidíticos carbonatados que se intercalan entre los sedimentos pelágicos y hemipelágicos de las Formación Sabana Grande y Piedras Blancas. De acuerdo con este autor, cronológicamente estas rocas sedimentarias tienen una edad que va del Coniaciano a mitad del Campaniano según dataciones isotópicas (Flores, 2003).

En contacto transicional sobreyaciendo a la Formación Nambí, tenemos la Formación Piedras Blancas anteriormente conocida como calizas de la Formación Rivas, unidad Cuajiniquil y Formación calizas Pelágicas Golfito (*ibid*). Corresponden con sedimentos hemipelágicos ricos en globotruncanas del Cretácico Superior, que representan un horizonte

correlacionable a nivel mundial producto de uno de los eventos oceánicos óxicos (OOEs), ocurrido en el Mar de Tethys.

Según dataciones micropaleontológicas la Formación Piedras Blancas, presenta una edad entre el Campaniano medio a Mastrichtiano Inferior (*ibid*). Posteriormente en un hiato sedimentario sobreyaciendo a la Formación Piedras Blancas, se encuentra la Formación Curú la cual representa una secuencia de 20 a 50 m, compuesta por estratos métricos a centimétricos de areniscas medias a gruesas grises, con lentes de conglomerados con clastos redondeados de basaltos, pedernales, radiolaritas, lutitas silíceas y clastos angulares de calcilitas rosadas y blancas (*ibid*). Por correlación estratigráfica se le asigna una edad del Mastrichtiano Superior (Flores, 2003).

Denyer (2010) con base a dataciones radio isotópicas de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, realizadas por otros autores, menciona que los datos isotópicos dan como resultado un rango de formación de las rocas ígneas del Complejo de Nicoya entre 139 Ma a 83 Ma. De tal forma que se puede pensar que estos rangos de edad representan los pulsos de emisión de material ígneo (*ibid*). La coincidencia de edades entre 95 Ma y 83 Ma (basaltos, intrusivos y plagiogranitos) se puede relacionar con la formación del CLIP (Caribbean Large Igneous Province), mientras que las edades más antiguas (139-110) se pueden asociar a la historia más antigua del CLIP, los primeros pulsos de este gran evento magmático. En las Figuras 2 y 3 se muestra un mapa geológico regional y una columna crono-estratigráfica de las formaciones geológicas mencionadas.

Recientemente Denyer et al., (2014) publicó el mapa geológico de las hojas Talolinga y Diría a escala 1:50 000, estos mapas, formaron parte de la base cartográfica regional de la presente investigación, principalmente para la correlación de las unidades geológicas encontradas en campo y su distribución espacial dentro de la zona de estudio.

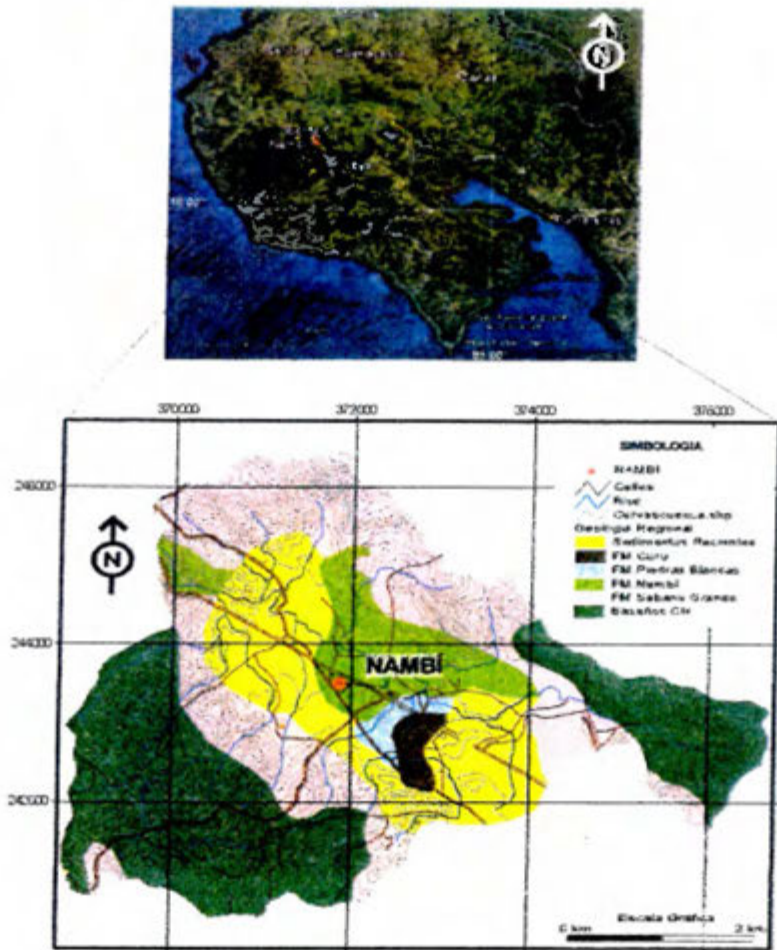


Figura 2. Mapa Geológico Regional.

Tomado y modificado del mapa Geológico de Costa Rica Denyer & Alvarado (2007).

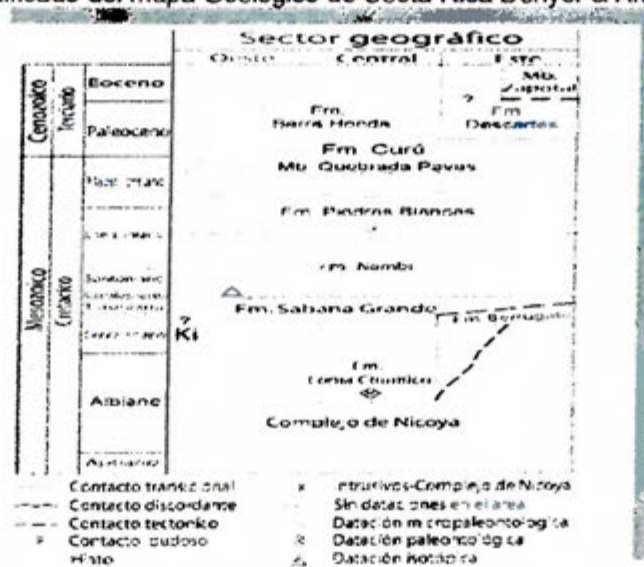


Figura 3. Columna Crono-estratigráfica Regional de la zona de estudio.

Tomado de Flores (2003).

3.6.2. Geo-estructurales

Dentro del campo geoestructural en la península de Nicoya para la década de los ochenta, el trabajo más sobresaliente lo realiza Gurky (1988), donde menciona que la península de Nicoya ha sido sometida a 4 grandes deformaciones o compresiones, la primera D_1 más antigua de edad post-Albiano y pre-Campaniano que afectó al Complejo inferior de Nicoya y a las radiolaritas de la Formación Punta Conchal con una compresión en sentido WNE-ESE, la segunda D_2 de edad Campaniano con una compresión en sentido NE-SW, la tercera D_3 de edad Eoceno con una dirección NW-SE y la última D_4 de edad Mioceno en sentido NE-SW.

Montero & Denyer (2011) definen neo-tectónicamente que la zona donde se encuentra la cuenca analizada, está influenciada por el Dominio Traslacional de la Región Central-Septentrional de la Península de Nicoya (Figura 4), donde predomina un comportamiento traslacional compresivo entre las fallas dextrales Belén-Caimital. Los diferentes bloques del subdominio traslacional-compresional y sus desplazamientos sugeridos, son explicadas por los esfuerzos horizontales compresivos de rumbo NE (Montero & Denyer, 2011).

3.6.3. Hidrogeológicos

En cuanto al campo de la investigación hidrogeológica, en la zona de estudio no se han realizado investigaciones a nivel local, solo se han ejecutado estudios a nivel regional. Por lo general en la región de Guanacaste, los estudios de carácter local se han realizado sobre depósitos Cuaternarios de naturaleza coluvio aluvial y acuíferos costeros, donde se menciona a las formaciones geológicas del Cretácico antes detalladas, como una sola unidad hidrogeológica, denominada en los estudios como Complejo de Nicoya (SENARA, 1982). El SENARA en el año 2002, publica en digital una actualización del mapa hidrogeológico de la Península de Guanacaste, donde el área de estudio aparece como una zona cubierta por coluvios de potencial hidrogeológico medio a alto, y rocas Cretácicas con potencial hidrogeológico prácticamente ausente (Figura 5).

Por otra parte, estudios hidrogeológicos realizados en la parte costera de Guanacaste, describen las rocas Cretácicas como zonas de aporte lateral a los acuíferos coluvio-aluviales de mayor potencial. Tristán (2005) menciona entre otras características hidrogeológicas de las rocas del Complejo de Nicoya, que presentan suelos limo arcillosos con permeabilidades de 0.51 m/día, capacidad de campo de 30.11%, punto de marchitez promedio de 17.84%, para un aporte de recarga lateral al acuífero aluvial costero del Coco del 7.49% de la precipitación media anual.

Pérez & Agudelo (2005), en un estudio hidrogeológico realizado en la parte alta de la cuenca del Río Nimboyores en Cartagena Guanacaste, presenta una descripción hidrogeológica de las rocas del Complejo de Nicoya, como materiales que aportan una recarga lateral al acuífero Nimboyores del 4.14% de la precipitación media anual. Arias (2008), aplicando métodos geofísicos como tomografías eléctricas, electromagnetismo en el dominio del tiempo y la frecuencia, en la zona de Playa Samara y Buena Vista, logra correlacionar las estructuras geológicas con la dirección y almacenamiento del agua subterránea, concluyendo lo siguiente: *"El efecto del tectonismo en la localidad de Sámara es de gran importancia desde un punto de vista hidrogeológico pues el buzamiento, plegamiento, y fracturamiento de las rocas condicionan la descarga del agua subterránea y el posible aporte de recarga lateral"* (Ibid).

A nivel mundial se han realizado diversos estudios hidrogeológicos en zonas donde la acumulación y distribución del agua subterránea se encuentra dominada por la estructura geológica, Krásný & Sharp (2003) mencionan, que en los acuíferos fracturados, las zonas

de fracturación medias y profundas que por lo general llegan a alcanzar hasta cientos de metros de profundidad presentan las mejores condiciones acuíferas, las cuales varían en su potencial dependiendo de el tipo de fracturación, litología y facies de las rocas

Sobre el grado de vulnerabilidad para un acuífero fisurado Xavier et al. (2002), menciona que los sistemas acuíferos fisurados son elementos altamente susceptibles a ser adversamente afectados por las actividades humanas. Cardenal et al. (1994), mencionan que la heterogeneidad litológica de los materiales que constituyen un acuífero fisurado condicionan una amplia variedad de facies hidrogeoquímicas. Las aguas menos mineralizadas están representadas por facies bicarbonatadas y cálcico-magnésicas, resultado de la disolución del material carbonatado de formaciones geológicas carbonatadas (Cardenal et al., 1994)

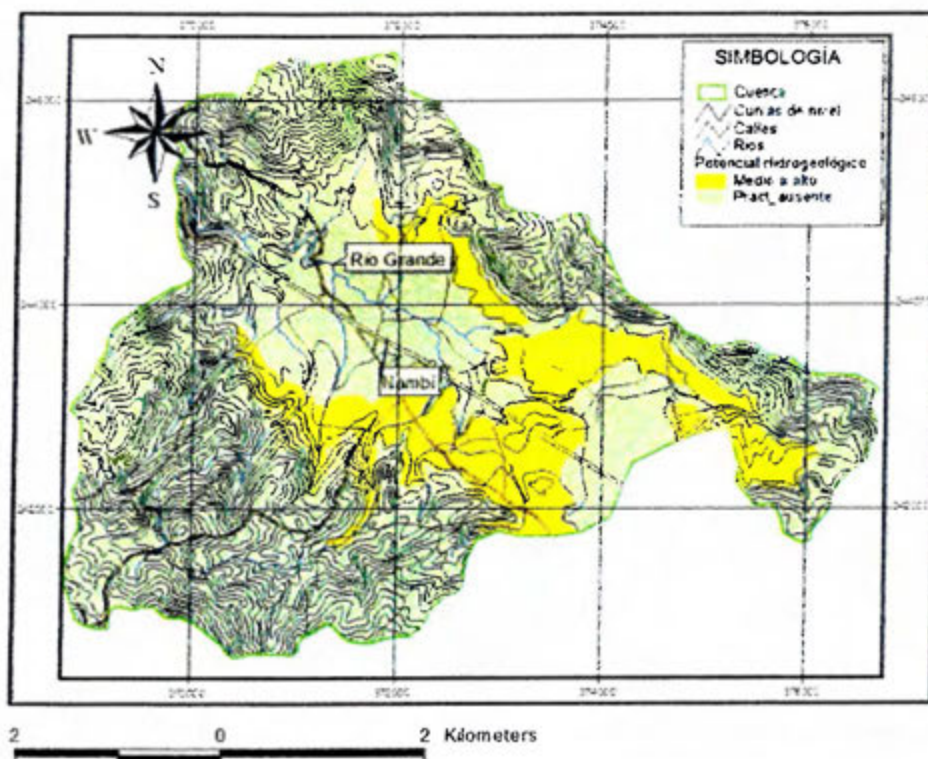


Figura 5. Parte del mapa hidrogeológico de la península de Nicoya.

Tomado y modificado de SENARA (2002).

Banks et al, (2009) establece tres modelos sobre el aporte de los acuíferos fracturados hacia los flujos de aguas superficiales (río o quebradas). El primer modelo, considera un movimiento del agua subterránea de tipo cuchara hacia los canales de escorrentía superficial, donde el flujo del agua subterránea dentro del Saprolito y las zonas fracturadas

inferiores, se mueve de forma homogénea. El segundo modelo, establece un movimiento del agua subterránea solo por la parte saprolítica de la formación rocosa, o sea que la recarga del acuífero hacia los canales de escorrentía superficial se da solo por el aporte lateral del agua contenida en el saprolito, considerando impermeable la zona inferior (basamento). El tercer modelo considera una mezcla de las aguas subterráneas, tanto las contenidas dentro del saprolito como las contenidas en el acuífero fracturado de zonas más profundas hacia los canales de escorrentía superficial.

A nivel local los estudios técnicos sobre la cuenca del Río Grande desde el punto de vista hidrogeológico son escasos si no inexistentes, por lo tanto, debido a la naturaleza de esta investigación, se considera este estudio, importante para el área prospectada y también para el resto de la zona de Guanacaste, donde predominan acuíferos de tipo fracturados en rocas del Complejo Nicoya y secuencias sedimentarias fracturadas del Cretácico similares a las aquí evaluadas.

El recurso hídrico representa la base fundamental del desarrollo para cualquier tipo de actividad humana, por lo que su manejo y aprovechamiento, tienen implicaciones socioeconómicas muy importantes para una región como la Península de Guanacaste.

4 MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de esta investigación fue de tipo mixto e interdisciplinario, se combinó metodologías cualitativas y cuantitativas, así como técnicas propias de los estudios hidrogeológicos, orientados a generar modelos conceptuales que combinan diferentes saberes en el análisis de los fenómenos estudiados.

Debido a que la zona estudiada presenta acuíferos contenidos en rocas fracturadas, se propuso por parte del autor, una metodología de investigación constituida por 6 variables importantes entre ellas: características geomorfológicas, geológicas, geo-estructurales, geofísicas, hidrológicas e hidrogeológicas, dichas características generaron 22 categorías y 23 elementos principales. A continuación se presenta una descripción detallada de cada una de las variables, sus categorías, elementos, materiales e instrumentaciones utilizadas en esta investigación.

4.1. Características Geomorfológicas

Definición conceptual: Schumm (en: Gutiérrez, 2008) define a la geomorfología como *“la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de*

las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos implicando los sólidos líquidos y Gaseosos".

Definición operacional: corresponde a la determinación de las formas del terreno mediante el análisis de fotografías aéreas, y planos de curvas de nivel con el objetivo primordial de localizar estructuras geológicas en la zona de estudio.

Categorías

Para esta variable las categorías que se trabajaron son las siguientes:

1. Patrones de drenaje
2. La Distribución espacial de rasgos estructurales
3. Las Unidades geomorfológicas.

Elementos

Los elementos o tipos para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 1, tipos de drenajes: dendríticos, paralelos, sub-paralelos y otros.

Categoría 2, presencia de formas del terreno tales como: facetas triangulares, cillas de falla, formas de copa de vino, desplazamientos de cauces.

Categoría 3, definición de unidades geomorfológicas con base a las categorías 4 y 5.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la descripción de esta variable corresponden a: fotografías aéreas a escala 1:40 000, papel transparente de filmina, marcadores permanentes.

La instrumentación consistió básicamente en la observación directa de las fotografías aéreas y la posterior comprobación de campo, donde se utilizan los instrumentos tales como: el estereoscopio, la computadora y los softwares correspondientes para el procesamiento final de los datos. Los softwares consisten básicamente en la utilización de sistemas de información geográfica de uso libre.

4.2 Características geo-estructurales

Definición conceptual: para este trabajo, la geología estructural se define como el estudio de las estructuras geológicas como pliegues y fallas, producto de las deformaciones ocurridas por los movimientos tectónicos de la corteza terrestre y el manto superior.

Definición operacional: corresponde a la localización, descripción y determinación de las estructuras geológicas existentes dentro del área de estudio y sus alrededores.

Categorías

Para esta variable las categorías que se utilizaron son las siguientes:

4. Tipos de estructuras geológicas
5. Tipos de macizos rocosos
6. Modelo Geo-estructural de la zona

Elementos

Los elementos o tipos para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 4, plegamiento y fallas geológicas.

Categoría 5, clasificación de macizos rocosos. Determinación de tipos de diaclasas, apertura de las diaclasas, separación entre fracturas, direcciones de buzamiento de las fracturas y planos estratigráficos, relleno de las discontinuidades, longitud de las diaclasas.

Categoría 6, descripción de las estructuras geológicas encontradas.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la descripción de esta variable corresponden a: piqueta, brújula y la plantilla de clasificación de macizo rocoso de Bieniawski tomada de Gonzales et al (2002), planos topográficos de curvas de nivel y GPS.

La instrumentación consistió básicamente en la utilización de la técnica de la observación directa en campo, tomando datos como: planos de buzamiento y direcciones de rumbo de las diaclasas y planos estratificados, para posteriormente procesarlos en el software correspondiente y generar los mapas conceptuales correspondientes. Para el procesamiento de los datos estructurales se utilizaron Software de uso libre.

4.3 Características geológicas

Definición conceptual: la geología física estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre Tarbuck & Lutgens (2005).

Definición operacional: se utilizó la observación directa de los distintos afloramientos de roca con el fin de identificar y describir las distintas unidades geológicas existentes, dentro del área de estudio.

Categorías

Para esta variable las categorías que se trabajaron son las siguientes:

7. Origen de la roca
8. Las características físicas de la roca
9. Composición mineralógica

Elementos

Los elementos fundamentales para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 7: rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas.

Categoría 8: textura, tamaño del grano, composición química, dureza y grado de meteorización.

Categoría 9: tipos de minerales que componen la roca.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la descripción de esta variable corresponden con: piqueta, brújula, lupa, ácido clorhídrico, GPS y libreta de campo.

La instrumentación consistió básicamente en la utilización de la técnica de la observación directa en campo de las rocas existentes, donde se utilizó los instrumentos tales como: la libreta de campo, la cámara fotográfica y los planos de campo, así como el software correspondiente para el procesamiento final de los datos.

4.4. Características Geofísicas

Definición conceptual: Corresponde al proceso usado para estudiar el subsuelo por medio de la aplicación de métodos indirectos como la eléctrica, el electromagnetismo y la gravimetría entre otros.

Definición operacional: dentro de la presente investigación la geofísica se utilizó ejecutando ensayos eléctricos de campo, más conocidos como Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). Los mismos se realizaron con el fin de identificar básicamente zonas fracturadas en las rocas y niveles de aguas subterráneas.

Categorías

Para esta variable las categorías que se trabajaron son las siguientes:

10. Modelos geo-eléctricos

11. Espesores de las capas identificadas

12. Grados de saturación de agua en las capas encontradas

Elementos

Los elementos o tipos para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 10, resistividades aparentes de las capas, profundidad de alcance del SEV, profundidad de las capas.

Categoría 11, espesor de los estratos encontrados y tipo de estrato (fracturado, saturado, rocoso o arcilloso).

Categoría 12, localización de niveles freáticos, espesores saturados.

Materiales

Los materiales que fueron utilizados para la descripción de esta variable corresponden a: mazos, personal de 3 operadores, equipo de geofísica modelo Ground Resistance Tester 4630, planos topográficos de curvas de nivel y GPS.

La instrumentación consistió básicamente en la utilización del equipo para la ejecución de los SEV, el modelo utilizado fue el Ground Resistance Tester 4630, aplicando el arreglo de tipo Schlumberger, donde se necesita un quadri-polo de 4 electrodos (A, M, N, B) el cual se distribuyó de la siguiente manera: en los extremos (AB) se inyecta la corriente continua (I) y en el centro se mide la intensidad del campo eléctrico ΔV con los electrodos (MN) ver Figura 6. El operador que se encuentra en el centro del dispositivo debe inmediatamente después de haber realizado la medición reportar el valor encontrado de la resistividad en papel bi-logarítmico para controlar la calidad del sondeo. La Resistividad Eléctrica (ROA) aparente para cada posición (A, M, N, B) se calculó con la siguiente fórmula:

$$ROA = K_s \Delta V / I \text{ Ohm-m}$$

$$\text{Donde } K_s \text{ (constante de Schlumberger)} = \pi [(AB/2)^2 - (MN/2)^2] / 2 (AB/2)$$

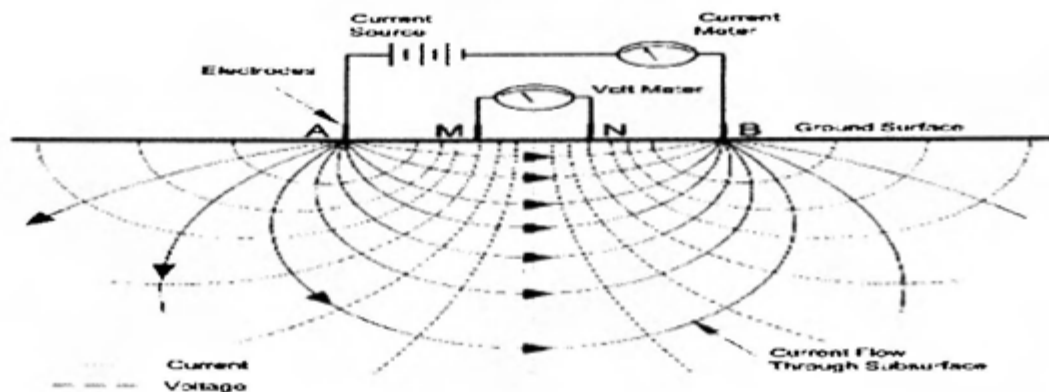


Figura 6. Esquema gráfico de la distribución geométrica del arreglo Schlumberger para el SEV.

Tomado de Gonzales (2002).

Posteriormente toda la información obtenida en campo se procesa en el software correspondiente y se generan las interpretaciones de los modelos geofísicos finales. Toda esta información se procesó en los Softwares libres, IPI2Win (Esp), QWSELN y Surfer,

estos programas fueron escogidos debido a la rapidez con la que se manejan los resultados y a la facilidad con la que se manejan los datos.

4.5. Características Hidrológicas

Definición conceptual: *"La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluidos los seres vivos"* Villón (2004) .

Definición operacional: corresponde a la determinación de las características físicas de la cuenca analizada, medición de caudales y cálculo del Balance Hídrico de Suelos.

Categorías

Para esta variable las categorías que se trabajaron son las siguientes:

13. Clima
14. Morfometría de la cuenca
15. Morfología de la cuenca
16. Uso del suelo
17. Escurrimiento superficial
18. Balance Hídrico

Elementos

Los elementos o tipos para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 13, distribución anual de la precipitación, distribución del brillo solar, distribución de zonas de vida, distribución de la temperatura.

Categoría 14, determinación del área de la cuenca, longitud del cauce principal, perímetro de la cuenca, modelo de elevación digital, modelo de distribución de pendientes.

Categoría 15, índice de compacidad, red de drenajes, forma de la red de drenaje, densidad de drenaje.

Categoría 16, determinación de la distribución del uso del suelo dentro de la cuenca analizada.

Categoría 17, estimación del escurrimiento superficial (caudales).

Categoría 18, construcción de un balance hídrico con base a la metodología de Schosinsky, (2006).

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la descripción de esta variable corresponden con: cinta métrica, fotografías aéreas, fotografía satelital, libreta de campo, correa, mazos, planos topográficos de curvas de nivel y GPS. Se contó con un Auger Regular para perforación manual, con el fin de ejecutar las pruebas de infiltración.

La instrumentación consistió básicamente en la utilización de la observación directa en campo, tomando datos de campo tales como: tirantes de agua, espejos de agua, tipo de rugosidad del lecho del cauce, muestras de suelo para la caracterización del suelo. En gabinete se utilizó la observación y análisis de fotografías aéreas y satelitales, consulta de bibliografía existente en cuanto a: distribución del clima y precipitaciones de la zona, determinación de las rugosidades de los canales naturales (n), mediante tablas o cuadros preexistentes, cálculo de caudales utilizando los datos de campo tales como; tirante máximo del agua en metros (Y), espejo de Agua en metros (T), coeficiente de rugosidad del canal (n) adimensional y Pendiente general del canal en los puntos de Aforo (s) adimensional. El software que se utilizó para el procesamiento de los datos recolectados en campo y el posterior cálculo de caudales en cada punto de aforo fue el programa H-Canales. Este software se utilizó por su fácil acceso, rápido procesamiento y fácil manejo de los datos, para dar resultados confiables.

El balance hídrico se construyó con base a la metodología descrita por Schosinsky, (2006) y se basó en dos pasos fundamentales: 1) El trabajo de campo donde se procedió a recolectar toda la información de campo pertinente, entre ellas características del suelo tales como: punto de marchites, capacidad de campo, densidad del suelo, coeficientes de infiltración entre otros. 2) Trabajo de gabinete, el cual consistió en procesar la información meteorológica existente aportada en este caso por el Instituto Meteorológico Nacional, determinación por medio de fotografías satelitales actualizadas del uso de suelo actual de la cuenca, para generar mapas a escala 1:40 000 del uso del suelo, confección de mapas de tipos de suelo en relación a las formaciones geológicas existentes, y cálculo final del volumen de Recarga anual Potencial de la cuenca (RP) aplicando la hoja electrónica de Schosinsky, (2006).

El Balance Hídrico de Suelos se basa en el principio de la conservación de la materia Schosinsky, (2006). O sea, el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las entradas al sistema ocurren por la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos (Schosinsky, 2006). En nuestro caso para determinar la recarga potencial anual del sistema(s) acuíferos existentes dentro de la zona, se analizaron distintas

variables del área entre ellas: Fracción de lluvia interceptada por el follaje (Ret), Coeficiente de infiltración del suelo (Ci), Precipitación que infiltra (Pi), Evapotranspiración Potencial (ETPR), Evapotranspiración Real (ETR), la Humedad inicial del suelo (HSi) y la Humedad final del suelo (HSf). Estas y otras variables definen la Recarga Potencial mediante la siguiente ecuación: $RP = Pi + HSi - Hsf - ETR$. Una vez obtenido el dato de RP en mm/mes, se calculó el volumen de recarga potencial anual, mediante la fórmula:

$$V = RP * A$$

Donde, V = Volumen de recarga [m^3/mes ó $m^3/año$], RP = Recarga potencial al acuífero [m/mes o $m/año$], A = Área donde se genera la recarga potencial [m^2]. Estos resultados se reflejaron en un mapa de recarga potencial acuífera de la cuenca hidrológica analizada a escala 1:40 000. En la Figura 7 se muestra un esquema resumido del Balance Hídrico de Suelos Aplicado en Esta investigación.

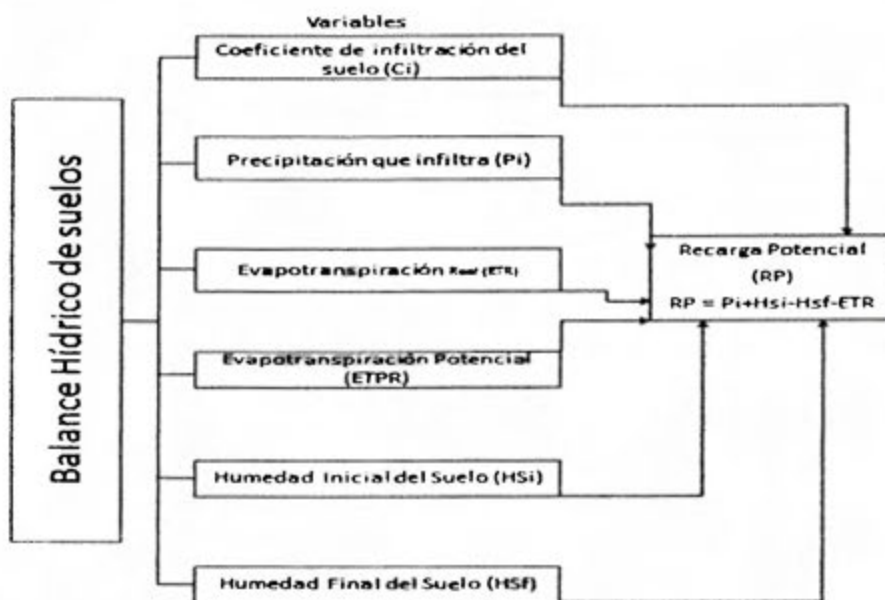


Figura 7. Esquema de construcción del Balance Hídrico de Suelos. Basado en Schosinsky (2006).

4.6. Características Hidrogeológicas

Definición conceptual: "La hidrogeología es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento y circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre" Custodio & Llamas (1983).

Definición operacional: corresponde a la determinación de las características físicas y químicas del agua subterránea existentes, almacenamiento y distribución espacial en el área de estudio.

Categorías

Para esta variable las categorías que se trabajaron son las siguientes:

19. Rasgos hidrogeológicos de las formaciones geológicas existentes.
20. Características físicas e hidráulicas del acuífero o acuíferos existentes
21. Características hidrogeoquímicas del agua subterránea
22. Modelo hidrogeológico conceptual

Elementos

Los elementos o tipos para cada categoría fueron definidos por:

Categoría 19, descripción de los rasgos hidrogeológicos de las formaciones geológicas existentes: a) información hidrogeológica de pozos existentes, b) distribución y caracterización de las unidades geológicas en cuanto a tipo de roca, zonas fracturadas, permeabilidad y almacenamiento de agua subterránea.

Categoría 20, determinación de las características físicas e hidráulicas del acuífero tales como caudales de explotación, transmisividad y permeabilidad a partir de: a) mapa hidrogeológico conceptual, b) gradiente hidráulico, c) pruebas de bombeo en pozos de alto diámetro y pruebas de bombeo en pozos profundos o convencionales, d) resultados del análisis geofísico, e) resultados del análisis geoestructural.

Categoría 21, Descripción hidrogeoquímica de aguas subterráneas existentes en la zona en cuanto los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, todo esto con base a los resultados de laboratorio derivados del levantamiento geoquímico de campo.

Categoría 22, construcción del mapa hidrogeológico conceptual a partir de: a) información hidrogeológica de las perforaciones existentes en la zona, b) construcción de las líneas equipotenciales, c) distribución de los acuíferos existentes d) estructuras geológicas.

Materiales

Los materiales que se utilizaron para la descripción de estas variables corresponden con: marco de madera para el soporte de la bomba tipo yet, mecate o correas, rolas de soporte, tuberías de pulgada y acoples de rosca macho y hembra, chekc de paso de agua, caja de herramientas, cintas métricas, escalera desarmable de 4 m, gasolina, generador eléctrico carburado de 7500 watts, bomba tipo yet marca Dab, cable eléctrico de 20 m con

apagador tipo breaker, recipiente para aforo de agua de 20 litros, sondas de medición del nivel freático, un vehículo tipo pickup, tres personas para la ejecución de las pruebas de bombeo en pozos de alto diámetro, planos topográficos de curvas de nivel, brújula, recipientes para la toma de muestras químicas, hielera, y GPS.

La instrumentación consistió básicamente en la utilización de la observación directa en campo, tomando datos de campo tales como: niveles estáticos y niveles dinámicos, aforo de los caudales de bombeo y aforos de manantiales.

Para la ejecución en campo de las pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro, se procedió primeramente a la compra de una bomba tipo Yet marca DAB de 1 Hp, modelo Jet102 1F de 115 voltios con capacidad de bombeo entre los 0.11 a 2.92 litros/seg, posteriormente para poder bajar la bomba dentro de los pozos hasta unos 1.5 m por encima del nivel freático, se construyó un marco de soporte o burra de madera, dicho marco era desarmable como lo muestran las fotografías 1 y 2, así mismo se procedió a; adquirir o comprar todos los accesorios necesarios para la ejecución en campo de las pruebas respectivas tales como: tuberías de pvc, uniones o acoples, extensiones eléctricas, apagadores, generador eléctrico y toda la demás indumentaria, ver fotografías 3 y 4.



Fotografías 1 y 2. Muestran el marco de madera desarmable donde se colgó la bomba tipo Jet para la ejecución de las pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro.



Fotografías 3 y 4. Muestran parte de la herramienta e indumentaria utilizada para la ejecución de las pruebas de bombeo en pozos de alto diámetro de la zona.

Posteriormente en gabinete se analizaron las pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro realizadas en campo, mediante la metodología de Schosinsky (2002) y las metodologías convencionales de análisis de Jacobo y Theis (Custodio & Llamas, 1983). También se tomaron en cuenta las pruebas de bombeo realizadas a pozos profundos de la zona, ejecutadas por perforadores privados, esta información fue obtenida mediante la consulta y compra de los datos de perforaciones ubicados en el archivo de pozos del SENARA. Se realizaron también análisis estadísticos en cuanto a los resultados de laboratorio, con el fin de clasificar las aguas subterráneas mediante el diagrama de Piper (Custodio & Llamas, 1983).

En la Figura 8 se muestra un esquema de todo el Marco Metodológico aplicado en la presente investigación.

5 MARCO TEÓRICO

La cuenca hidrológica que fue analizada en esta investigación, posee una gran influencia de estructuras geológicas, las cuales constituyen un factor importante en el almacenamiento de agua subterránea. Por tanto, el comportamiento del agua subterránea en cuanto a la dirección del flujo, características hidráulicas y potenciales de producción en la zona, está directamente relacionado con dichas estructuras.

El almacenamiento y movimiento del agua subterránea dependen en gran medida de la porosidad de los materiales. El tipo de empaquetamiento de las partículas que componen una roca, determina el tipo de poro, así como la porosidad total (Custodio & Llamas, 1983).

En los acuíferos porosos, los materiales presentan poros entre los granos individuales y los minerales que constituyen el depósito. La distribución de estos poros es mucho más homogénea que en las rocas, a este tipo de porosidad, se le denomina porosidad primaria o porosidad Intergranular.

Por otra parte, en los macizos rocosos los espacios corresponden, a fracturas, diaclasas, planos de estratificación y cavidades producto de la disolución. Estos espacios no tienen una distribución uniforme y se consideran como fenómenos localizados. Este tipo de porosidad se denomina porosidad secundaria (Molinero, 2005).

Hidrogeológicamente, gran parte de la superficie de la cuenca, está ocupada por rocas ígneas y sedimentarias de edad Cretácica, cuya permeabilidad está determinada por el tamaño de las fracturas, diaclasas y por el tamaño de las aberturas a lo largo de los planos de estratificación, así como el tamaño de las cavidades producto de la disolución en la formaciones sedimentarias antes mencionadas, siendo la conexión entre las discontinuidades (fracturas), un factor determinante en el grado de permeabilidad, de las rocas existentes. Los acuíferos contenidos en macizos rocosos fracturados, en la mayor parte de los casos, están cubiertos por un regolito y/o Saproilito desarrollado en la parte superior, el cual también tiene el potencial de almacenar agua como un acuífero libre semejante a un acuífero poroso (aluvial).

Molinero (2005) menciona que la característica común de las formaciones rocosas debido a su rigidez, presentan un comportamiento mecánico frágil, que se traduce en el desarrollo de sistemas de fracturas cuando son sometidas a un campo de esfuerzos determinado (ibid). Estos sistemas de fracturación pueden llegar a dar como resultado formaciones con una permeabilidad suficiente como para ser consideradas formaciones acuíferas. El estudio de la hidrogeología de rocas fracturadas es de gran importancia en

diversos lugares del planeta donde no existen otras formaciones geológicas capaces de desarrollar acuíferos mejores (ibid), como es nuestro caso.

Una característica común y de gran importancia en los acuíferos de rocas fracturadas, consiste en la existencia de una capa superior (regolito y/o saprolito), debido a los procesos de meteorización (física y, fundamentalmente, química) que afectan a los macizos rocosos pre-existentes Molinero (2005). En los climas templados, los regolitos superficiales rara vez alcanzan espesores superiores a algunas decenas de metros Sin embargo, en climas tropicales las capas de alteración superficial pueden superar incluso el centenar de metros de espesor (ibid). Estas consideraciones sobre los regolitos son de gran importancia hidrogeológica, puesto que dichas capas superficiales de alteración presentan una estructura porosa intergranular muy semejante a la descrita para las formaciones geológicas no consolidadas. Los acuíferos en rocas fracturadas, usualmente se caracterizan por:

“Un acuífero superficial formado por el regolito de alteración. Estos acuíferos suelen presentar un comportamiento de acuífero libre con permeabilidad debida a la porosidad intergranular (similar a las formaciones no consolidadas). Un acuífero profundo desarrollado en la roca no meteorizada, cuya permeabilidad se debe a la presencia de sistemas de fracturación y vías preferentes para la circulación del agua” Molinero (2005) ver figura 9”.

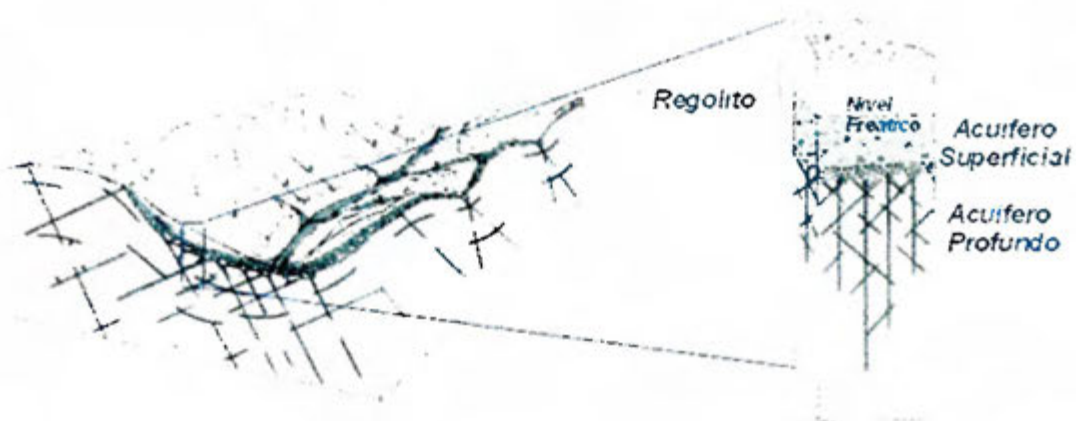


Figura 9. Esquema tridimensional de una formación rocosa fisurada y detalle de un perfil vertical típico. El regolito de alteración superficial forma un acuífero libre, que es permeable por porosidad intergranular. Tomado de "(Molinero, 2005, Figura 13)".

Como se menciona anteriormente, la porosidad y permeabilidad de estos acuíferos es secundaria, por fracturación y disolución (ibid). La circulación del agua subterránea, se produce siguiendo mecanismos distintos, según el tipo de porosidad secundaria predominante.

Cuando la porosidad está relacionada con una red bien desarrollada e interconectada de diaclasas, fracturas y/o planos de estratificación, modificados por disolución y con aperturas reducidas, el flujo se produce de forma laminar (García, et al., 1994). Por tanto la red de grietas se interconecta y el movimiento del agua dentro del macizo fracturado se comporta de manera uniforme, esto hace que sea aplicable la ley de Darcy ($Q = K \cdot i \cdot A$) ver Figura 10.

Contrario a esto, cuando la porosidad consiste fundamentalmente en grandes conductos y cavidades de tamaño centimétrico a métrico, producidos por disolución y/o erosión mecánica, el flujo a menudo turbulento, se localiza en dichos conductos, mientras que la permeabilidad de la roca circundante a las fracturas principales es muy baja a prácticamente nula. Según García, et al., (1994) en este caso no aplica la ley de Darcy y por el contrario aplica la teoría del flujo turbulento para su análisis.

Las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos fracturados pueden llegar a dar caudales de agua muy elevados cuando se captan las grandes zonas fracturadas importantes, que actúan como zonas de flujo preferente (Molinero, 2005). Estas zonas de fractura corresponden a accidentes tectónicos de gran escala como zonas fracturadas o falladas o áreas plegadas como cabalgamientos, pliegues u homoclinales (ibid).

Por tanto un acuífero fracturado puede presentar las siguientes características principales, según Ríos (2009) "1) *Extremada variabilidad espacial en conductividad hidráulica y cantidad de flujo*, 2) *Las propiedades hidráulicas son muy anisotrópicas y deben ser definidas en conjunto con información espacial direccional*, 3) *Las velocidades del agua a través de fracturas individuales pueden ser extremadamente altas, pero las fracturas usualmente ocupan solo una pequeña parte del acuífero*". Por lo anterior, se puede considerar que el promedio del flujo volumétrico general puede ser bajo. En estos casos, la superficie piezométrica es representativa de la energía potencial del agua. La circulación del agua en terrenos fracturados depende mucho de la orientación de la red de fisuras y de la inclinación relativa de unos sistemas con respecto a otros (ibid). De esta forma, podemos afirmar que la situación más favorable a la circulación del agua en terrenos fracturados es aquella en la que uno de los sistemas de fracturas (sobre todo si es el principal) comunica con el exterior y se dispone a su vez paralelo a la línea de recarga – descarga (Figura.11).

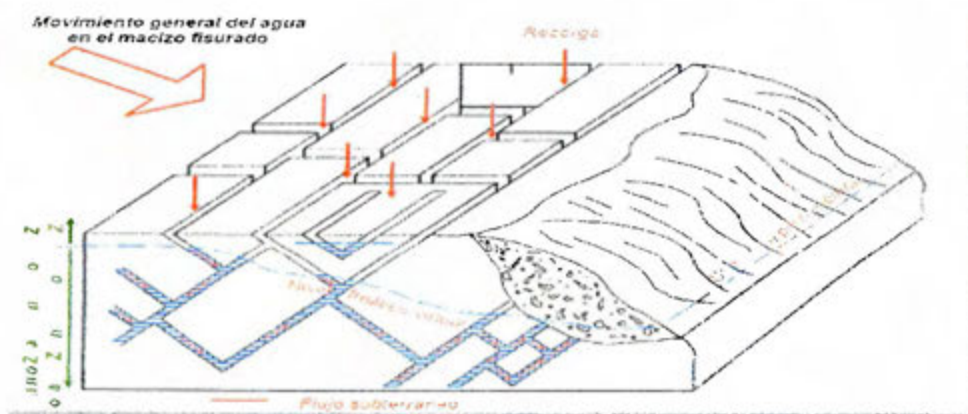


Figura 10. Esquema de acuífero fracturado con grietas interconectadas.
Tomado de Gonzales, (2005).

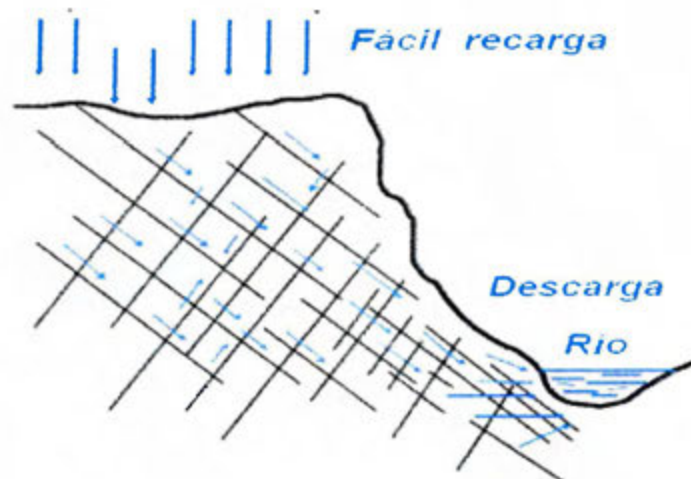


Figura 11. Esquema de un acuífero fracturado con discontinuidades interconectadas orientadas en dirección de la zona de recarga-descarga. Tomado de Gonzales (2005).

Como se mencionó, debido a que un acuífero contenido en rocas fracturadas en todas direcciones, se comporta como un acuífero con flujo laminar, se pueden aplicar para su investigación, las formulaciones matemáticas convencionales basadas en la ley de Darcy como lo muestra la Figura 12.

$$Q = \frac{\partial V}{\partial t} = k \cdot i \cdot A \quad (2)$$

Donde: Q: Caudal o gasto [cm³/seg]
 ∂V : variación del volumen en un diferencial de tiempo
 ∂t : diferencial de tiempo
 k: coeficiente de permeabilidad [cm/seg]
 i: gradiente hidráulico [adimensional]
 A: sección transversal del filtro [cm²]

Si se considera la ecuación de continuidad

$$Q = v \cdot A \quad (3)$$

Donde: Q: caudal o gasto [cm³/seg]
 v: velocidad [cm/seg]
 A: área transversal [cm²]

Es posible relacionarlos de forma tal que

$$v = k \cdot i \quad (4)$$

Figura 12. Formulaciones matemáticas de la Ley de Darcy, tomadas de (Angelone et al., 2006).

En el flujo turbulento, las sendas o caminos son indefinidos, irregulares, torciéndose y cruzándose al azar, por tanto las velocidades son mayores en estos sitios (Angelone et al., 2006). Las leyes fundamentales que determinan el estado de un caso de flujo dado fueron determinadas por Reynolds (Figura 13) a través de su experiencia. Reynolds expuso en gráficos el gradiente hidráulico vs la velocidad del flujo, estableciendo tres zonas: flujo laminar, turbulento y transicional; a partir de los cuales se pueden determinar los valores de velocidad para los cuales el flujo cambia de régimen (Angelone et al., 2006). En particular en el límite laminar-turbulento, el número de Reynolds definido en la ecuación (1) toma valores de 2000:

$$R = \frac{v_c \cdot D \cdot \rho}{\eta \cdot g} = 2000 \quad (1)$$

Donde R: n° de Reynolds (adimensional)
 v_c : velocidad crítica, en cm/seg
 D: diámetro del tubo, en cm
 ρ : densidad del fluido, en gr/cm³
 g: aceleración de la gravedad cm/seg²
 η : viscosidad del fluido en gr. seg/ cm²

Figura 13. Ecuación de Reynolds, tomado de (Angelone et al., 2006). Ecuación de Reynolds.

El diámetro del tubo puede ser tomado en el caso de las fracturas como la abertura de la o las fisuras. Entre 2000 y 4000 régimen de transición, más de 4000 flujo turbulento y menos de 2000 régimen laminar.

En un medio fracturado, cuando el régimen es laminar y las fuerzas de inercia son despreciables (régimen de Darcy), la velocidad del flujo o caudal por unidad de sección en la fisura sin rugosidad está determinada por:

$$V = C \times \Delta H$$

Donde:

V = velocidad del flujo

$$C = (\gamma \times b^2 / 12 \times \mu)$$

γ = peso específico del fluido

b = ancho de la fisura o abertura.

μ = viscosidad dinámica del fluido

ΔH = gradiente hidráulico en la fisura

En el régimen laminar, "la *distribución real de velocidades paralelas a la fractura a lo largo del ancho de la misma es parabólica, con el valor máximo en el centro y valores nulos sobre las paredes* (Custodio & Llamas, 1983)". En flujos intermedios entre laminar y turbulento, Custodio & Llamas (1983) establecen para pequeñas variaciones de gradiente hidráulico y la velocidad a partir de:

$$V = b \times \Delta H^{1/n}$$

Dónde:

V = velocidad del flujo

b = ancho de la fisura o abertura.

ΔH = gradiente hidráulico en la fisura

n = entre 1 y 2

Krásný & Sharp (2003) establecieron también que la descarga en fracturas con superficie plana y apertura uniforme dentro del régimen laminar es igual a:

$$Q = - (\rho_w \times b^3 \times g / 12 \times \mu) \times \Delta H$$

Dónde:

- Q = caudal o descarga
 ρ_w = densidad del fluido
 b = ancho de la fisura o abertura.
 μ = viscosidad dinámica del fluido
 ΔH = gradiente hidráulico en la fisura
 g = aceleración de la gravedad

Por otra parte Molinero (2005) menciona que *"a partir de consideraciones hidráulicas elementales, es fácil deducir que la conductividad hidráulica equivalente de una formación rocosa fracturada"* se puede expresar de la siguiente manera:

$$K_{eq} = \frac{b^3 \gamma}{12 \mu L}$$

Dónde:

- K_{eq} = conductividad hidráulica equivalente del medio fracturado,
 b = es la apertura de las fracturas o fisuras,
 γ = peso específico del agua
 μ = viscosidad cinemática del agua
 L = espaciamiento medio entre las fracturas.

La expresión anterior, es conocida como "Ley cúbica" y fue propuesta por Snow (1963, en Molinero, 2005). El cambio de la conductividad hidráulica de una formación fracturada es dependiente del cubo de la apertura de las fracturas (ibid), basados en esto se establece que *"pequeñas variaciones en el valor de dicha apertura pueden resultar en cambios apreciables de la conductividad hidráulica de la formación rocosa Molinero (2005)"*.

La anisotropía de los acuíferos fracturados, es debida a la complejidad en la distribución de fallas, fracturas, planos de buzamiento y pliegues geológicos entre otros, esta complejidad geológica como ya se ha demostrado, complica el análisis matemático analítico para la obtención de las características hidráulicas de los acuíferos existentes en una zona determinada. Por tanto Krásný & Sharp (2003) establecen que para zonas con poca información hidrogeológica como es este caso, y con el objetivo de simplificar la obtención de las características hidráulicas para acuífero fisurado, se pueden estimar con bastante precisión, datos regionalizados como la transmisividad, a partir del Índice de Transmisividad

(Y), calculando previamente la capacidad específica (preliminar) del acuífero a partir de datos básicos de pruebas de bombeo de corta duración, teniendo en cuenta:

1. El espesor del acuífero M en (m).
2. El caudal de explotación Q en (litros/seg)
3. El abatimiento (s).
4. La capacidad específica $q = Q/s$

Por tanto podemos obtener el Índice de Transmisividad (Y) aplicando la siguiente fórmula:

$$Y = \log (10^6 \times q).$$

Donde q, corresponde a la capacidad específica estimada del acuífero en litros/seg.m⁻¹. Aplicando la fórmula del coeficiente de transmisividad (Y) y tomando en cuenta lo establecido en el gráfico de la figura 10, se puede estimar la capacidad específica general del acuífero y su transmisividad en (m²/día) en el sitio de interés. Así mismo una vez obtenida la transmisividad, podremos derivar la permeabilidad general aplicando:

$$T = K \times M$$

Donde K = conductividad hidráulica o coeficiente de conductividad hidráulica y M = espesor del acuífero o sección de rejilla del pozo. Con base a la Figura 14, se pueden clasificar regionalmente las zonas estudiadas como áreas de muy baja, intermedia, alta y muy alta transmisividad.

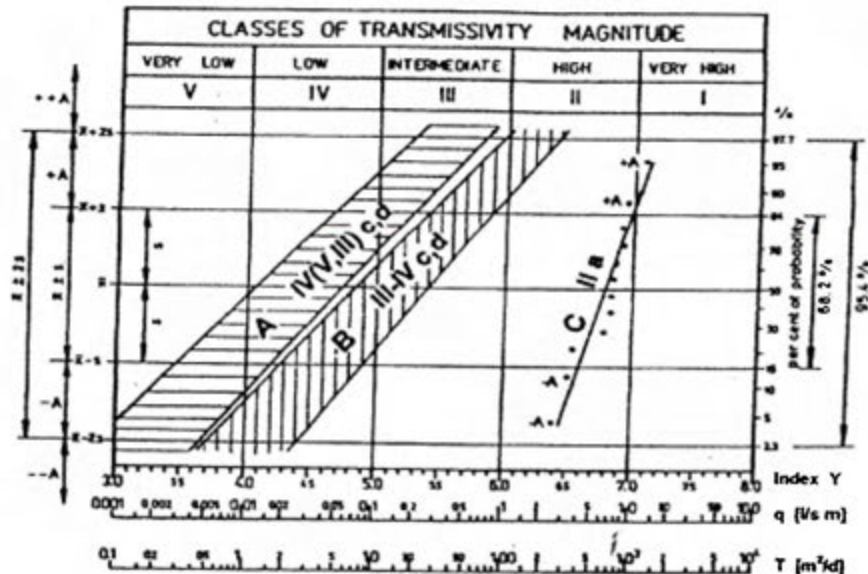


Figura 14. Gráfico de clasificación regional de la transmisividad en rocas fracturadas, con base al índice de transmisividad (y). Tomado de Krásný & Sharp (2003, Fig.3). Capacidad específica (q) en litros/seg/m, coeficiente de Transmisividad (T) en m²/día, Índice de Transmisividad (Y), media aritmética (\bar{x}), desviación estándar (s), intervalos predominantes de Transmisividad donde se incluye aproximadamente el 68% de los valores de (T) estadísticos simples ($\bar{x} \pm s$), anomalías positivas o negativas de los valores de Transmisividad (+A, -A), anomalías extremas (+A, -A), anomalías extremas fuera de los intervalos $\bar{x} \pm s$ (+A, -A). Campo que comprende los valores típicos de Transmisividad de rocas ígneas y metamórficas (A), campo que comprende los valores de Transmisividad de rocas carbonatadas (B), campo que comprende los valores de Transmisividad de depósitos fluviales (C).

Una gran cantidad de estudios han sido efectuados con el objetivo de correlacionar la resistividad de una roca con el contenido de agua (Gonzales, 2006). Muchos estudio se han basado en la utilización de la fórmula empírica de Archie, que relaciona la resistividad de la roca con la porosidad del medio. "La ley de Archie se basa en la siguiente ecuación: $R_s = a \cdot R_w \cdot \phi^{-m}$, donde: R_s corresponde a la resistividad de la roca saturada, R_w la resistividad del agua contenida en la estructura poral, ϕ es la porosidad expresada como una fracción por unidad de volumen de roca (porosidad efectiva), a y m , son parámetros cuyos valores son asignados arbitrariamente para hacer que la ecuación se ajuste a un particular grupo de medidas (Gonzales, 2006)".

Existe la costumbre de definir un factor de formación $F = a \cdot \phi^{-m}$, convirtiendo la expresión de Archie en $R_s = R_w \cdot F$, por tanto el factor de formación $F = R_w/R_s$.

Pérez (s.f.) establece la relación entre el factor de formación (F) y la porosidad \emptyset mediante la fórmula:

$$\emptyset = (F - 1/G + 1)^{-1}$$

Dónde:

\emptyset = porosidad efectiva

F = factor de formación

G = parámetro que depende de la geometría interna de las rocas, según Pérez (s.f.) con base a la experiencia G toma un valor promedio de 0.887 para rocas carbonatadas como es el caso de la presente investigación.

Por otra parte, existen dos parámetros geo-eléctricos importantes que se pueden relacionar con el factor de formación estos son la resistencia transversal del acuífero y la conductancia longitudinal de la zona saturada Pérez (s.f.).

La resistencia transversal se expresa de la siguiente manera: $R_T = h \cdot R_s$, donde h = el espesor de la zona saturada en (m) y R_s la resistividad en Ohm de la roca saturada. Mientras que la conductancia longitudinal de la zona saturada corresponde a: $S = h/R_s$. Por tanto, y sustituyendo la fórmula del factor de formación (F) tenemos que:

$$F = R_T / (h \cdot R_w)$$

$$F = h / (S \cdot R_w)$$

Estas relaciones demuestran que el factor de formación de un acuífero establece una relación de proporcionalidad directa con su resistencia transversal e inversa con su conductancia longitudinal Pérez (s.f.). Este enfoque será usado en la zona de estudio.

6 RESULTADOS

6.1 Características geomorfológicas

Debido a la complejidad geomorfológica, geo-estructural, geológica e hidrogeológica de la zona, para la presente investigación y con el fin de establecer unidades hidrogeomorfológicas, orientadas a identificar zonas con mayor potencial acuífero, se realizó lo siguiente:

1. Se analizó la red de drenaje de la cuenca hidrológica estudiada, para establecer las densidades de drenaje, dividiéndola en 3 grandes grupos (densidades altas, medias y bajas).
2. Se construyó un mapa de iso-densidades de fracturación mediante el análisis de fotografías aéreas de toda la cuenca hidrológica analizada, con el objetivo de definir zonas con baja, media y alta densidad de fracturación.
3. Se calculó el mapa de pendientes a partir del Modelo de Elevación Digital y reclasificándose las pendientes en Bajas, medias y altas.
4. Se reclasificó los mapas de densidades de drenajes y densidades de fracturación asignándoles pesos relativos según criterio geológico, combinando mediante una suma algebraica en un SIG, los mapas de Densidades de Drenaje (DD) y mapa de fracturación, para generar un mapa de porosidades relativas de las rocas.
5. Se combinó mediante una suma algebraica de mapas, el mapa de pendientes reclasificado con el mapa de porosidades relativas, para generar un mapa de Unidades Hidro-geomorfológicas y poder establecer desde el punto de vista geomorfológico zonas con mayor potencial hidrogeológico.

En la Figura 15 se muestra el esquema para el establecimiento de las unidades hidro-geomorfológicas dentro del Valle tectónico del río Grande, en el área de estudio.

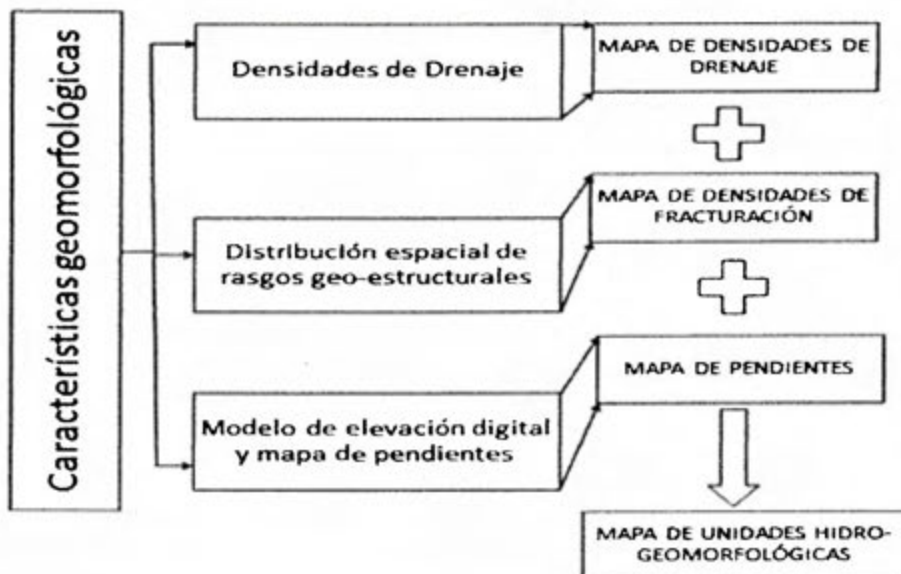


Figura 15. Esquema para la determinación de las unidades Hidro-geomorfológicas de la zona estudiada. Elaboración propia

Los resultados de las características geomorfológicas de la zona, se basaron en el análisis fotogeológico de las fotografías aérea a escala 1:40 000 del IGN (se desconoce el año de las fotos). Las series fotográficas analizadas corresponden a la 472, 473 y 474 del sector norte del área de estudio, tomando como centro la fotografía 473. Hacia el sur de la serie fotográfica anterior, tenemos las fotografías aéreas 503,502 y 501, teniendo como centro la fotografía 502. En el Apéndice 1 de este trabajo pueden ser observadas todas las series fotográficas antes mencionadas. De este análisis fotogeológico se deriva la determinación de los patrones de drenaje, distribución espacial de los rasgos geomorfológicos y la determinación de las unidades Hidro-geomorfológicas correspondientes. Cabe destacar que como trabajo final de este capítulo, la información derivada del análisis fotogeológico se complementó con trabajo de campo.

6.1.1. Descripción de los patrones de drenaje

El área de estudio es drenada por el río Grande como sistema hidrico principal, el cual discurre en sentido predominante SE – NW, sus afluentes más importantes corresponden a distintas quebradas de orden variado, las cuales intersectan el cauce principal del río Grande en sentido NE-SW y SW-NE. A continuación se describirán los distintos tipos de patrones de drenajes encontrados en la zona.

6.1.1.1. Drenaje Rectangular

Este patrón de drenaje ocupa el 55% de total de área dentro de la cuenca analizada Figura 16. Se reconoce por presentar ángulos cercanos a los 90° entre los tributarios y el cauce principal, ocupando áreas con densidades de drenajes medios a bajos. En la zona es indicativo de control geológico estructural (fracturas, fallas o discontinuidades), alta permeabilidad relativa de las rocas por fracturación. Dentro de la cuenca Río Grande este patrón de drenaje disecta rocas predominante mente sedimentarias de edad Cretásico Superior.

6.1.1.2. Drenaje Dendrítico

Este patrón de drenaje ocupa el 27% de total de área dentro de la cuenca analizada Figura 16. Se identifica en la zona por presentar cursos de agua cortos e irregulares de forma ramificada y densidad de drenaje medio a alto. Dicho patrón de drenaje en el área de estudio es indicativo de rocas con resistencia uniforme, relativamente poco permeables y con pocas influencias de estructuras geológicas en estos sitios.

6.2.1.3. Drenaje Trellis

Ocupa el 12% de total de área dentro de la cuenca analizada y se localiza predominantemente hacia el sector NE del área de estudio (Figura 16). Se identifica en la zona debido a que los cursos de agua cortos confluyen con los canales mayores de forma perpendicular, siendo indicativos en la zona, de un importante control estructural dentro de zonas fuertemente plegadas o afectadas por fallamiento geológico. Este patrón de drenaje se desarrolla predominantemente sobre rocas de la Formación Basaltos del Complejo de Nicoya, Sabana Grande y Formación Nambí.

6.2.1.4. Drenaje Sub-paralelo

Ocupa el 6% de total de área dentro de la cuenca analizada y se localiza predominantemente hacia el sector Este del área de estudio Figura 16. Se identifica debido a que los cursos de aguas menores, confluyen con los canales mayores de forma perpendicular, siendo indicativos de un importante control estructural y permeabilidad relativa de la roca de mediana a alta. Este patrón de drenaje se desarrolla predominantemente sobre rocas de los depósitos Coluvio Aluviales de la zona.

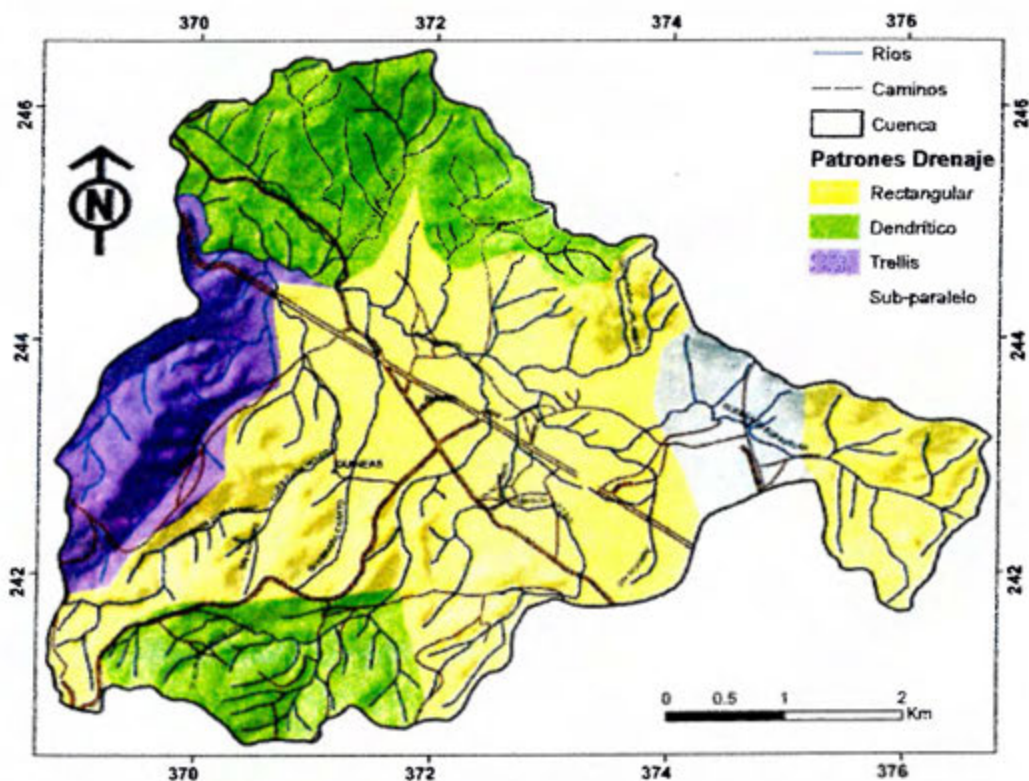


Figura 16. Mapa de tipos de patrones de drenaje.

6.1.2 Densidad de Drenaje

Con base al análisis de fotografía aérea y la identificación de los canales o cauces de aguas superficiales dentro del área analizada, se logró confeccionar un mapa de distribución de isolíneas de densidad de drenaje (Figura 17). Villón (2004) menciona que la densidad de drenaje se define como: las longitudes de las corrientes de agua, por unidad de área expresada de la siguiente manera

$$D_d = L/A$$

Donde

D_d = densidad de drenaje en km/km^2

L = longitud total de las corrientes de agua

A = área tributaria de la corriente en km^2

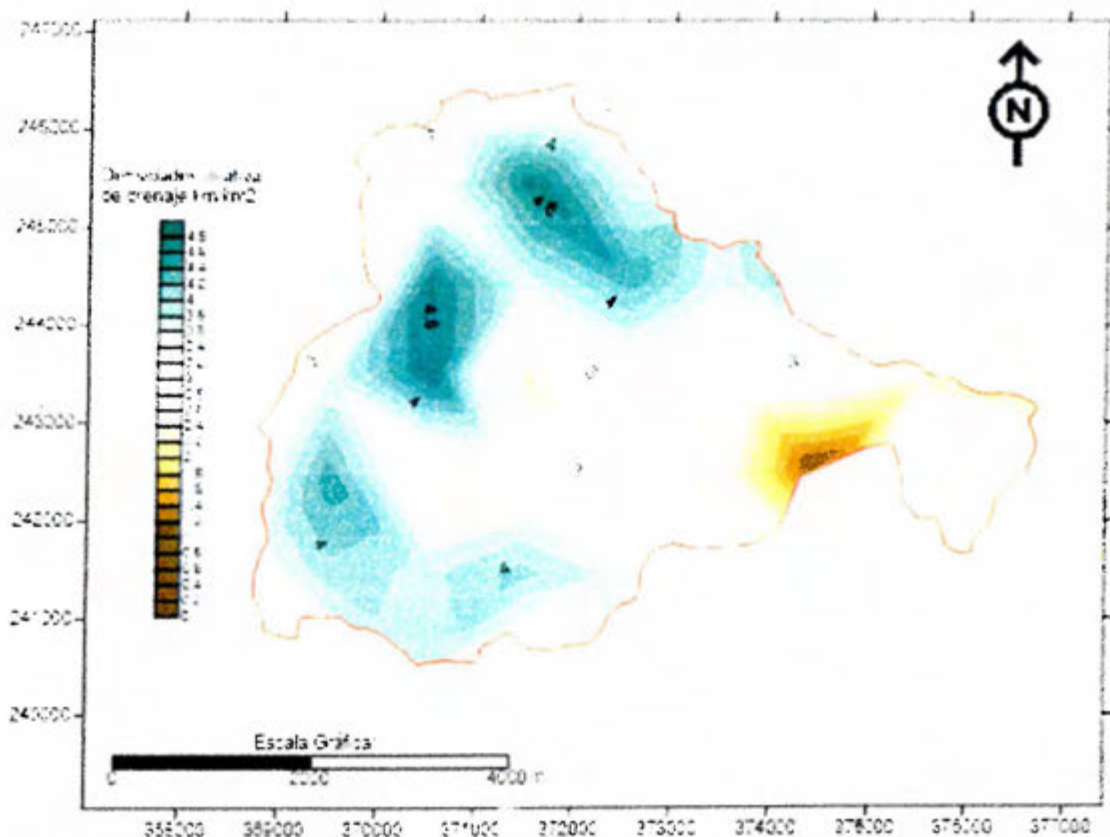


Figura 17. Mapa de iso-líneas de densidades de drenaje en km/km^2 de la cuenca analizada.

Con base a esta fórmula, se construyó el mapa de iso-distribuciones de densidades de drenajes relativos (Figura 17), posteriormente se construyó un mapa de distribución de

densidades de drenajes, estableciéndose los siguientes rangos de valores: densidades de drenajes bajas ($0-2.26 \text{ km/km}^2$), densidades de drenajes medias ($2.26-3.52 \text{ km/km}^2$), densidades de drenajes altas ($3.52-4.78 \text{ km/km}^2$) ver Figura 18. En la Figura 17 podemos observar que las zonas con mayores densidades de drenajes se encuentran distribuidas hacia los bordes Sur, SW, NW y Norte de la cuenca analizada, donde afloran predominantemente los Basaltos del Complejo de Nicoya y la secuencia sedimentaria silíceea de la FM. Sabana Grande. Por otra parte, las zonas con los valores más bajos de densidades de drenajes se encuentran hacia el centro de la cuenca y hacia el sector Este de la misma. En el centro de la cuenca afloran los depósitos turbidíticos calcáreos fracturados de la FM. Nambí, mientras que en el sector Este de la misma, afloran en mayor parte los depósitos Coluvio Aluviales de la zona estudiada.

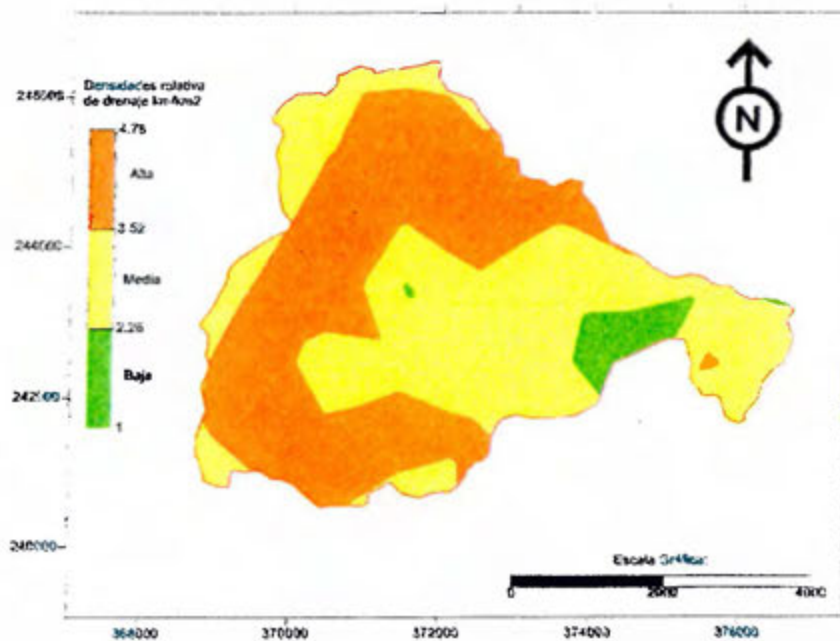


Figura 18. Mapa de distribución de zonas de densidad de drenaje

Con base a los rangos de densidades de drenajes en km/km^2 de la Figura 18, se clasifica la zona en densidades de drenajes bajos, medios y altos. Tomando en cuenta que cualitativamente dentro de una misma zona climatológica, las densidades de drenaje son un indicativo de la porosidad relativa de la roca, podemos asociar a densidades de drenajes altas, con zonas ocupadas por rocas poco permeables y a zonas de densidades de drenajes bajas, con zonas ocupadas por superficies rocosas con permeabilidades relativamente altas.

6.1.3 Distribución espacial de Rasgos Geo-estructurales

Como anteriormente se mencionó, mediante el análisis de fotografías aéreas, se logró identificar espacialmente la distribución de diferentes rasgos estructurales, aplicando el reconocimiento de formas del terreno tales como: facetas triangulares, sillas de falla, desplazamientos y lineamientos de cauces de agua y otros. Con el objetivo de identificar zonas porosas por fracturación secundaria de la roca, en este trabajo se le dio mayor énfasis al reconocimiento de zonas de fractura (foto-lineamientos). Todo este trabajo se complementó posteriormente con la comprobación de campo en diferentes giras realizadas a la zona, para presentar un modelo de geología estructural depurado, el cual podrá ser observado en la Figura 34 de esta investigación. Con el objetivo de facilitar la descripción de las estructuras geológicas encontradas (foto-lineamientos), se procedió a agruparlos en 3 grupos descritos a continuación (Figura 19).

6.1.3.1. Foto-lineamientos Grupo 1

Este grupo corresponde a los lineamientos en sentido predominante NW-SE y E-W. En el sector Norte de la cuenca, hacia el pie de los Cerros los Santos y Tierra Colorada forman parte de la Falla inversa Morote en base a (Denyer et al., 2014), en este sector, estos lineamientos fotogeológicos cortan rocas de la Fm. Sabana Grande y la Fm. Nambí y son cubiertos por los depósitos Coluvio Aluviales, la falla Morote también es de edad Neotectónica. Hacia la parte central y sur de la Cuenca Río Grande, estas fracturas cortan los basaltos del Complejo de Nicoya y las Formaciones Sedimentarias Sabana Grande y Nambí. En los sectores sur y central de la zona analizada, por posición estratigráfica de las formaciones geológicas, dichos lineamientos fotogeológicos se presumen con movimiento normal de los bloques cortados (Figura 19).

Por las unidades geológicas que cortan, la mecánica de fallamiento identificado y el rumbo de las fracturas identificadas, se considera que estos lineamientos corresponden a los trazos de fallas Paleotectónicas más antiguas de la zona (Figura 19).

6.1.3.2. Foto-lineamientos Grupo 2

Este grupo corresponde a los lineamientos en sentido predominante NE-SW, E-W. Atraviesan la cuenca en dirección NE-SW y se localizan con mayor densidad en la parte central. Estas fracturas pueden asociarse a Fallas Paleotectónicas predominantemente transcurrentes con componentes gravitacionales (caída y levantamiento de bloques). En el

área estudiada, cortan todas las Formaciones geológicas encontradas y se encuentran cubiertas por los depósitos Coluvio Aluviales (Figura 19). Este sistema de Fallas Paleotectónicas se presume más joven que los lineamientos fotogeológicos del Grupo 1, ya que en algunos sectores las fracturas del Grupo 1 son cortadas por las fracturas del Grupo 2.

6.1.3.3. Foto-lineamientos Grupo 3

Corresponde a los lineamientos en sentido predominante N-S a NW-SE. Atraviesan la cuenca en dirección N-NW y están constituidos por 3 trazos de fracturas claramente identificadas en fotografías aéreas y observadas en campo, en algunos sectores específicos, como las Vueltas de Nambí. Este sistema de fracturas se asocia al sistema de Fallas Belén descrito por (Denyer et al., 2014) como *"un sistema ancho de fallas, con trazas de rumbo NNW a NNE"*. Con base a (Denyer et al., 2014) estas trazas de fallas pueden asociarse a fracturas de movimiento transcurrente, las cuales dentro de la zona presentan una predominancia de movimiento tipo dextral. En el área estudiada, cortan todas las Formaciones geológicas encontradas y se encuentran cubiertas por los depósitos Coluvio Aluviales (Figura 19). Este sistema de Fallas Neotectónicas, corresponden al sistema de fracturación más reciente de la zona, ya que cortan los dos primeros grupos de fracturas encontradas.

En la Figura 19 se muestra la ubicación de los foto-lineamientos y formas geoestructurales identificadas, así mismo se muestra una Rosa Asimétrica del análisis estadístico correspondiente a los planos de buzamientos de todas las fracturas y diaclasas medidas en campo durante las diferentes giras a la zona. Con base a esta figura se muestra que el rumbo predominante de los planos de diaclasas se encuentra entre $N20^{\circ}W$ a $N30^{\circ}W$, seguido por el segundo grupo de fracturas con rumbos entre los $N50^{\circ}E$ a $N60^{\circ}E$, para un eje de compresión general en sentido $N10^{\circ}E$ a $N20^{\circ}E$.

El plegamiento sinclinal encontrado hacia el sector S-SE de la zona analizada, concuerda con el eje de compresión NE-SW determinado en este trabajo.

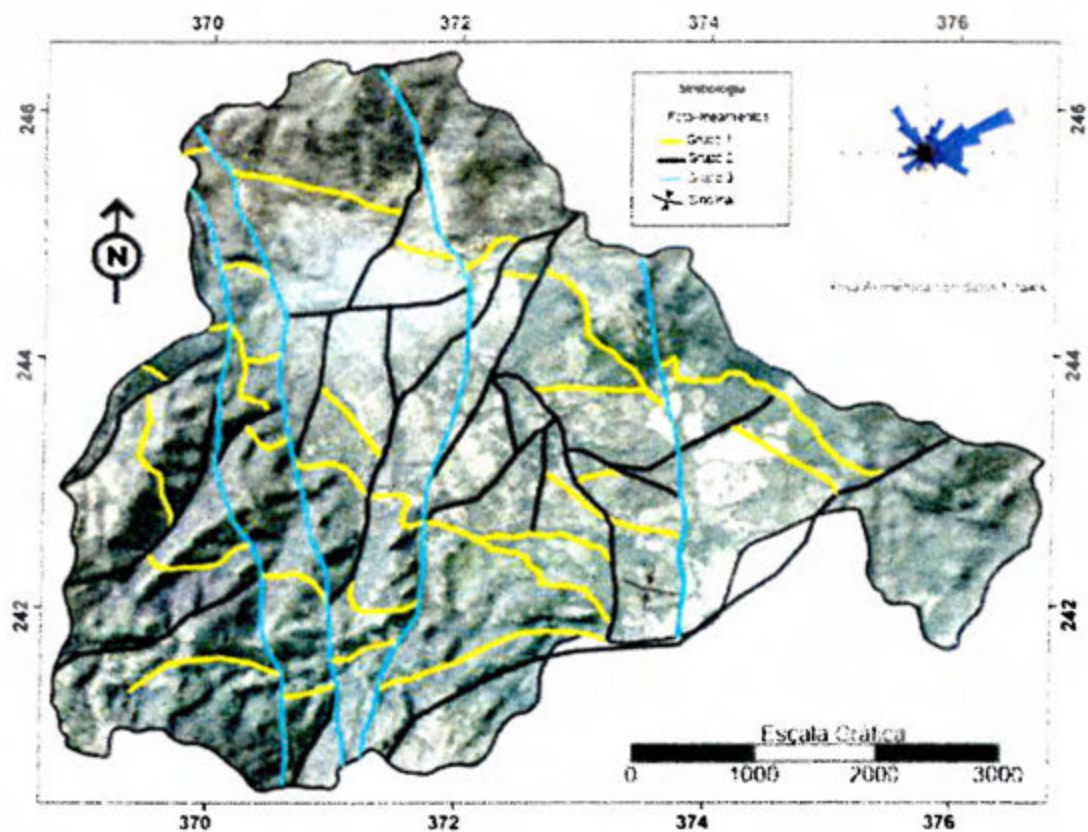


Figura 19. Mapa de foto-lineamientos y rasgos estructurales de la zona de estudio

Con toda esta información, se construyó un mapa de zonas de densidad de fracturación como lo muestra la Figura 20 a continuación.

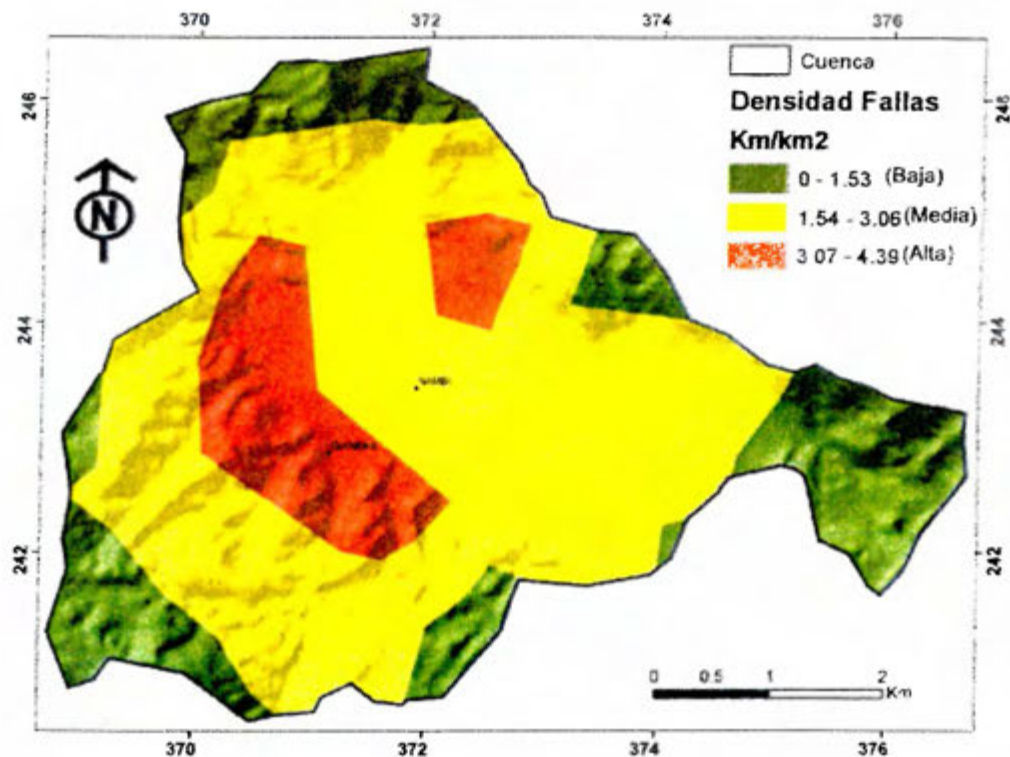


Figura 20. Mapa de distribución de zonas por densidad de Fracturación, con base a foto-lineamientos y fracturas geológicas.

La Figura 20 muestra claramente una densidad de fracturación alta en el sector SW de la cuenca al pie de los cerros localizados en esta zona, también hacia el pie del Cerro los Santos sector Norte del área estudiada, en estos puntos afloran rocas sedimentarias fracturadas de la Fm. Sabana Grande y Fm. Nambí. Las zonas de baja fracturación, se encuentran hacia las partes más altas de la cuenca, donde predomina el afloramiento de Basaltos del Complejo Nicoya. Por tanto se deduce que las zonas con fracturaciones medias a altas, se encuentran afectando a rocas sedimentarias de las Formaciones Sabana Grande y Formación Nambí, situación lógica más si consideramos que estas rocas en comparación con los basaltos del Complejo Nicoya son menos resistentes a los esfuerzos compresivos y distensivos por su naturaleza de menor densidad y dureza, esta situación fue observado en campo.

6.1.4 Modelo de elevación Digital y Mapa de pendientes

Con las curvas de nivel existentes dentro del área analizada, se construyó el correspondiente Modelo de Elevación Digital (MED) de la cuenca alta del río Grande. En la Figura 21 se observa, que la parte media de la cuenca está constituida por una zona plana, con rangos de elevaciones entre los 100 a 164 m.s.n.m., mientras que las zonas más altas se encuentran hacia los bordes norte y sur de la cuenca, alcanzando elevaciones de 700 m.s.n.m., en el sector sur de la misma.

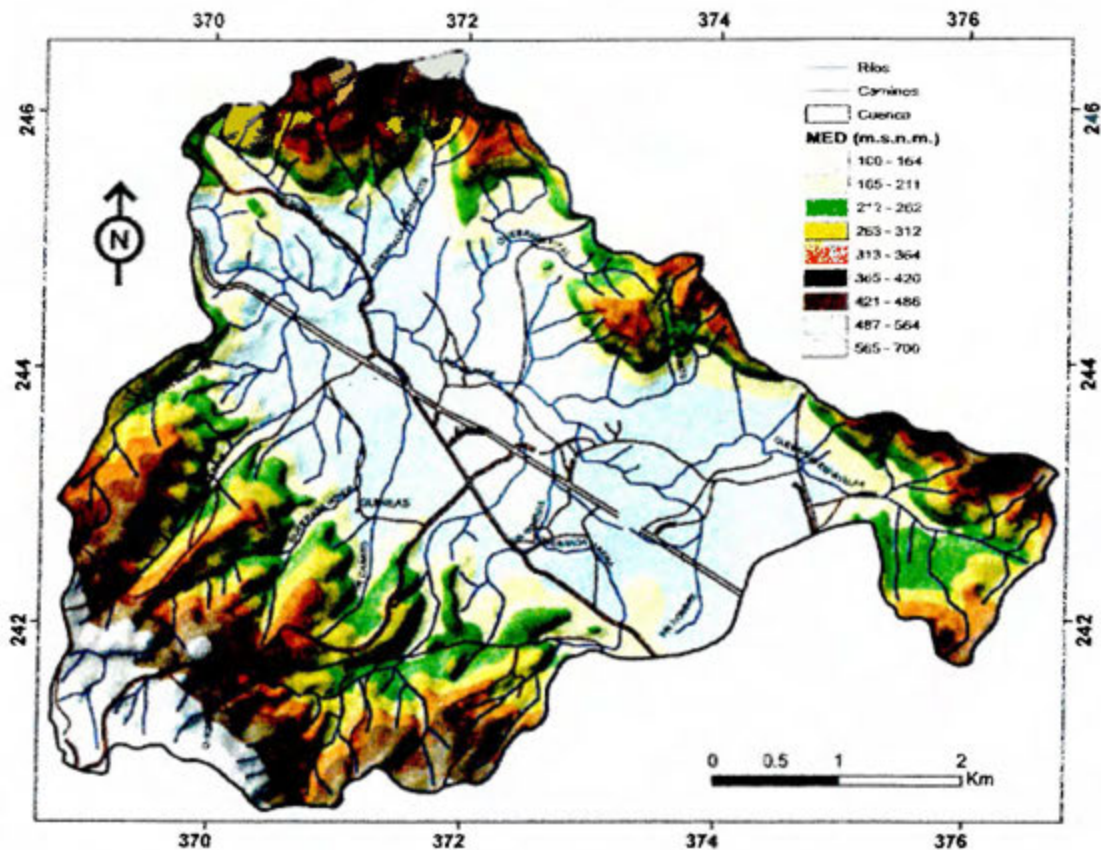


Figura 21. Modelo de Elevación Digital de la cuenca alta del río Grande.

El cauce principal está representado por el río Grande el cual discurre en sentido SE-NW, teniendo como afluentes en orden de importancia, quebrada Espavelar hacia el Este, quebradas Ponedero y Peje hacia el sur y quebradas Pital y Sonzapote hacia el Norte.

Tomando como base el MED se derivó el mapa de pendientes (Figura 22), el cual nos muestra que la mayor parte del área de la cuenca, está cubierta por pendientes menores a 3% ubicadas hacia el sector central del área estudiada. Las pendientes altas se encuentran

ubicadas hacia los bordes de la cuenca y se encuentran entre los 31 a 60%, teniendo pendientes intermedias entre ambos extremos de 9 al 30%.

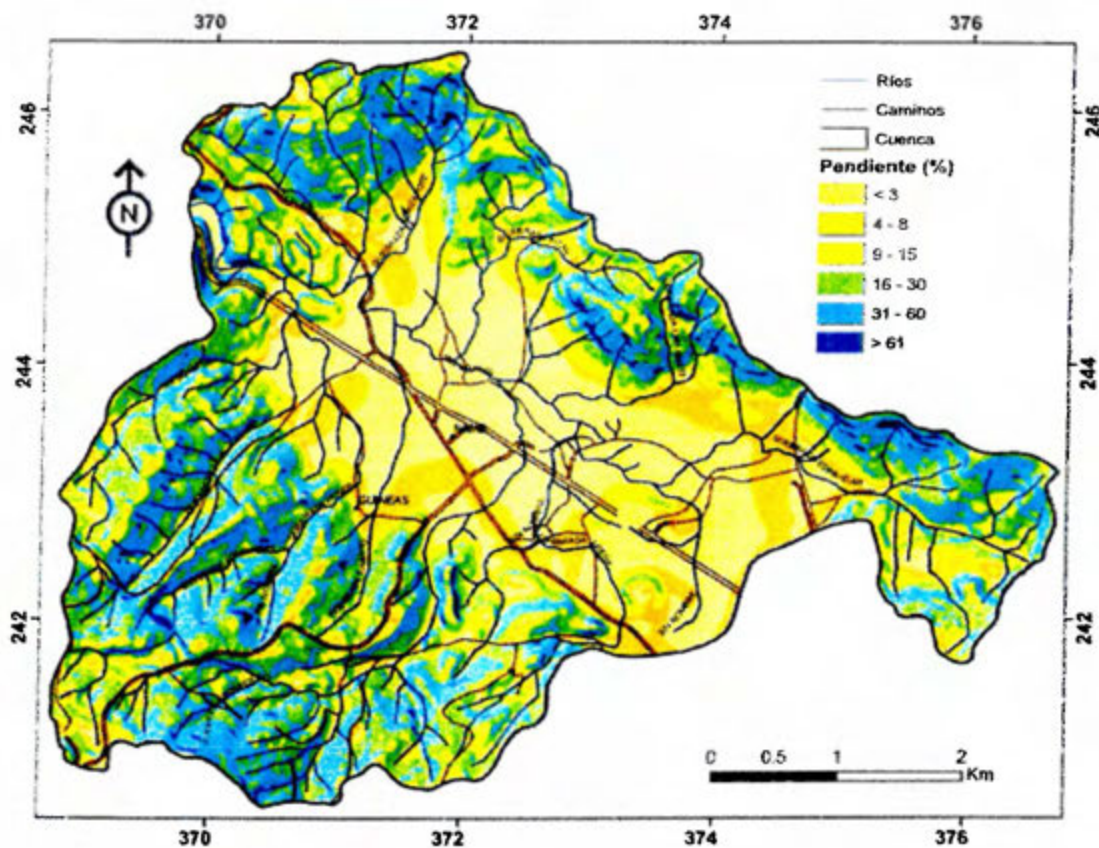


Figura 22. Mapa de distribución de pendientes de la cuenca alta del río Grande.

6.1.5 Unidades Hidro-Geomorfológicas

Con base a la información de densidades de drenaje, identificación de estructuras geológicas (foto-lineamientos) y el mapa de pendientes se procedió a establecer las unidades geomorfológicas de la zona. Estas unidades se derivan de una mezcla algebraica de mapas, mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica de uso libre. Primero que todo se tomó como base la Figura 16 (mapa de distribución de densidades de drenajes). Asumiendo que en la zona existen rocas fracturadas con un comportamiento mecánico similar, podemos deducir que las densidades de drenajes altas corresponden a zonas poco permeables, donde los procesos de erosión y escurrimiento predominan sobre los procesos de infiltración, mientras que zonas de densidades de drenajes bajas representan sitios o áreas donde los procesos de infiltración predominan sobre los procesos

de escurrimiento del agua superficial (zonas porosas). Por tanto se realiza una reclasificación del mapa de densidades de drenaje de la siguiente manera:

1. A zonas de densidades de drenajes bajos se les asignó un peso de 2.
2. A zonas de densidades de drenajes medios se les asignó un peso ponderado de 1.
3. Mientras que a las zonas de drenajes altos se les asignó un peso de 0.

Con base a estos criterios, se construyó la Figura 23, la cual representa las densidades de drenajes de la zona de forma recalificada, según su peso en relación a la porosidad relativa de la roca.

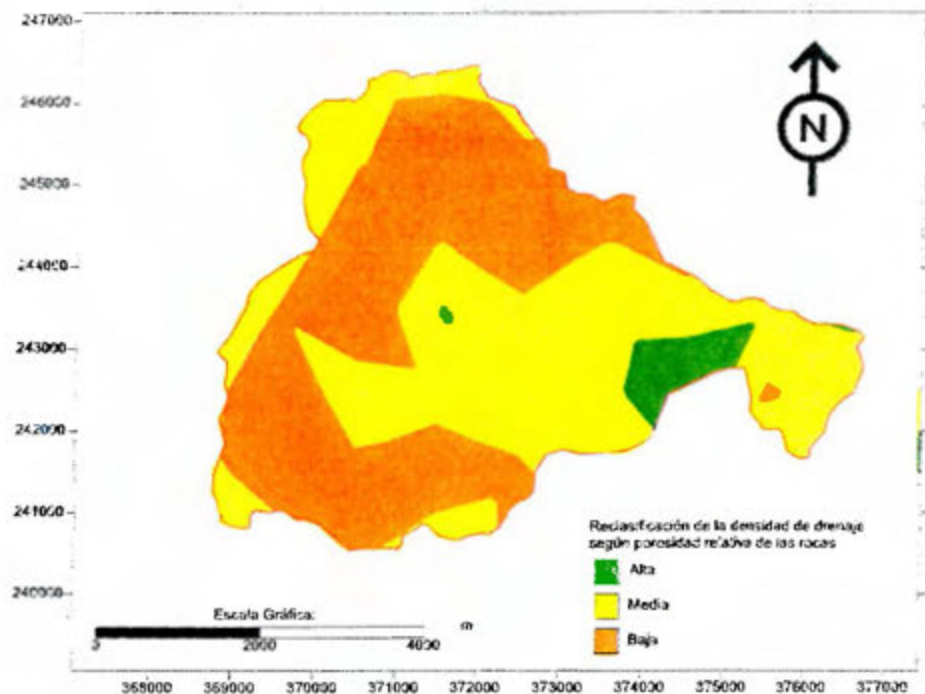


Figura 23. Mapa de densidades de drenajes según porosidad relativa de la roca. Escala según cuadrícula geográfica cada 1000 m.

Posteriormente se procedió a reclasificar el mapa de densidades de foto-lineamientos o densidades de zonas fracturadas de la Figura 20, de la siguiente manera:

1. Zonas de fracturación alta, corresponden a zonas con mayor porosidad secundaria de la roca, por tanto se les asigna un peso de 3.
2. Zonas de fracturación intermedia corresponden a zonas de fracturación secundaria intermedia de la roca, por tanto se le asigna un peso de 2.
3. Zonas de fracturación baja corresponden a zonas de fracturación secundaria baja de la roca, por tanto se le asigna un peso de 1.

Con base a todo lo anteriormente descrito y con el objetivo de localizar espacialmente las zonas con mayor porosidad relativa de la roca, se hace una mezcla algebraica de mapas, sumando los mapas reclasificados de la densidad de drenaje más el mapa de densidades de fracturación. El resultado de la matriz algebraica de estos mapas se muestra en el Cuadro 1 a continuación

Cuadro 1: Matriz algebraica correspondiente a la suma de los mapas reclasificados de Densidad de Drenaje y Densidad de Fracturación

Mapa de Fracturación		Baja	Media	Alta	
		1.00	2.00	3.00	
Mapa DD	Baja	2.00	3.00	4.00	5.00
	Media	1.00	2.00	3.00	4.00
	Alta	0.00	1.00	2.00	3.00

Por tanto con base en el Cuadro 1, se establecen como zonas de porosidades relativas bajas aquellas con valores de 1-2, zonas de porosidades relativas intermedias de 3 y zonas de porosidades altas de 4-5, el resultado gráfico de este análisis se observa en la Figura 24.

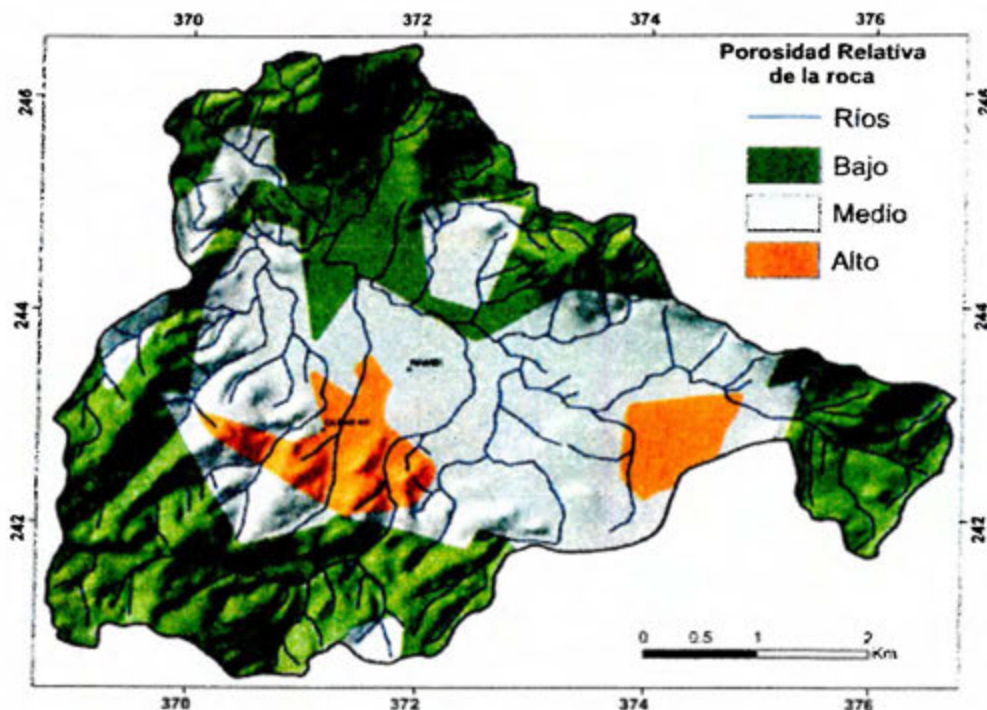


Figura 24. Mapa de porosidades relativas de las rocas.

Con base a la Figura 24 en cuanto a la porosidad relativa de la roca podemos mencionar:

1. Las porosidades bajas se encuentran ubicadas hacia las zonas altas y escarpadas del área de estudio, donde predominan los basaltos del Complejo Nicoya y la Formación Sabana Grande poco fracturada.
2. Las porosidades intermedias, se localizan predominantemente entre las Formaciones Sabana Grande y la Formación Nambí en las partes centrales del área estudiada.
3. Porosidades altas, se localizan en zonas específicas, la primera hacia el sector Central y Sur de la cuenca donde se ubica la comunidad de Las Guineas, en este punto, afloran rocas de la Fm. Sabana Grande (muy fracturadas) y depósitos Coluvio Aluviales de Pie de Monte. La segunda zona con porosidad alta, se ubica hacia el sector Este de la cuenca, allí afloran rocas recientes de origen coluvio aluvial las cuales sobreyacen la secuencia carbonatada de la FM. Piedras Blancas y FM. Curú.

Desde el punto de vista hidro-geomorfológico, es de esperarse que zonas con porosidades relativas altas, correspondan a zonas con un potencial hidrogeológico alto, mientras que zonas con porosidades relativas bajas, correspondan a zonas con un potencial hidrogeológico reducido.

Cualitativamente hablando, se podría esperar que las zonas delimitadas como superficies de porosidades altas, constituyan sectores con un potencial más apto para la perforación de pozos de abastecimiento de agua subterránea, principalmente aquellos sectores con pendientes bajas que representen zonas planas. Es importante destacar, que las áreas con porosidades intermedias, cubren prácticamente toda la zona baja de la cuenca, donde afloran predominantemente rocas de la Formación Nambí y depósitos Coluvio Aluviales Recientes.

Tomando como base el mapa de porosidades relativas (Figura 24) más el mapa de pendientes del terreno reclasificado (Figura 25), se realiza una segunda reclasificación, con el propósito de generar el mapa de unidades hidro-geomorfológica final (Figura 26). La reclasificación se realiza de la siguiente manera:

1. Zonas con porosidades relativas altas se les asignó un peso de 3.
2. Zonas con porosidades relativas intermedias se les asignó un peso de 2
3. Zonas con porosidades relativas bajas se les asignó un peso de 1.
4. Pendientes mayores al 30% de inclinación se les asignó un peso de 0.
5. Pendientes entre los 16 a 30% de inclinación se les asignó un peso de 1.
6. Pendientes entre los 0 a 16% de inclinación se les asignó un peso de 2.

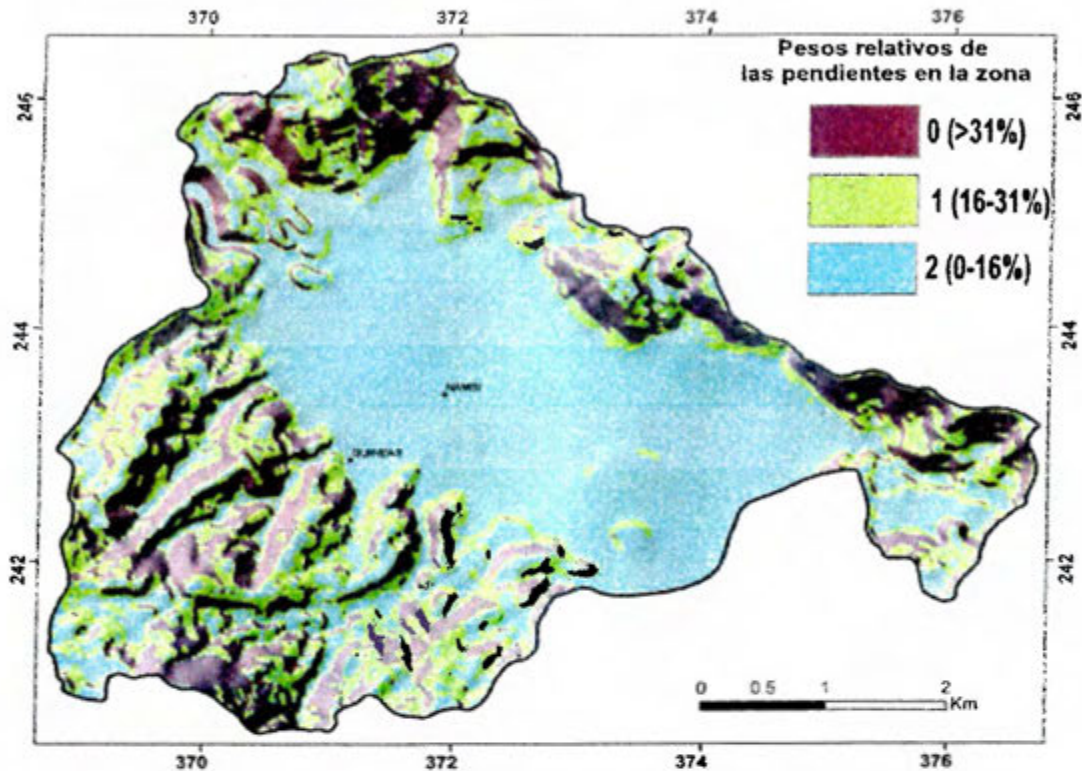


Figura 25. Mapa de reclasificación de las pendientes.

Es importante destacar que los rangos de pendientes se escogieron con base a la distribución espacial de las mismas dentro de la cuenca, ya que se observa que las zonas planas están cubiertas por pendientes entre los 0-16% (parte central de la cuenca), mientras que las pendientes intermedias que constituyen la interface entre el valle y la zona montañosa se encuentran entre los 16-30%, por tanto las pendientes altas son aquellas mayores a partir del 30% y más del 61%. Tomando en cuenta que zonas con pendientes altas poseen mayor potencial de escurrimiento, por tanto menor potencial de infiltración se les asignó un peso de 0, mientras que zonas con pendientes bajas donde la circulación del agua superficial es más lenta, por tanto representan zonas con mayor potencial de infiltración, se les asigna un peso de 2. Con base a todo lo anteriormente expuesto, se crea la matriz algebraica, correspondiente a la suma de los mapas reclasificados de pendientes y zonas de porosidad relativa de la roca, obteniendo el siguiente resultado (Cuadro 2).

Cuadro 2: Matriz algebraica correspondiente a la suma de los mapas reclasificados de Porosidad Relativa y Pendientes del terreno.

Mapa pendientes ponderadas			0-16%	16-30%	>30%
			2	1	0
Porosidad R	Baja	1	3	2	1
	Media	2	4	3	2
	Alta	3	5	4	3

Por tanto con base en el Cuadro 2, se establecen como zonas N°1 aquellas con valores matriciales de 1-2, zonas N°2 las que presentan valores matriciales de 3 y zona N°3 a áreas con valores ponderados de 4-5, el resultado gráfico de este análisis se observa en la Figura 26, estableciéndose finalmente las siguientes unidades hidro-geomorfológicas.

6.1.5.1 Unidad hidro-geomorfológica Z1

Con base a la Figura 26, esta zona cubre toda la parte alta de la cuenca, presentando pendientes entre los 16% a mayores del 31% con altas densidades de drenajes, constituidas principalmente por zonas de baja densidad de fracturación donde predominan rocas basálticas del Complejo de Nicoya y rocas sedimentarias silíceas de la Fm. Sabana Grande. Desde el punto de vista potencial en el almacenamiento y recarga hidrogeológica, estas zonas pueden considerarse como áreas de bajo potencial, debido a las altas pendientes y bajas porosidades relativas de las rocas presentes, por tanto las zonas de mayor recarga en estas áreas, podrían quedar circunscritas al trazo de fracturas e interconexión entre estas.

6.1.5.2 Unidad hidro-geomorfológica Z2

Con base a la Figura 26, esta zona cubren partes altas e intermedias de la cuenca, presentando pendientes entre los 16% a 30% con valores intermedios de densidades de drenajes, constituidas principalmente por zonas de media a baja fracturación donde predominan rocas basálticas del Complejo de Nicoya, rocas sedimentarias silíceas de la FM. Sabana Grande y en menor medida rocas carbonatadas de la Fm. Nambí. Desde el punto de vista de potencial en cuanto al almacenamiento y recarga del agua subterránea, estas superficies pueden considerarse como áreas de mediano potencial, debido a la presencia de pendientes intermedias y medianas porosidades relativas de las rocas, por tanto las zonas con mayor potencial de recarga en estas áreas, se encuentran hacia el sector Norte de la cuenca, donde aflora la secuencia carbonatada de la FM. Nambí.

6.1.5.3 Unidad hidro-geomorfológica Z3

Esta zona cubre la mayor parte del Valle tectónico del río Grande (zonas más planas), presentando pendientes entre los 0 a 16% con valores bajos de densidades de drenajes, constituidas principalmente por zonas de alta fracturación, donde predominan rocas carbonatadas de las Formaciones Nambi, Piedras Blancas y Curú así como un reducido sector de la Fm. Sabana Grande hacia el Sur del Valle. Desde el punto de vista hidrogeológico, esta área podrían representar zonas con mayores potencial de recarga y descarga de agua subterránea, debido a la existencia de pendientes relativamente bajas, con presencia de rocas con alto potencial de porosidad por fracturación (Figura 26).

Con base en todo el análisis hidro-geomorfológico realizado se obtuvo los siguientes resultados:

1. Las zonas con pendientes altas, densidades de drenajes altos y poca fracturación, podrían corresponder a zonas de bajo potencial de infiltración, recarga y descarga acuífera.
2. Las áreas con pendientes bajas, densidades de drenajes bajos y alta fracturación, podrían presentar un potencial relativo alto a los procesos de recarga, infiltración y descarga acuífera.
3. La interconexión de fracturas en partes altas con pendientes medias a bajas podrían constituir zonas de recargas localizadas, que alimentan el almacenamiento y la descarga en las partes más bajas de la cuenca, principalmente en aquellas fallas que cruzan la cuenca analizada en sentido S-SE a N-NW (grupo de fracturas 3).

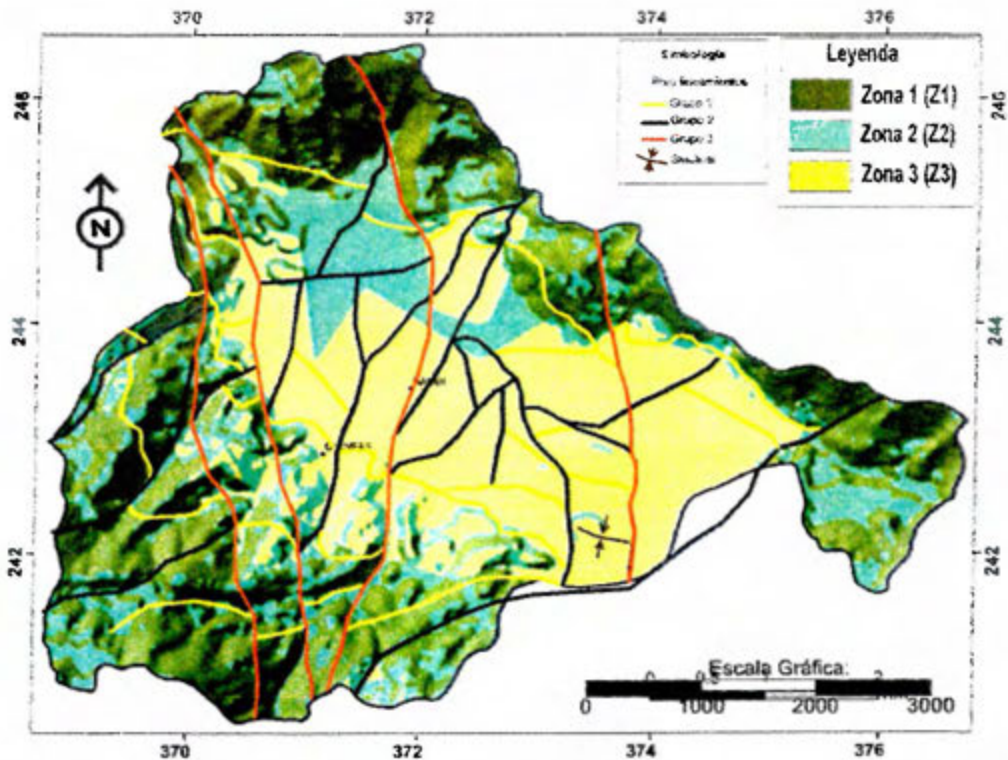


Figura 26. Mapa de Unidades Hidro-geomorfológicas.

6.2 Características geo-estructurales

Para la construcción de este apartado se utilizó como base el levantamiento geo-estructural de campo (Ver Apéndice 2), los resultados del análisis de fotografía aérea, el Modelo de Elevación Digital, el mapa de pendientes, levantamientos de diaclasas o fracturas realizadas en campo, clasificaciones de macizos rocosos con base a la plantilla de clasificación de Bieniawski (en Gonzáles, 2002) y la información bibliográfica existente. Las fallas principales ubicadas dentro del área de estudio, fueron reconocidas por sus características geomorfológicas y afloramientos en campo, así como desplazamientos sugestivos de bloques y cauces de agua. Por tanto a continuación se describirán las estructuras geológicas más importantes encontradas en la zona de estudio, divididas en: fallas Paleo-Tectónicas (más antiguas) y Fallas Neotectónicas (fallamiento más reciente), esto se realizó tomando el criterio de (Denyer et al., 2014) el cual establece las deformaciones Neotectónicas *"como aquellas que empezaron en algún momento del Neógeno, por causa de un proceso tectónico determinado que perdura hasta hoy en día"*. Con base a lo anterior, se dividieron las estructuras geológicas encontradas en dos grandes grupos, Estructuras Paleotectónicas y Fallamiento neotectónico.

6.2.1. Estructuras Paleotectónicas

Se encuentran representadas por fallas con rumbos predominantes W-NW a E-SE y NE-SW a N-S. Las fallas con trazos en dirección N-S a NE-SW, corresponden a fallas de desplazamiento de rumbo de tipo dextral (Fallas La Tranquera y Falla Cordón). En campo se lograron medir direcciones de buzamiento de estos sistemas en 3 diferentes puntos. Con base en el análisis estructural realizado en este punto, la Rosa asimétrica y la Red estereográfica de Schmidt (hemisferio inferior), da como resultado planos de fallas con rumbo N10-20°E y direcciones de buzamiento hacia el SE, con ángulos de inclinación entre los 63 a 88° (Figura 27).

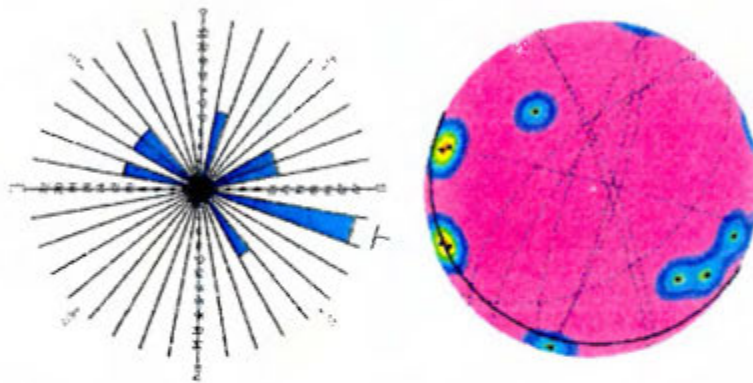


Figura 27. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla La Tranquera.

El segundo afloramiento importante donde se encuentran trazos de Fallas Paleotectónicas corresponde al punto 19-7-012-2 (Falla Barrio Cuba), en este punto existe un macizo de III categoría (media), con separaciones entre diaclasas de 20 a 60 cm y longitudes entre los 1-3 m antes de intersectarse unas con otras, la abertura de las discontinuidades es de 1-5 mm sin relleno, ligeramente rugosas y sin alteración meteórica, los anchos de las zonas de Falla se encuentran entre los 50 a 60 m (Fotografías 5 y 6) .



Fotografías 5 y 6. Muestra el sitio conocido como Barrio Cuba (19-7-012-2), donde afloran materiales de la FM. Curú, los cuales son cortados por una Falla Paleotectónica de tipo dextral. Fotografía tomada en las coordenadas Lambert Norte 373204-242689.

Con base en el análisis estructural realizado en este punto, la rosa asimétrica y la Red estereográfica de Schmidt (hemisferio inferior), da como resultado planos de fallas con rumbo N20-30°W y direcciones de buzamiento hacia el NE, con ángulos de inclinación entre los 70 a 90° (Figura 28). Esta falla limita al este un pliegue sinclinal con charnela sumergida en dirección Este (Denyer et al., 2014). Esta falla de desplazamiento de rumbo tiene una componente normal, donde el bloque del sector Oeste, baja con relación al bloque del sector Este de la falla, esto es fácilmente apreciable por el cambio topográfico que se percibe al conducir sobre la carretera interamericana en dirección Nicoya-Santa Cruz.

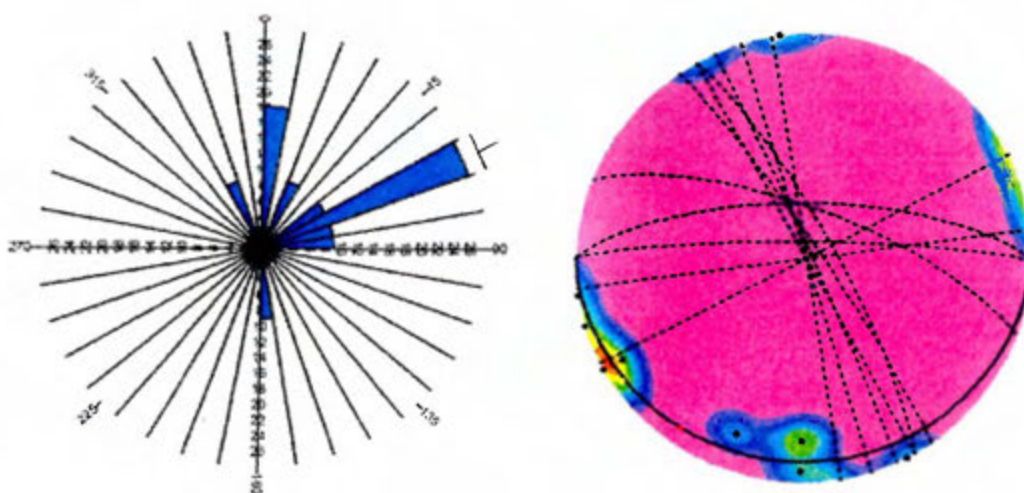
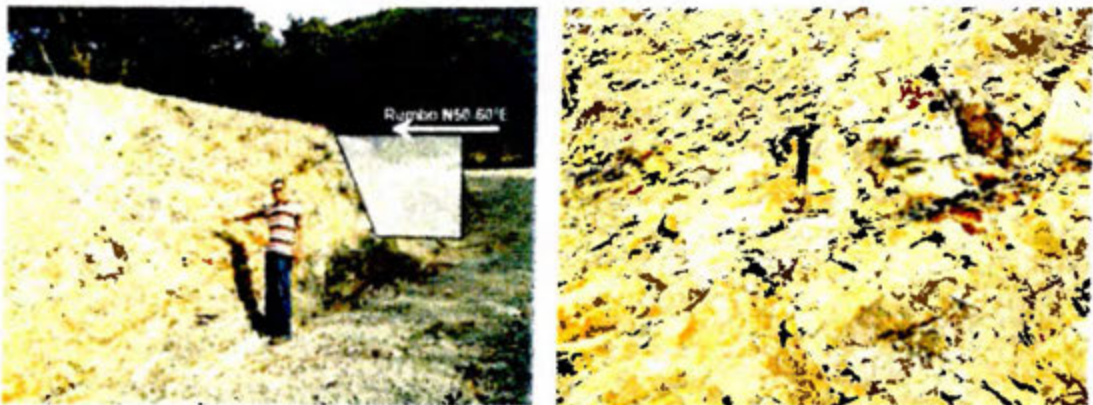


Figura 28. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Barrio Cuba.

El tercer afloramiento importante de fallas Paleotectónicas corresponde al punto 19-7-012-3 (Falla Cordón), en este punto existe un macizo de IV categoría (mala calidad), con separaciones entre diaclasas de 20 a 60 cm y longitudes entre los 1-3 m antes de intersectarse unas con otras, la abertura de las discontinuidades es de 0.1-1.0 mm sin relleno, ligeramente rugosas y sin alteración meteórica, los anchos de las zonas de Falla se encuentran entre los 50 a 60 m (Fotografías 7 y 8) .



Fotografías 7 y 8. Muestra el sitio de afloramiento (19-7-012-3), donde afloran materiales de la FM. Sabana Grande, cortados por la Falla Cordón. Fotografía tomada en las coordenadas Lambert Norte 375129-244253.

Con base en el análisis estructural realizado en este punto, la Rosa asimétrica y la Red estereográfica de Schmidt (hemisferio inferior), da como resultado planos de fallas con rumbo N50-60°E y direcciones de buzamiento hacia el NW, con ángulos de inclinación entre los 65 a 88° (Figura 29). En este sitio se encuentran planos con direcciones de buzamiento hacia el NE y con bajo ángulo de inclinación entre los 18 a 40°, estos planos se asocian a fracturas pertenecientes a la Falla Morote ubicada muy cerca de este sitio y en dirección SW.

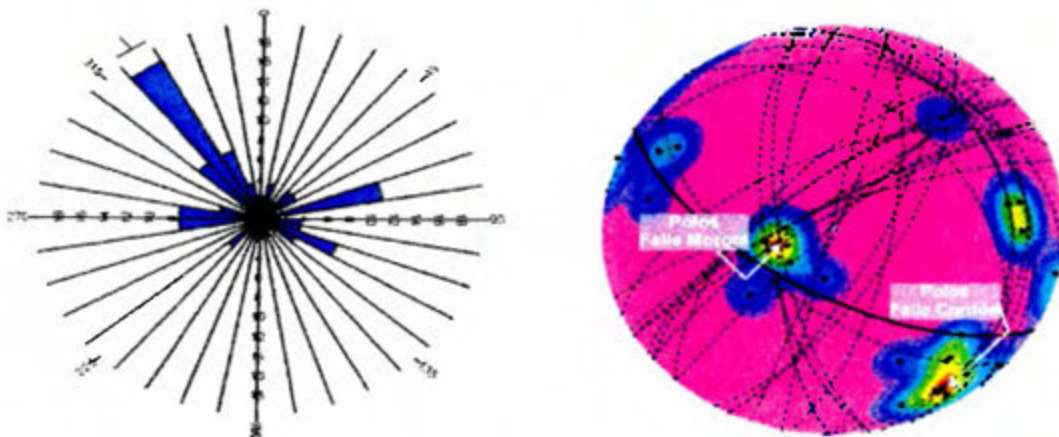


Figura 29. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Cordón.

El segundo grupo importante de fallas Paleotectónicas se encuentra ubicado hacia el sector S-SW de la cuenca, cortando basaltos del Complejo Nicoya y Rocas sedimentarias de la FM. Sabana Grande. Por contactos geológicos y posición estratigráfica para estas fallas, se asumen movimientos de tipo distensivos (normales) que ponen en contacto brusco los basaltos del Complejo de Nicoya y la Fm. Sabana Grande, esta condición se puede apreciar en el camino que comunica a las comunidades de Nambí y Juan Díaz hacia el Sur del área estudiada.

6.2.2. Estructuras Neotectónicas

Como anteriormente se mencionó con base en (Denyer et al., 2014) se nombran como Fallas neotectónicas, aquellas estructuras geológicas del Mioceno Superior a más jóvenes. En el área de estudio estas estructuras están relacionadas con fallas que cortan la cuenca del río Grande en sentido predominantemente N-S a NW-SE, estas estructuras se asocian al sistema de Fallas Belén y Quirimán.

6.2.2.1. Sistema de Fallas Belén

El mejor afloramiento de esta falla se encuentra en el sitio conocido como las vueltas de Nambí, punto 10-5-012-1 (Falla Belén), en este punto las fracturas cortan rocas de la Fm. Nambí, las cuales constituyen un macizo de V categoría (muy mala calidad), con separaciones entre diaclasas de 20 a 60 cm y longitudes entre los 3-10 m antes de intersectarse unas con otras, la abertura de las discontinuidades es de 1-5 mm con relleno duro menor a 5 mm de espesor y superficie ondulada, con alteración meteórica moderada, los anchos de las zonas de Falla se encuentran entre los 100 a 200 m (Fotografías 9 y 10).



Fotografías 9 y 10. Muestra el sitio de afloramiento (10-5-012-1), donde afloran materiales de la FM. Nambí, cortados por la Falla Belén. Fotografía tomada en las coordenadas Lambert Norte 370081-244641.

Con base al análisis estructural realizado en este punto, la Rosa asimétrica y la Red estereográfica de Schmidt (hemisferio inferior), da como resultado planos de fallas con rumbo N20-30°W y direcciones de buzamiento hacia el NE, con ángulos de inclinación entre los 42 a 88°, el tipo de movimiento es predominantemente dextral (Figura 30).

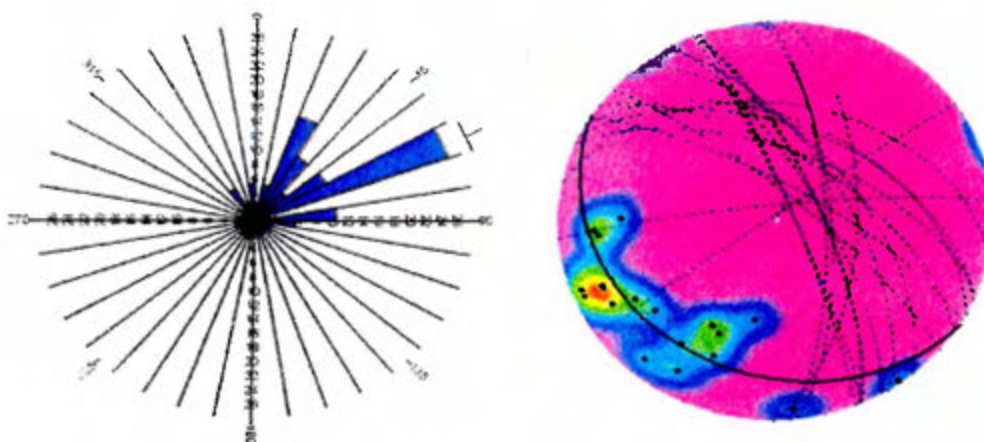


Figura 30. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Belén.

6.2.2.2. Falla Ponedero

El mejor afloramiento de esta falla se encuentra en el sitio conocido como las Guineas, punto 10-5-012-3 (Falla Ponedero), en este punto las fracturas cortan rocas de la Fm. Sabana Grande, las cuales constituyen un macizo de V categoría (muy mala calidad), con separaciones entre diaclasas de 60 a 200 cm y longitudes entre los 3-10 m antes de intersectarse unas con otras, la abertura de las discontinuidades es de 1-5 mm sin relleno y ligeramente rugosas, con poca alteración meteórica, los anchos de las zonas de Falla se encuentran entre los 50 a 100 m (Fotografías 11 y 12).



Fotografías 11 y 12. Muestra el sitio de afloramiento (10-5-012-3), donde afloran materiales de la FM. Sabana Grande, cortados por la Falla Ponedero. Coordenadas Lambert Norte 371593-242546.

Con base al análisis estructural realizado en este punto, la Rosa asimétrica y la Red estereográfica de Schmidt (hemisferio inferior), da como resultado planos de fallas con rumbo NF a N10°E y direcciones de buzamiento hacia el SE, con ángulos de inclinación entre los 84 a 88°, el tipo de movimiento es predominantemente dextral (Figura 31).

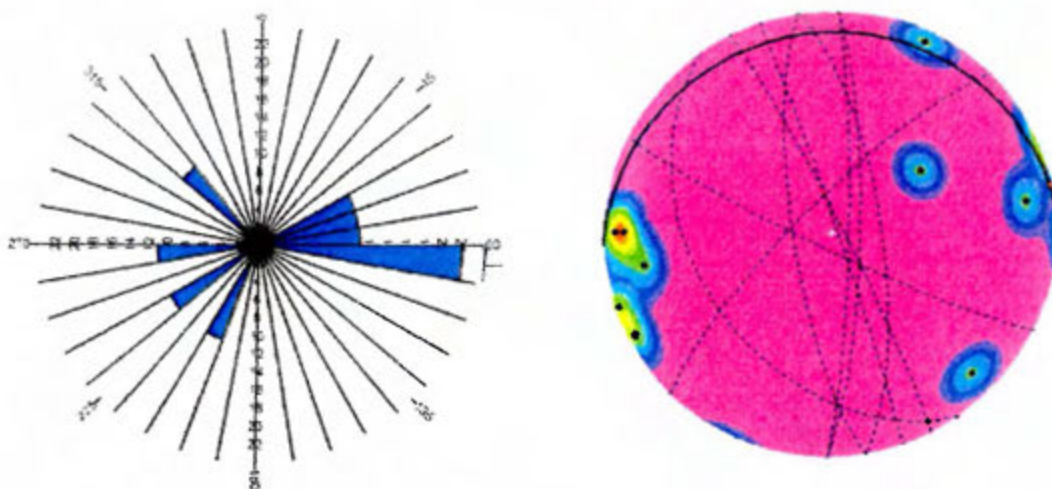


Figura 31. Rosa asimétrica y Red estereográfica de Schmidt, Falla Ponadero.

6.2.2.3. Falla los Santos

Esta falla es difícil de observar en campo, los únicos sitios donde se pudo localizar con claridad, corresponden a los afloramientos Chi-1-31-1-012 y Chi-2-31-1-012, ubicados en las coordenadas geográficas 373636E-243919N y 373595E-244261N. Estos puntos se encuentran en el sector NE del Cerro los Santos, aquí las fracturas cortan rocas de la Fm. Sabana Grande, las cuales constituyen un macizo de V categoría (muy mala calidad) fracturado en todas direcciones, los anchos de las zonas de Falla visibles se encuentran entre los 35 a 50 m (Fotografías 13 y 14).



Fotografías 13 y 14. Muestra el sitio de afloramiento de la falla Los Santos (Chi-2-31-1-012) cortando rocas de la Fm. Sabana Grande, en este punto existe un manantial o brote de agua. Fotografías tomadas en las coordenadas Lambert Norte 373595E-244261N.

En los afloramientos de esta falla es difícil localizar fracturación claramente definida, por tanto fue imposible realizar un levantamiento de diaclasas, sin embargo con base a lo observado en campo y el análisis de fotografía aérea realizado, esta falla presenta un movimiento de tipo sinistral, cortando la falla Morote. La falla Los Santos podría asociarse con la Falla Quirimán o bien ser parte de la ramificación del sistema de Fallas Belén, presentando un rumbo predominante Norte Franco (NF) a NW, la misma corresponde a una fractura de desplazamiento de rumbo, con ángulos de inclinación cercanos a la vertical.

6.2.2.4. Falla Morote

Esta falla es difícil de observar en campo, se traza por criterios geomorfológicos, foto interpretación y estudios previos. Denyer et al (2014) considera que la falla Morote tiene un movimiento predominantemente inverso, en el sector central y oeste de la Península de Nicoya y oblicuo inverso-sinistral en el sector Este de la misma. El Cerro los Santos presenta escarpes facetados al SW, lo que sugiere que en este sector el plano principal de falla se inclina en sentido NE. En el camino que conduce a la zona conocida como la Tranquera, se observa las secuencias sedimentarias de la Formación Nambí y Sabana Grande basculadas en sentido $N12^{\circ}E/30-40^{\circ}$, como consecuencia del levantamiento tectónico del bloque Norte de la Falla Morote (Fotos 15 y 16).



Fotografías 15 y 16. Muestra el sitio de afloramiento sobre la calle de la Tranquera (coordenadas 372420E-244680N), se muestra la secuencia sedimentaria de la Fm. Nambi, basculada en sentido NE.

En el sector de la Tranquera, la falla Morote presenta macizos rocosos de muy mala calidad (V) fracturados en todas direcciones, los anchos de zonas de Falla se encuentran entre los 100 a 200 m, presentando un rumbo NW-SE, siendo cortada por fallas de desplazamiento de rumbo tales como: el sistema de Fallas Belén, Ponedero y Falla los Santos.

Es importante mencionar que en las partes más bajas y planas de la cuenca analizada, es común encontrar plegamientos pequeños de longitudes de onda métricas, con ejes en todas direcciones. Se infiere que el proceso de plegamiento dentro de la Fm. Nambi, Piedras Blancas y Curú, es producto de esfuerzos Paleo-tectónicos en este caso sin diferenciar, cortados y desplazados por las fallas de movimiento transcurrente que atraviesan la cuenca analizada en sentido NW-NF. En las Figuras 32 y 33 se presenta un resumen con la ubicación cartográfica de los levantamientos de diaclasa, la Figura 32, ubica las rosas asimétricas, mientras que la Figura 33 ubica las redes estereográficas de Schmidt.

En la Figura 34 se presenta el modelo Geoestructural conceptual de la zona, ubicando las estructuras geológicas más relevantes.

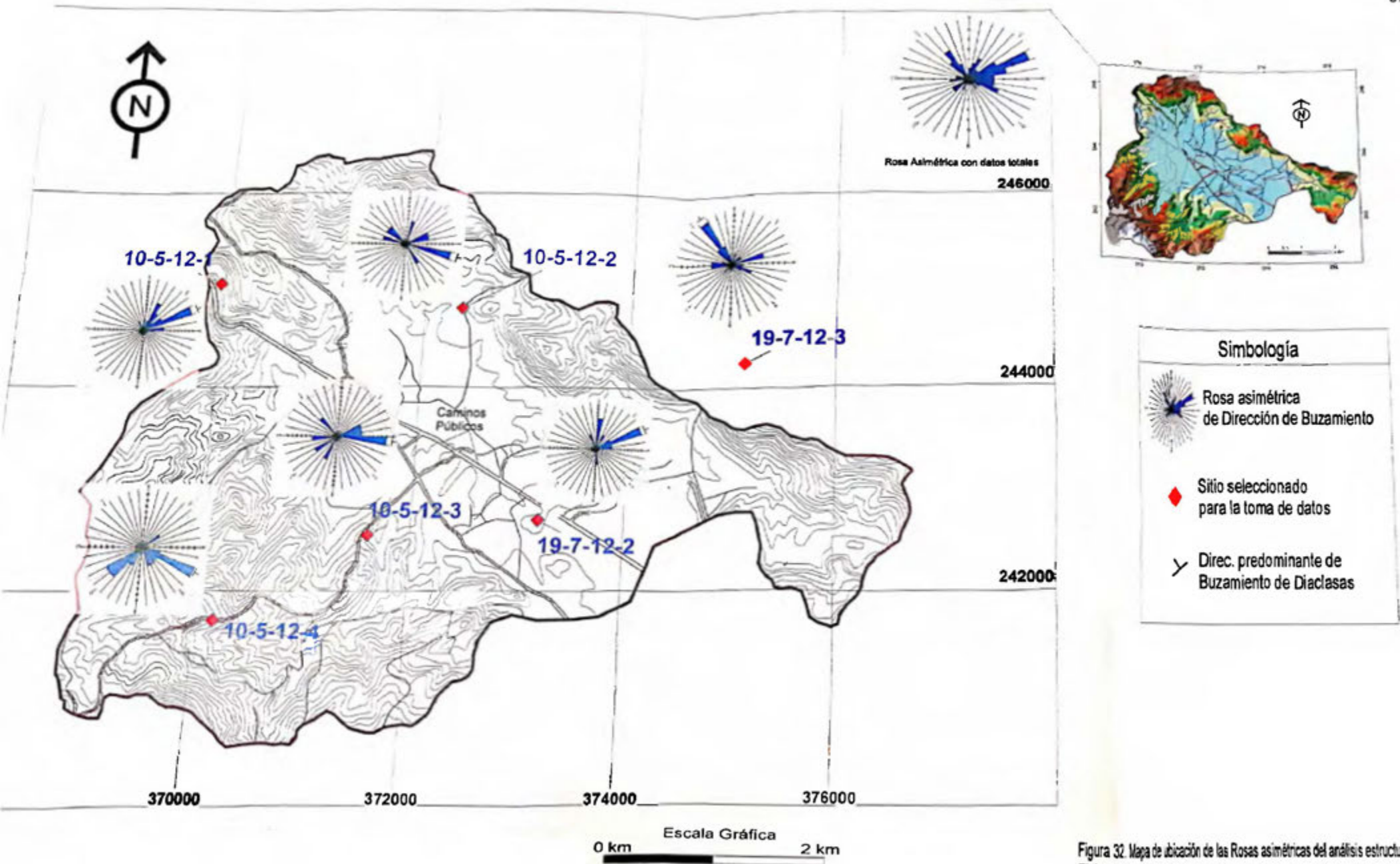


Figura 32. Mapa de ubicación de las Rosas asimétricas del análisis estructural realizado. Elaboración propia

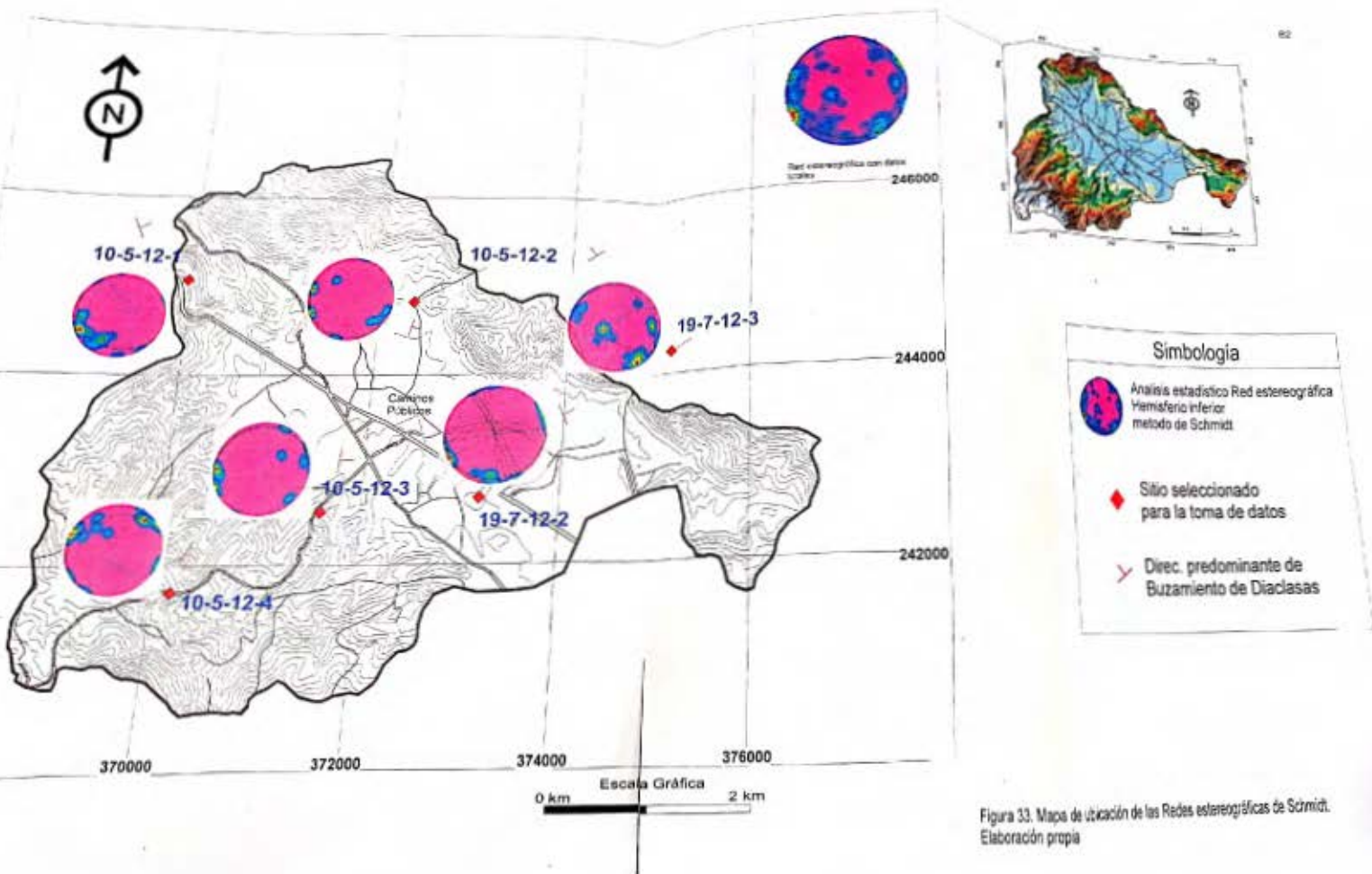


Figura 33. Mapa de ubicación de las Redes estereográficas de Schmitt. Elaboración propia

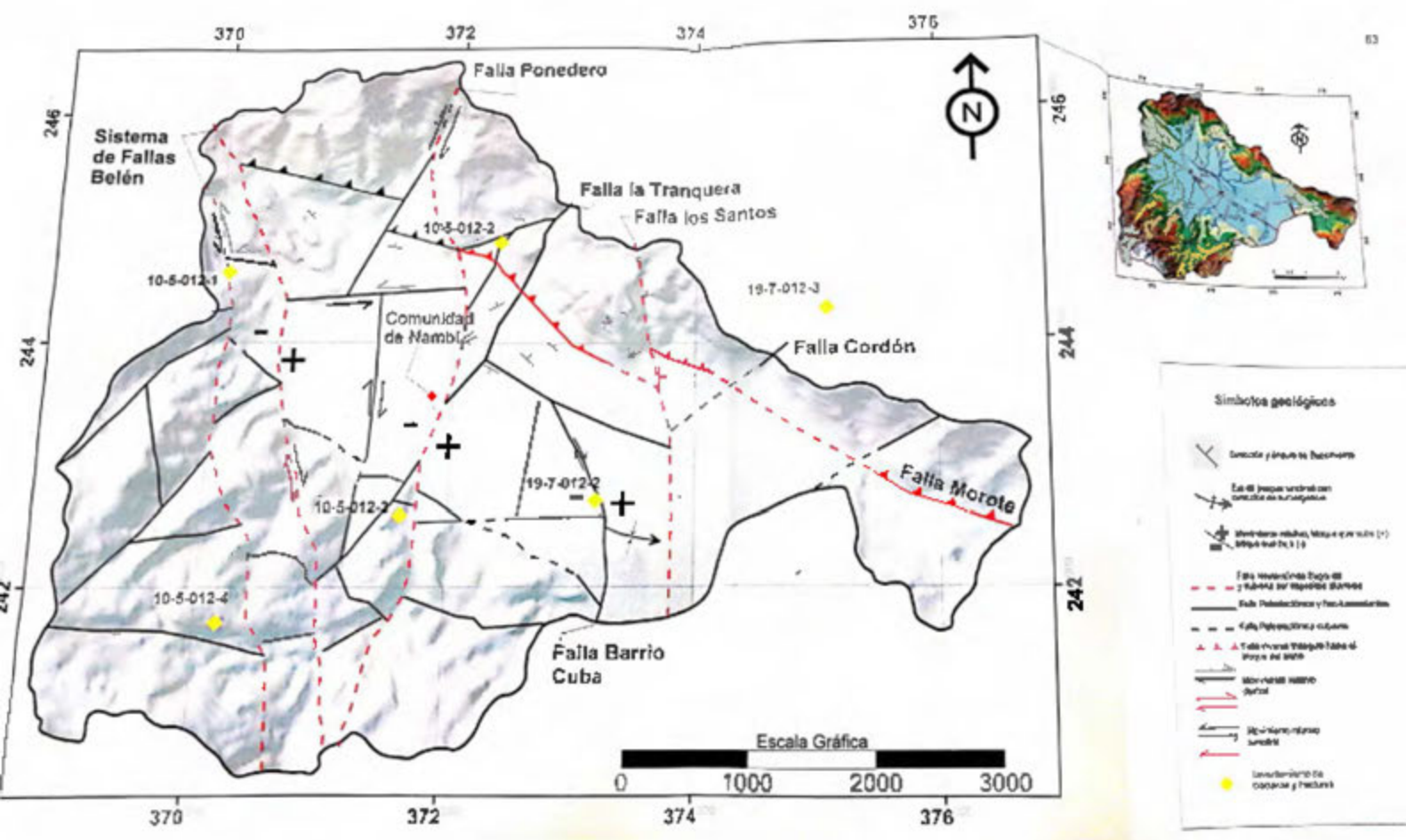


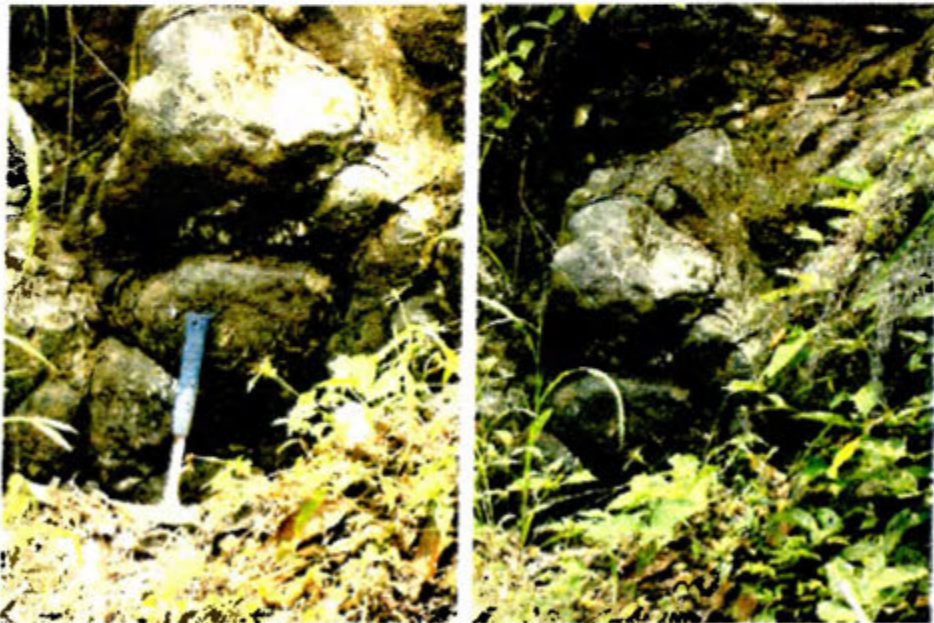
Figura 34. Modelo Geoestructural de la zona de estudio. Elaboración propia

6.3 Características Geológicas del área de estudio

Con base en la información geológica regional existente, el levantamiento geológico de campo y las características geomorfológicas y geo-estructurales anteriormente descritas, se establece un modelo geológico del área estudiada, que describe las formaciones geológicas encontradas desde las más antiguas a las más recientes. Como resultado de esta información tenemos el mapa geológico, la columna estratigráfica y los perfiles geológicos correspondientes resumidos en la Figura 35.

6.3.1. Basaltos del Complejo de Nicoya (JK-CN)

Estas rocas se encuentran aflorantes principalmente hacia el sector SW de la cuenca del Rio Grande. En la zona los basaltos se caracterizan por presentar textura afanítica, colores grises verdosos a grises oscuros en estado sano, con vetillas milimétricas rellenas de sílice. Entre las coordenadas Lambert Norte 371011-241414 se localizó un macizo rocoso de buena calidad con estructuras en almohadilla (fotografías 17 y 18).



Fotografías 17 y 18. Muestran las estructuras en almohadilla de los basaltos del Complejo Nicoya encontrados entre las coordenadas Lambert Norte 371011E-241414N.

En condiciones meteorizadas los basaltos presentan coloración café a verde amarillento con macizos rocosos de mala a muy mala calidad dependiendo del grado de fracturación.

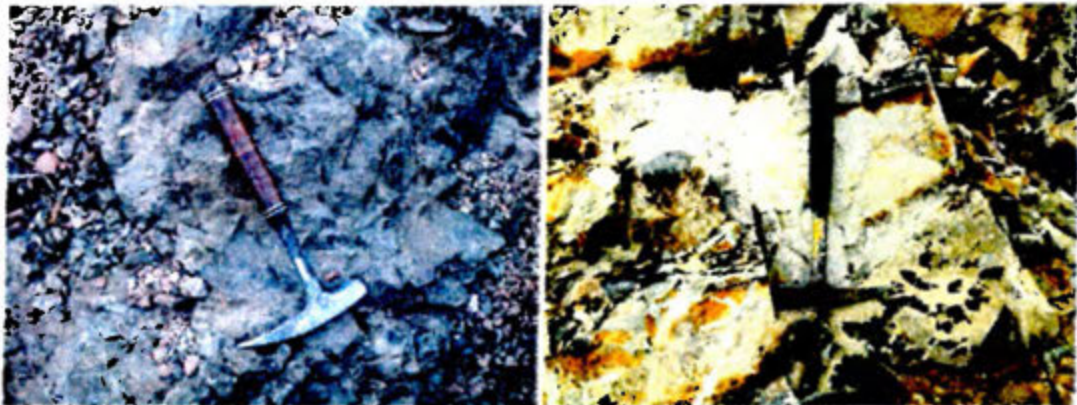
Dentro del área estudiada, se pueden observar espesores de hasta 200 m, pero por el grado de fracturación y plegamiento es muy difícil establecer un espesor máximo.

La edad de los basaltos del Complejo de Nicoya es variada, (Denyer et al., 2014) agrupa la edad de estos materiales en 3 grandes grupos: entre 139-133 Ma, 119-111 Ma y 95 a 88 Ma.

En la zona de estudio los basaltos son sobreyacidos de forma inconforme por la Formación Sabana Grande. Los contactos con esta formación son de tipo discordantes erosivos o por fallas (Denyer et al., 2014), siendo más frecuentes los contactos por fallamiento geológico, como lo muestran los perfiles geológicos de la Figura 13.

6.3.2. Formación Sabana Grande (K-Sg)

Estas rocas se encuentran aflorantes hacia el sector SW y N-NE de la cuenca del Río Grande. Macroscópicamente corresponden con sedimentos pelágicos a hemipelágicos de naturaleza silíceas con estratificación centimétrica como los encontrados en el afloramiento ubicado en las coordenadas 368780E-240703N. Los colores más comunes de estos materiales es el crema, blanco y rojizo dependiendo del grado de meteorización como lo muestran las Fotografías 19 y 20 a continuación.



Fotografías 19 y 20. Muestran afloramientos rocosos de la Formación Sabana Grande. Coordenadas Lambert Norte 371724E-242791N y 374780E-243880N.

Los espesores observables pueden llegar hasta los 150 m, pero por el grado de fracturación y plegamiento es muy difícil establecer un espesor máximo.

Según Denyer et al., (2014) la edad de los sedimentos pelágicos a hemipelágicos de la Formación Sabana Grande presenta un rango entre el Cenomaniano al Santoniano (95-85 Ma).

Dentro del área estudiada la Formación Sabana Grande sobreyace de forma inconforme y en contacto discordante y tectónico a los Basaltos del Complejo de Nicoya, mientras que el contacto superior no pudo ser observado en campo, por lo que se asume lo establecido por

Denyer et al., (2014), donde se menciona que la formación Sabana Grande es sobreyacida de forma discontinua por la Formación Nambí (Fm. Nambí).

6.3.3. Formación Nambí (K-Na)

Estas rocas se encuentran aflorando en toda la parte central de la cuenca. Macroscópicamente corresponden con sedimentos turbidíticos plegados de naturaleza carbonatada, los cuales se dividen en este trabajo en 2 subunidades:

La subunidad inferior, cuyo afloramiento principal se encuentra en las coordenadas 371195 E y 244395 N hacia el sector NW de la cuenca. En este punto la base de la columna estratigráfica está constituida por una brecha fina a media seguida hacia la parte superior por una intercalación de lutitas y areniscas con estratificación centimétrica y de coloración gris claro a gris oscuro con laminación paralela y cruzada. Las brechas se presentan en capas de hasta 40 cm de espesor, constituidas por una matriz areno-arcillosa que corresponde al 50% del total de la roca, esta matriz engloba clastos angulares de hasta 1 cm de diámetro de composición sedimentaria e ígnea. Es común encontrar dentro de estos materiales restos fósiles de *Inoceramus* como lo muestra la Fotografía 21 y 22.



Fotografías 21 y 22. Muestran restos fósiles de *Inoceramus* dentro de la Formación Nambí, afloramiento ubicado en las vueltas de Nambí. Coordenadas Lambert Norte 370086E-244634N.

La Subunidad superior está constituida por una intercalación de paquetes centimétricos de areniscas calcáreas finas a gruesas de coloración gris claro amarillento con microfracturación rellena de calcita. Estas areniscas se encuentran en su mayoría plegadas y conforman topografías de lomas redondeadas las cuales no sobrepasan los 15 m de altura distribuidas de forma aislada en diversos sectores de la cuenca (Fotografías 23 y 24).



Fotografías 23 y 24. Muestran topografías de lomas típicas de la subunidad de areniscas superior de la FM. Nambí y una muestra de roca fresca de las mismas areniscas. Coordenadas Lambert Norte 372590E-244110N.

El espesor de estos materiales es desconocido, en base a (Denyer et al., 2014) la edad de esta Formación varía entre el Turoniano al Coniaciano.

Dentro del área estudiada la Fm. Nambí sobreyace de forma discontinua a la FM. Sabana Grande y es sobreyacida concordantemente por la Formación Piedras Blancas (Denyer et al., 2014).

6.3.4. Formación Piedras Blancas (K-Pb)

Los afloramientos de estas rocas se limitan al sector SE-E de la cuenca. Macroscópicamente corresponden con sedimentos hemipelágicos, representados por una secuencia de calcilitas de coloración blanquecina, intercaladas con areniscas finas de estratificación centimétrica.

Las rocas de esta Formación representan un evento de sedimentación carbonatada hemipelágica, ocurrido entre el Campaniano Superior al Maastrichtiano Inferior Basal (Denyer et al., 2014).

Dentro del área estudiada la FM. Piedras Blancas sobreyace concordantemente a la FM. Nambí y es sobreyacida discontinuamente por la Formación Curú (Denyer et al., 2014), el espesor es desconocido.

6.3.5. Formación Curú (KP-C)

Los afloramientos de estas rocas al igual que la FM. Piedras Blancas, se limitan al sector SE-E de la cuenca. Macroscópicamente la Formación está representada por una intercalación de estratos que van desde los 10 a 22 cm de espesor en su base, constituidos

por areniscas y lutitas de coloración gris claro a gris oscuro, con la presencia de materia orgánica. En la parte superior es común encontrar estratificaciones métricas y decimétricas, con meteorización esferoidal (Fotografías 25 y 26).



Fotografías 25 y 26. Muestran un afloramiento de areniscas grises con estratificación métrica de la Formación Curú, límite SE de la cuenca analizada. Coordenadas Lambert Norte 373204-242689

Astorga (en: Denyer et al, 2014) le asigna un rango de edad entre el Maastrichtiano Medio/superior a Paleoceno Superior.

Dentro del área estudiada la FM. Curú sobreyace de forma concordante a la FM. Piedras Blancas y es sobreyacida discordantemente y erosivamente por los aluviones Recientes.

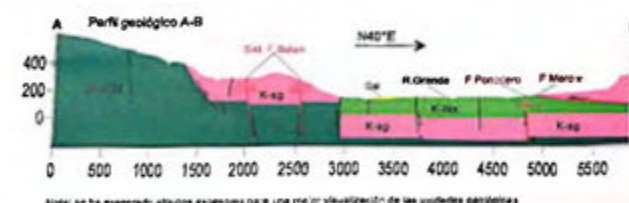
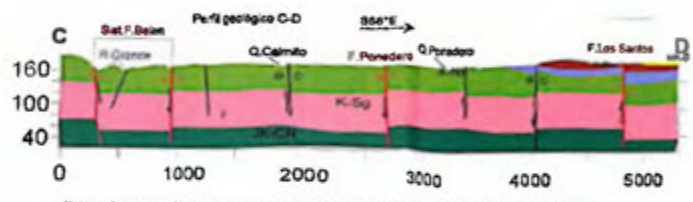
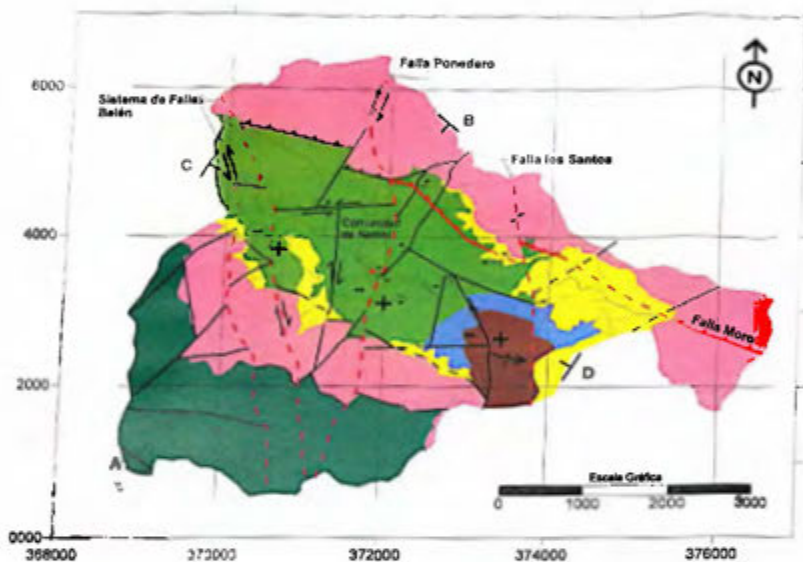
6.3.6. Depósitos coluvio-aluviales.

Estos materiales afloran básicamente al pie de los cerros existentes y principalmente hacia el sector Este de la cuenca. En la zona el espesor de estos materiales no sobrepasa los 20 m. Al pie del cerro Los Santos en las coordenadas 373518 E – 243756 N, el coluvio está representado por un 50% de matriz areno-gravosa de coloración café rojiza a café amarillento, la cual contiene en contacto puntual clastos angulares a sub-angulares de naturaleza sedimentaria (FM. Sabana Grande). Hacia las partes distales de los cerros que rodean el valle de Nambí, el coluvio se vuelve de granulometría fina, con clastos angulares a subangulares de 2 a 3 centímetros de diámetro en contacto puntual dentro de una matriz areno-gravosa de color amarillento. El 98% de los clastos está constituido por lutitas de color crema de la FM. Sabana Grande Ver Fotografías 27 y 28.



Fotografías 27 y 28. Muestran afloramientos de los depósitos coluvio aluviales al pie del cerro los Santos. Coordenadas Lambert 373550E-243710N.

Los depósitos coluvio aluviales Recientes sobreyacen en contacto erosivo a la Formación Sabana Grande, Nambí y Curú, culminando la columna estratigráfica de la zona.



- Símbolos geológicos**
- 60° Dirección y Fugido de la actividad
 - Cauce Pánico
 - Cauce a Nive
 - Eje de pliegue sinclinal con el símbolo de emergencia
 - Movimiento relativo, bloques que sube (+)
 - Bloque que baja (-)
 - Falda de inclinación perfil
 - Estructura de perfil geológico
 - Falda Normal/Inversa Superficie y cubierta por depósitos aluviales
 - Falda Paleontológica
 - Falda Paleontológica cubierta
 - Falda Inversa (triángulo hacia el bloque del techo)
 - Movimiento relativo, bloques que sube (+)
 - Movimiento relativo, bloques que baja (-)
 - Evento Tectónico



Figura 35. Modelo Geológico Conceptual de la zona de estudio. Elaboración propia.

6.4 Características Geofísicas

Con la finalidad de conocer las características geofísicas de la zona, se realizaron en total 14 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), distribuidos estratégicamente en el área estudiada, con el propósito de poder establecer: el nivel estático a profundidad, el espesor de la zona saturada y estimar la porosidad efectiva de las rocas, a partir de las características de resistividad aparente de las mismas en la zona, aplicando los conceptos teóricos y matemáticos descritos en el Capítulo 5 de esta investigación (Marco teórico). Cabe destacar que entre todos los sondeos realizados, el SEV-3, no se pudo ejecutar, debido a la presencia en la parte superior del subsuelo, de suelos arcillosos expansivos con fracturación hexagonal, que no permitieron la debida circulación eléctrica en el subsuelo. Los sondeos se realizaron con aberturas de A/B2 entre los 70 a los 100 m, según las condiciones topográficas del medio. Los datos obtenidos en cada sondeo durante el trabajo de campo se observan en el (Apéndice 3). La ubicación de los distintos sondeos aplicados, pueden ser observados en la Figura 36. En el Cuadro 3 a continuación se muestran los resultados obtenidos durante la campaña geofísica para cada SEV.

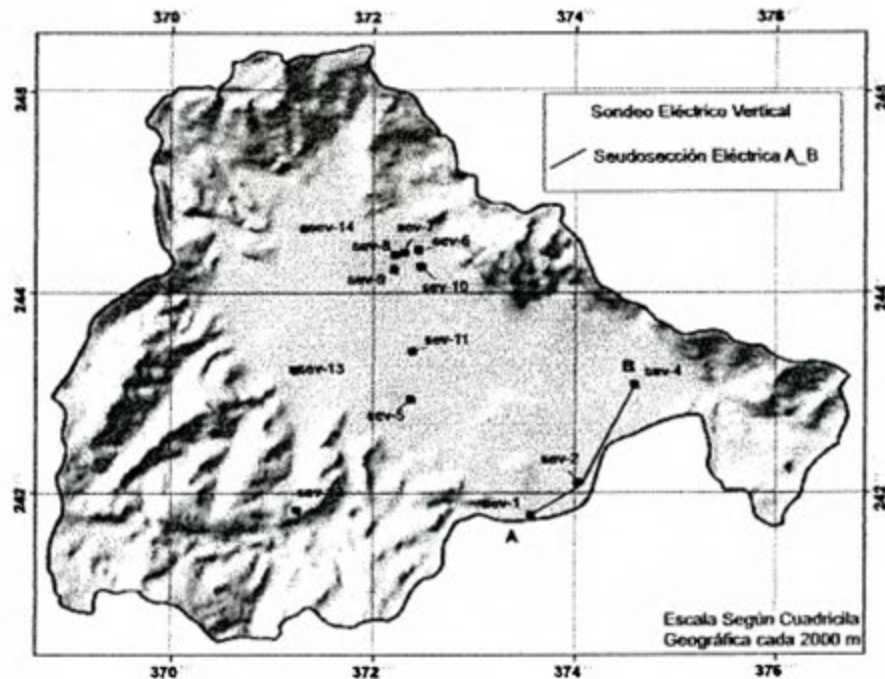


Figura 36. Ubicación de los sondeos eléctricos verticales.

Cuadro 3: Resumen de resultados de los SEV obtenidos durante la campaña geofísica.

Sondeo	Capa	1	2	3	4	5
SEV-1	resistividad (Ωm)	22.39	3.66	1040.00		
	Espesor (m)	2.27	13.64			
SEV-2	resistividad (Ωm)	12.08	3.70	1040.00		
	Espesor (m)	0.88	10.00			
SEV-4	resistividad (Ωm)	49.27	14.26	45.85		
	Espesor (m)	1.35	11.34			
SEV-5	resistividad (Ωm)	37.96	26.38	86.34		
	Espesor (m)	0.50	13.13			
SEV-6	resistividad (Ωm)	40.64	65.46	258.50	21.47	
	Espesor (m)	0.50	5.92	5.90		
SEV-7	resistividad (Ωm)	25.72	20.02	42.73		
	Espesor (m)	0.50	4.07			
SEV-8	resistividad (Ωm)	15.38	12.94	39.89		
	Espesor (m)	0.50	4.63			
SEV-9	resistividad (Ωm)	20.68	14.48	52.14		
	Espesor (m)	0.50	2.73			
SEV-10	resistividad (Ωm)	12.86	36.65	5.62		
	Espesor (m)	0.73	18.06			
SEV-11	resistividad (Ωm)	45.77	13.02	35.84	6.08	750.00
	Espesor (m)	0.50	3.34	4.88	16.77	
SEV-12	resistividad (Ωm)	44.26	87.61	543.70		
	Espesor (m)	0.50	36.64			
SEV-13	resistividad (Ωm)	34.87	62.02	4.91		
	Espesor (m)	2.72	4.91			
SEV-14	resistividad (Ωm)	18.00	22.68	12.67		
	Espesor (m)	1.11	17.37			

En todos los SEV's donde se pudo establecer el espesor de la zona saturada, fueron estimadas las porosidades efectivas (ver Cuadro en Apéndice 3), aplicando la fórmula de resistencia transversal ($R_T = h \cdot R_s$), donde h es igual al espesor de la zona saturada en (m) y R_s es la resistividad en Ohm de la roca saturada. Una vez estimada la resistencia transversal se calculó el factor de formación de la roca saturada, mediante la fórmula ($F = R_T / (h \cdot R_w)$), donde R_w es igual a 12 Ohm. Posteriormente para estimar la porosidad efectiva Pérez (s.f.) establece la relación entre el factor de formación (F) y la porosidad \emptyset mediante la fórmula ($\emptyset = (F - 1 / G + 1)^{-1}$), donde \emptyset = porosidad efectiva en porcentaje, F = factor de formación y G es el parámetro que depende de la geometría interna de las rocas. Según Pérez (s.f.) en base a la experiencia, G toma un valor promedio de 0.887 para rocas carbonatadas como es el caso de la presente investigación, donde predominan secuencias

sedimentarias de naturaleza calcárea como las Formaciones, Nambí, Curú y Piedras Blancas. Es importante destacar que a los Sondeos Eléctricos Verticales 6, 10, 12, 13 y 14, no se les pudo estimar la porosidad efectiva a la roca saturada, debido a que se desconoce el espesor de la zona saturada.

La información geofísica obtenida se complementó con toda la información geológica e hidrogeológica existente, para construir los correspondientes modelos geo-eléctricos. Desde el punto de vista hidrogeológico, los dos sistemas acuíferos más superficiales se encuentran ubicados uno en el sector Este-SE de la cuenca, contenido en los depósitos coluvio aluviales y el segundo ubicado en la parte central de la cuenca, contenido en el regolito fracturado de las Formaciones Nambí, Curú y Piedras Blancas. La caracterización geofísica de los materiales del sector Este-SE de la cuenca se encuentra representada por la pseudosección eléctrica 1 entre sondeos eléctricos 1,2 y 4 (Figura 37 y 38).

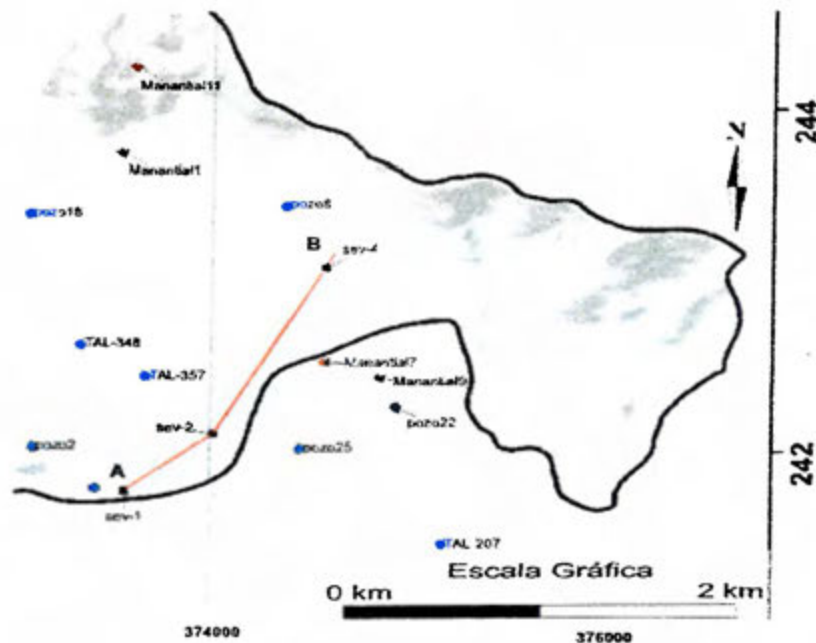
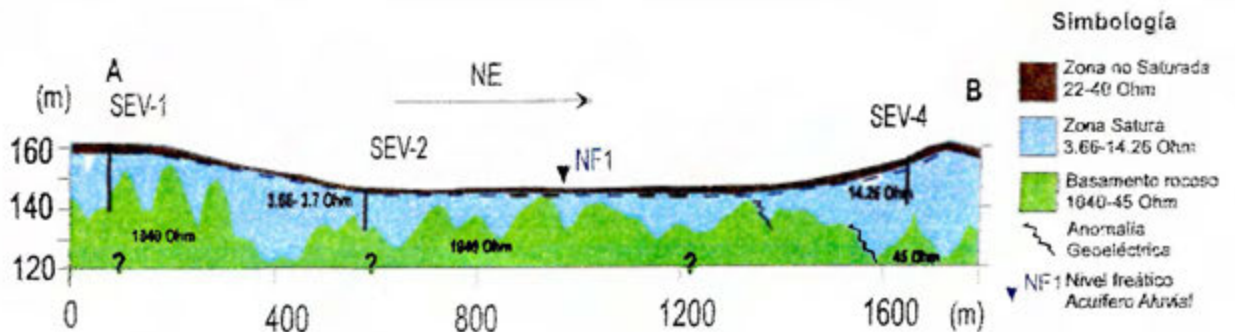


Figura 37. Ubicación de la pseudosección eléctrica A-B, entre sondeos eléctricos 1, 2 y 4. Puntos azules pozos de agua subterránea, rombos rojos nacientes o manantiales.



Nota: se ha exagerado espesores de capas para una mejor visualización

Figura 38. Seudosección eléctrica entre Sondeos Eléctricos Verticales 1, 2, 4.

Con base a la Figura 38 en la parte Este-SE de la cuenca tenemos un modelo geoelectrico de 3 capas:

1. La primera capa presenta un espesor entre los 0.88 a 2.27 m, con resistividades entre los 12 a 49 Ohm. Esta capa se asocia a los suelos de tipo Limo elásticos (MV) de Muy Alta plasticidad encontrados en campo (Ver apéndice 4, muestra de suelos M-6).
2. La segunda capa presenta espesores entre los 11.34 a 13.64 m, con resistividades entre los 4 a 14 Ohm. Esta capa se asocia a la capa coluvio aluvial saturada (acuifero coluvio aluvial).
3. La tercera capa presenta un espesor desconocido, con resistividades entre los 46 a 1040 Ohm y corresponde al basamento local de esta parte de la cuenca.
4. Con base en los SEV's el nivel estático se ubica entre los 0.88 a 2.27 m de profundidad, este nivel de agua subterránea se corroboró con el nivel estático del pozo 25 ubicado a 2.80 m.b.n.m., y los manantiales 7 y 9, ubicados hacia el sector SE del SEV-2, entre los 90 a 45 m de distancia del SEV-2.

La segunda pseudosección eléctrica se realizó sobre los materiales fracturados de la Formación Nambí, específicamente en el sector conocido como la Tranquera, donde en base al estudio fotogeológico y el levantamiento estructural, pasan fallas geológicas que podrían corresponder a zonas de fracturas importantes. Estas zonas de fracturas dan como resultado el afloramiento de aguas subterráneas en forma de manantiales (nacientes 2,3 y 6) ver Figura 39 y 40.



Figura 39. Ubicación de la seudosección eléctrica C-D, entre sondeos eléctricos 6, 7 y 8. Puntos azules pozos de agua subterránea, rombos rojos manantiales, líneas negras discontinuas trazos de Falla, línea negra continua con triángulos (Falla inversa). Esquema sin escala.

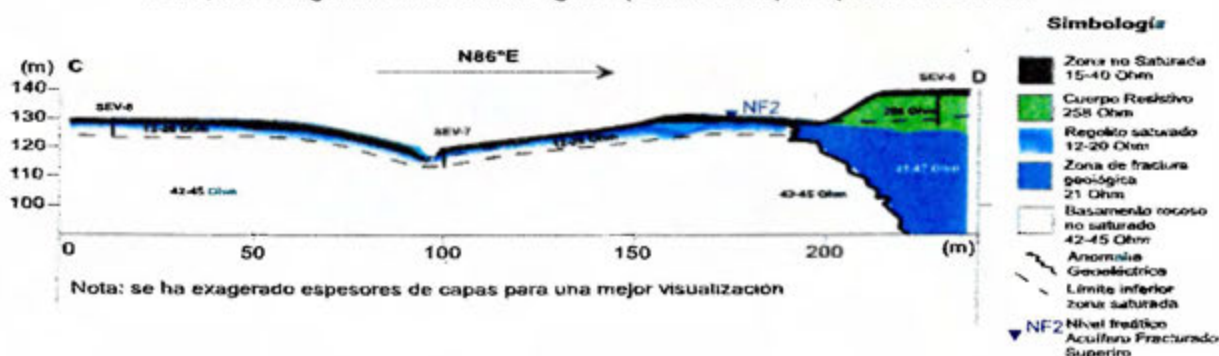


Figura 40. Seudosección eléctrica entre Sondeos Eléctricos Verticales 6,7 y 8.

Con base a la Figura 40 en el sector conocido como la Tranquera, se encontró un modelo geoelectrico de 5 capas:

- La primer capa presenta un espesor entre los 0.5 a 2.72 m, con resistividades entre los 13 a 46 Ohm. Esta capa se asocia a los suelos de tipo Limosos con arena (MI)

de plasticidad Intermedia, encontrados en campo sobre la Fm. Nambí (Ver apéndice 4, muestra de suelos M-5).

6. La segunda capa presenta espesores entre los 4.07 a 5.90 m, con resistividades entre los 12 a 20 Ohm. Esta capa se asocia con un regolito saturado producto de fracturación superficial de la Fm. Nambí. Por debajo del SEV-6, la segunda capa está representada por la presencia de una secuencia de areniscas calcáreas resistivas encontradas en campo, con resistividades de 65 Ohm y espesor aparente de 5.92 m.
7. Entre los sondeos eléctricos verticales 7 y 6, encontramos la tercera capa importante, localizada específicamente por debajo del SEV-6. En este sitio la resistividad varía lateralmente de 45 Ohm a 21 Ohm, el espesor es desconocido, asociándose al paso de una zona de fractura (Falla la Tranquera).
8. En base a los SEV's el nivel estático se ubica a los 0.5 m de profundidad, este nivel de agua subterránea se corroboró con los niveles superficiales de los manantiales 2,3 y 6 ubicados cerca de la seudosección eléctrica C-D (ver Figura 40).

A parte de los sondeos eléctricos que conforman la seudosección C-D en la zona denominada la Tranquera, se ejecutaron los sondeos SEV-9 y SEV-10. El sondeo SEV-9, presenta una curva geoelectrica similar a los sondeos 7 y 8, mientras que el sondeo SEV-10, presenta una curva similar al SEV-6 (ver curvas de los sondeos eléctricos en el Apéndice 3), con la particularidad de que la curva del SEV-10, a diferencia de la curva del SEV-6, da una resistividad mucho menor de la capa 3 (zona fracturada), pasando de resistividades aparentes de 21 Ohm en el SEV-6 a 6 Ohm en el sondeo SEV-10. Esto sucede debido a que el sondeo SEV-10 se encuentra más cerca del trazo de falla que el SEV-6, por lo que el grado de fracturación de la roca por debajo del SEV-10 es mayor, disminuyendo con ello la resistividad del medio, aumentando la porosidad efectiva y la saturación.

Con base a lo observado en campo por criterios geomorfológicos, en el sitio La Tranquera, se establece para la falla La Tranquera una zona de falla de entre los 150 a 200 m, esto fue corroborado por los sondeos eléctricos verticales, la presencia de los manantiales 2, 3, 6 y el pozo 21, los cuales demuestran la saturación del medio rocoso por fracturación. Los sondeos eléctricos verticales 8, 7 y 9 que se encuentran cerca de trazo de fallas como la Falla Ponedero, no identificaron zonas de fracturación profundas, lo que nos sugiere que en el sitio denominado la Tranquera, estos trazos de falla presentan anchos menores de los 100 m (ver Figura 41).

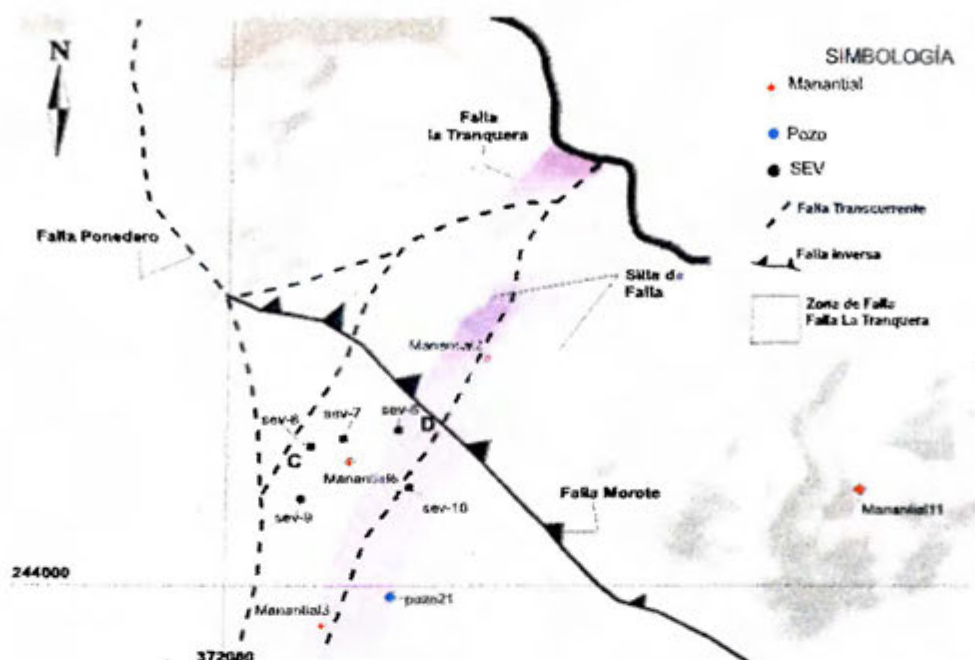


Figura 41. Ubicación de la zona de fractura de la Falla La Tranquera. Puntos azules pozos de agua subterránea, rombos rojos manantiales, líneas negras discontinuas trazos de Falla, línea negra continua con triángulos Falla inversa. Esquema sin escala.

Dentro del área estudiada se realizaron otros sondeos eléctricos distribuidos de tal forma, que generaran información técnica importante, sobre los niveles freáticos y las porosidades efectivas del medio saturado, los mismos pueden ser consultados en el Apéndice 3, ahí mismo se pueden observar los datos estimados, de las porosidades efectivas del medio rocoso saturado. Los resultados de la campaña geofísica ejecutada son los siguientes:

1. El acuífero somero ubicado dentro de los depósitos coluvio aluviales del sector Este de la cuenca, presenta resistividades aparentes entre los 4 a 14 Ohm y espesores saturados entre los 11-14 m, con porosidades efectivas estimadas entre los 5.6 a 5.7%. El basamento rocoso de este sector presenta espesores desconocidos con resistividades entre los 46 a 1040 Ohm.
2. En el resto de la cuenca (zonas planas), donde predominan las rocas sedimentarias Cretácicas de naturaleza calcárea, se encuentran áreas saturadas (regolíticas) en la parte superior y saturadas en las zonas fracturadas a niveles inferiores, con espesores que pueden variar entre los 2.73 a 18 m y resistividades entre los 13 a 37

Ohm, para porosidades efectivas estimadas entre los 0.65 a 2.66 %, según el grado de fracturación y meteorización de la roca.

3. Cerca de los trazos de fallas, existen zonas de fracturas, cuyos anchos son variados, estas zonas de falla presentan saturación importante del medio rocoso, reflejado en los bajos valores de resistividades aparentes entre los 6 a 21 Ohm, el espesor de estas zonas de fracturas se desconoce.
4. Se infiere con base a lo observado, que las rocas del Complejo de Nicoya (basaltos), representan sitios donde existe poca saturación de agua subterránea, a excepción de las zonas cercanas a los trazos de fallas. Esto se ve reflejado en el SEV-12, donde el comportamiento geoelectrico del medio, no refleja zonas de saturación.

6.5 Características hidrológicas

6.5.1. Clima

Según Herrera (1986), la cuenca hidrográfica analizada presenta climas que varían de subhúmedo muy caliente a húmedo caliente (Figura 42).

El clima de tipo (B1) subhúmedo húmedo muy caliente con un déficit muy grande de agua, se ubica sobre el sector NE de la cuenca, presenta una precipitación media anual de 1710-2050 mm, temperatura media anual de 23-27° C, con una estación seca que va desde diciembre a abril de cada año, pudiendo haber déficit en mayo y hasta la primera quincena de junio (Herrera, 1986). Este clima representa la zona de vida con un Bosque Húmedo Tropical de transición seca (bh-T). El clima tipo (C1) húmedo muy caliente con un déficit muy grande de agua, se extiende desde el centro de la cuenca hasta el sector SW de la misma, en este sector la precipitación media anual es de 2050-2400 mm, la temperatura media anual se encuentra entre los 23-27° C, con una estación seca que va desde diciembre a abril de cada año, y déficit ocasional de agua durante el mes de mayo, (Herrera, 1986). Esta zona climática representa a la zona de vida compuesta por un Bosque Tropical Húmedo (bh-T) con características similares al anterior. Por ultimo encontramos una pequeña área ocupada por el clima de tipo (C4) húmedo, caliente con déficit moderado de agua, donde la precipitación media anual es de 1900-2400 mm, la temperatura media anual se encuentra entre los 21-26° C, con una estación seca desde finales del mes de diciembre hasta abril de cada año, y déficit ocasional de agua hasta finales del mes de mayo (Herrera, 1986). Las características climáticas de este sector, representan la zona de vida bmh-P representada por un Bosque muy húmedo Pre-montano).

Desde el punto de vista local, se toman los datos de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), estación meteorológica de Nicoya Extensión Agrícola, ubicada en las coordenadas geográficas 10°08' de latitud y 85°27'0'' de longitud, datos suministrados por el IMN (ver datos en Apéndice 5). La estación meteorológica cuenta con 62 años de registro, en el Gráfico 1, se resumen los valores medios de toda la estadística de forma mensual, en dicho gráfico podemos observar que los meses de menor precipitación en la zona, van de diciembre a abril de cada año, siendo el mes de enero el que presenta menores valores de precipitación (4.1 mm/mes). El trimestre con los valores más elevados de precipitación incluye los meses de agosto a octubre de cada año, presentando un pico de precipitación de 398.10 mm/mes durante el mes de octubre, para una precipitación media anual de 2,162.30 mm/año.

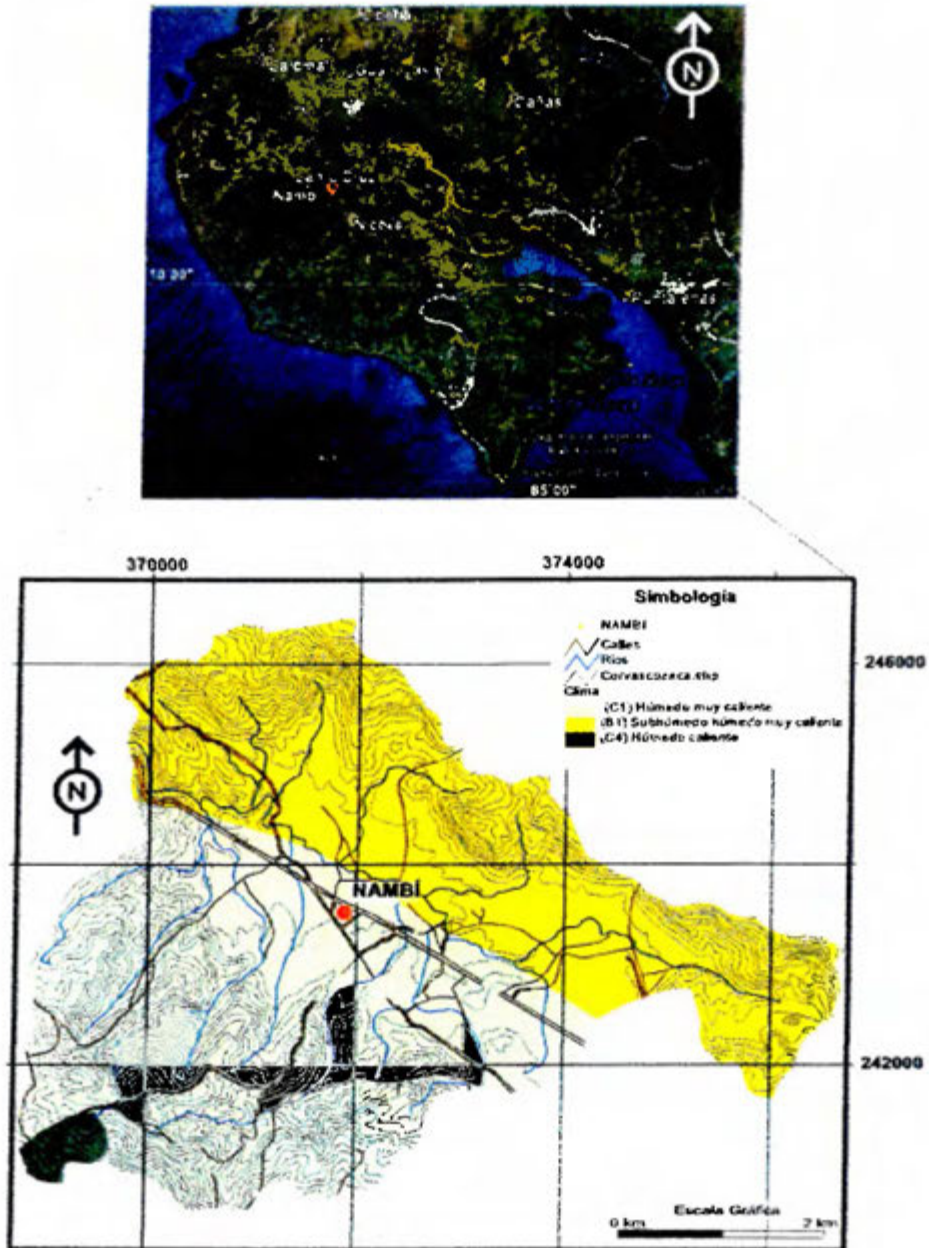


Figura 42. Mapa de distribución climática regional. Tomado y modificado de Herrera (1986).

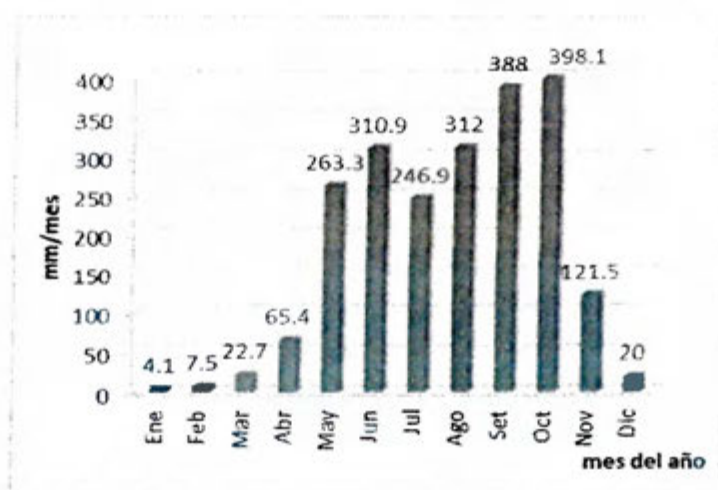


Gráfico 1. Datos de precipitación, estación Nicoya Extensión Agrícola. Basado en registros desde el año 1949 al 2011 (IMN,2012).

Con base al Gráfico 2 sobre la distribución mensual de la temperatura, podemos observar que el mes con temperatura media más bajo corresponde al mes de enero de cada año, con un valor de 26°C, mientras que el mes más caliente de cada año, corresponde al mes de abril con un valor medio de 29.35°C según registro.

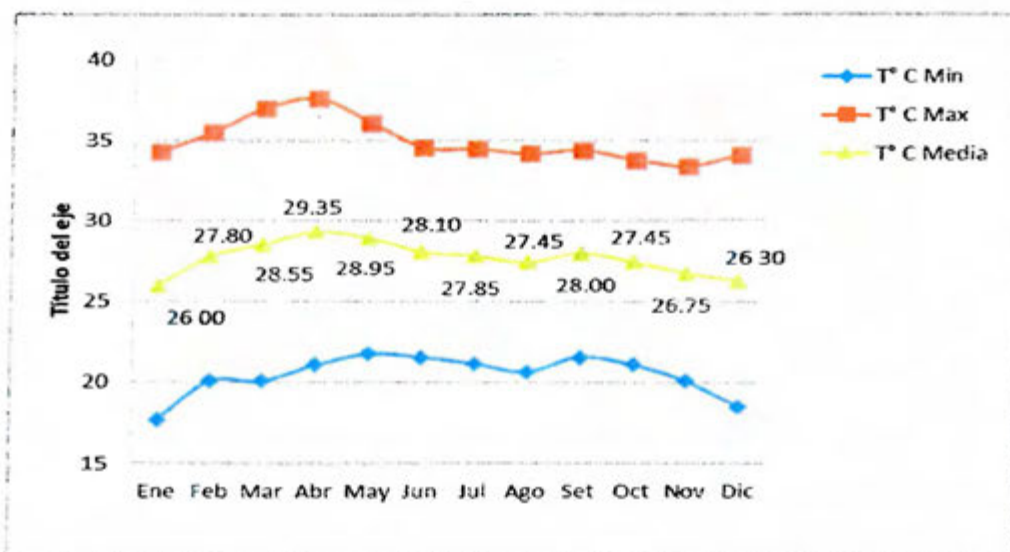


Gráfico 2. Distribución mensual de la temperatura en °C. Basado en datos de registro desde 1938 a 1987 (IMN,2012).

En el Gráfico 3, se observa la distribución de horas con relación al brillo solar, en dicho gráfico podemos apreciar que el mes con mayor porcentaje de horas sol, corresponde al

mes de febrero de cada año con un 9.10%, mientras que el mes con el valor más pequeño de horas sol corresponde al mes de junio de cada año con 4.8%.

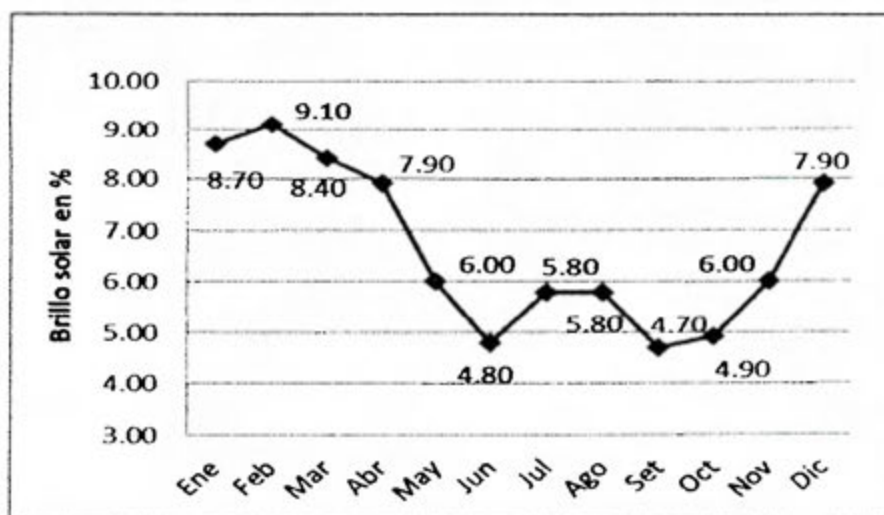


Gráfico 3. Distribución del brillo solar en porcentajes de horas sol mensual. Basado en datos de registro desde 1970 a 1984 (IMN,2012).

Con los valores de temperatura media anual y los valores de brillo solar, podemos calcular la evapotranspiración Potencial (ETP), aplicando la ecuación de Blaney & Criddle, sugerida por Schosinsky (2006). Según Blaney & Criddle (en: Schosinsky, 2006) la Evapotranspiración Potencial esta definida por la ecuación $ETP = (8.10 + 0.46 \cdot T) \cdot P_s$, donde T es igual a la temperatura media mensual en °C y el P_s es igual al porcentaje de horas luz solar mensual, con respecto al año. aplicando esta formulación matemática tenemos en el Gráfico 4, la distribución mensual de la ETP para la zona de estudio. en el Gráfico 4 se observa que el mes con el valor más elevado de la ETP corresponde al mes de febrero de cada año con un valor de 190.08 mm/mes, mientras que el mes con el valor mas bajo de la ETP corresponde al mes de septiembre con un valor de 98.61 mm/mes.

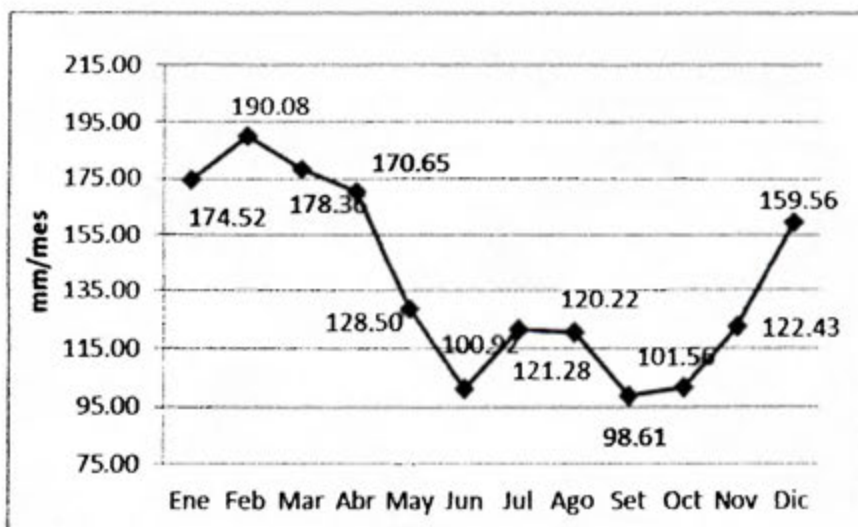


Gráfico 4. Evapotranspiración Potencial de la zona estudiada en (mm/mes).

6.5.2. Morfometría de la cuenca

El área de la cuenca Río Grande en la zona de estudio corresponde a 26.10 km², con un perímetro de 26.90 km. La longitud del cauce principal del río Grande en la zona estudiada es de 9.03 km y discurre en dirección SE – NW. El Modelo de Elevación Digital (MDE) de la cuenca se puede apreciar en la Figura 21 de esta investigación. Con base al MED podemos observar, que las partes más bajas y planas de la cuenca se encuentran en un rango de elevación de entre los 100 a 164 m.s.n.m., mientras que las partes más altas se encuentran hacia el sector SW de la cuenca con elevaciones de hasta 700 m.s.n.m. El mapa de pendientes está representado por la Figura 22 de esta investigación, en dicha figura se observa, que dentro de la zona estudiada predominan las pendientes entre los 0 a 3% de inclinación, mientras que las pendientes más elevadas las cuales sobrepasan el 60% de inclinación, se encuentran restringidas a las partes más altas y escarpadas de la cuenca. Con base al MED se construyó la curva Hipsométrica de la cuenca estudiada (Gráfico 5), donde se puede apreciar que la cuenca está ocupada en mayor parte por altitudes de 200 m.s.n.m., y en menor parte por altitudes de 100 m.s.n.m.

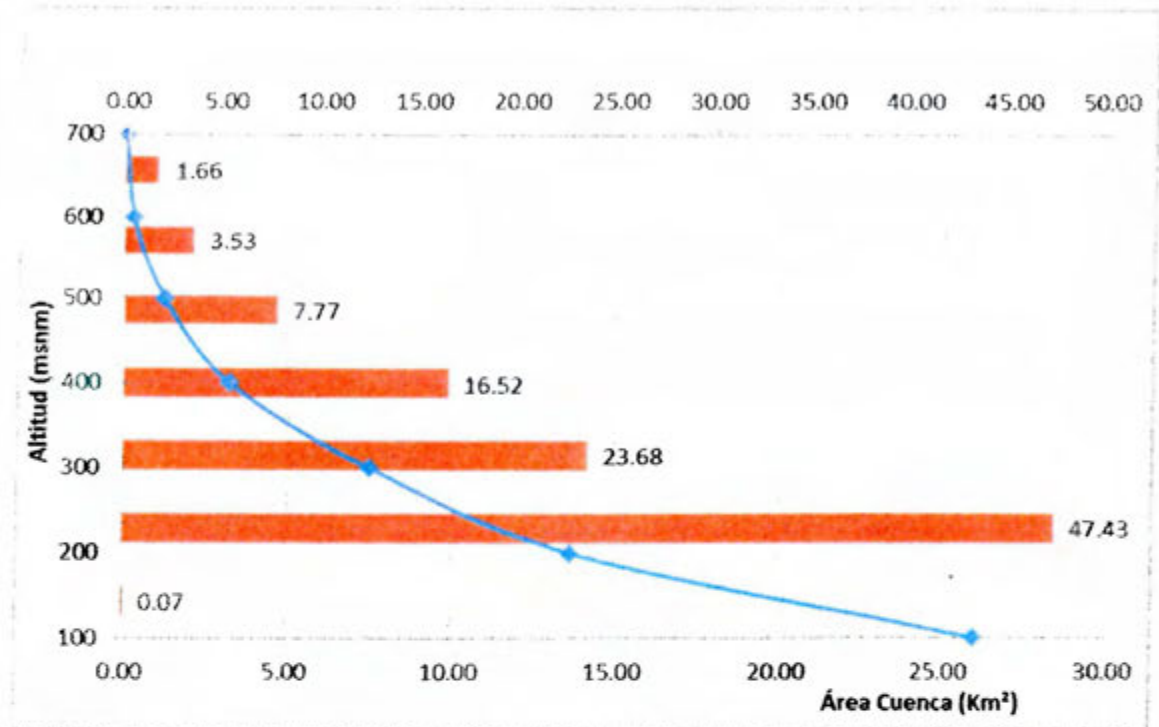


Gráfico 5. Curva Hipsométrica y de frecuencia de altitudes de la cuenca alta del Río Grande.

6.5.3. Morfología de la cuenca

De los parámetros fundamentales en la morfología y morfometría de la cuenca es su índice de compacidad, aplicando la fórmula sugerida por Villón (2004) donde establece que el índice de compacidad K de la cuenca se define como $K = 0.28 \cdot (P/\sqrt{A})$, donde P = perímetro de la cuenca en kilómetros y A = al área de la cuenca en kilómetro cuadrado, tenemos que para la cuenca analizada $K = 1.44$. Con base en el índice de compacidad obtenido el cual es mayor que 1, se establece que esta cuenca es de forma alargada, lo que la hace una cuenca con pocas probabilidades de que sea cubierta en su totalidad por una sola tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presente en el río en cuanto a eventos de avenidas máximas Villón (2004). Esto se ve reflejado en el mapa de la Figura 42, donde se aprecia claramente la distribución de 2 zonas climáticas predominantes, dentro del área de drenaje del río Grande en su cuenca alta.

En cuanto a los patrones de drenajes presentes dentro de la cuenca analizada, predominan aquellos gobernados por la estructura geológica (Fallas), el patrón de drenaje que ocupa la mayor superficie de área por km^2 de la cuenca, corresponde a los drenajes de tipo Rectangular con un 55% de ocupación del total de área drenada (Figura 16).

La distribución de las densidades de drenaje en km/km^2 , se pueden apreciar en la Figura 17 de la presente investigación, las mayores densidades de drenaje llegan a alcanzar valores de $4.8 \text{ km}/\text{km}^2$ en el sector Norte de la cuenca, donde predomina el patrón de drenaje dendrítico y rocas de la FM. Sabana Grande poco fracturadas, mientras que los valores más bajos de $0.2 \text{ km}/\text{km}^2$ se ubican en el sector Este del área analizada, donde se encuentran aflorando en mayor medida los depósitos coluvio aluviales.

6.5.4. Uso del suelo de la cuenca analizada

Para la definición local del uso del suelo se utilizó la Imagen Lansat Data SIO, NOAA, US, NAVY, NGA, GEBCO de Google Earth (2013), donde se pudo establecer cinco categorías de uso del suelo dentro del área estudiada a saber (Figura 43):

- **Bosque:** cubre el 37% del área total y se encuentra localizado hacia las partes altas de la zona estudiada, principalmente en los bordes de la cuenca y áreas de protección forestal de los cauces. En condiciones inalteradas estas áreas presentan vegetación asociada a los Bosques de tipo Húmedo Tropical de Transición seca y Húmedo tropical, donde la vegetación predominante es relativamente alta y densa con tres estratos y alturas de 30 a 40 m, la vegetación es de tipo semicaducifolia con epífitas abundantes Centro Científico Tropical (1993). Según lo observado en campo la profundidad de las raíces es mayor a los 3 m, debido a la altura de los árboles donde es muy común encontrar Espaveles, Ceibos, Nisperos, Cedros y otros.
- **Cultivos:** representa el 2% del área total cubierta y se encuentra localizado principalmente hacia el sector SE de la cuenca. Se caracteriza por la presencia de monocultivos como el arroz y el maíz así como la reforestación de teca y melina. Con base a sus características a estas zonas se le asigna una profundidad promedio de raíces de 1.5 m.
- **Pastos:** representa el 18% del área total cubierta y se encuentra localizado principalmente en la parte central de la cuenca en sentido NW-SE. Se caracteriza por la presencia de pastizales dedicados a la crianza y mantenimiento de la actividad ganadera de la zona. A estas áreas se le asigna una profundidad de raíces de 1 m.

- Tacotales: esta cobertura vegetal representa el 41% del área total, y se encuentra distribuida prácticamente por toda la cuenca. Se caracteriza por la presencia de pastizales, arbustos de fuste delgado y bosques de carácter secundario producto del abandono de fincas y lotes baldíos los cuales no son utilizados en actividades antrópicas. A Esta zona se le asigna una profundidad de raíces de 2 m.
- Zona Urbana: esta cobertura representa el 2% restante del área total, y se encuentra distribuida en el centro de la cuenca. Se caracteriza por la presencia de desarrollo urbano habitacional, agropecuario e industrial de la comunidad de Nambi.

En la Figura 43 se puede observar la distribución del uso del suelo dentro de la cuenca analizada. En el Gráfico 6 se visualiza la distribución porcentual del tipo de uso de suelo, dentro de la cuenca Río Grande.

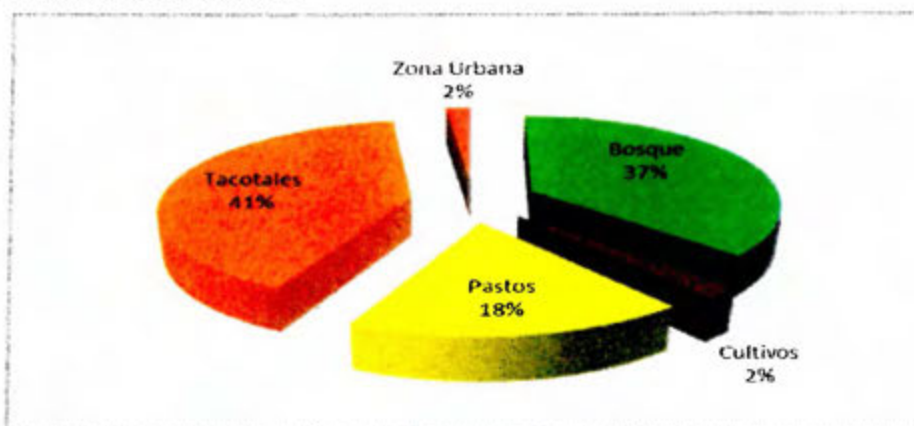


Gráfico 6. Distribución porcentual del uso del suelo, dentro de la cuenca analizada.

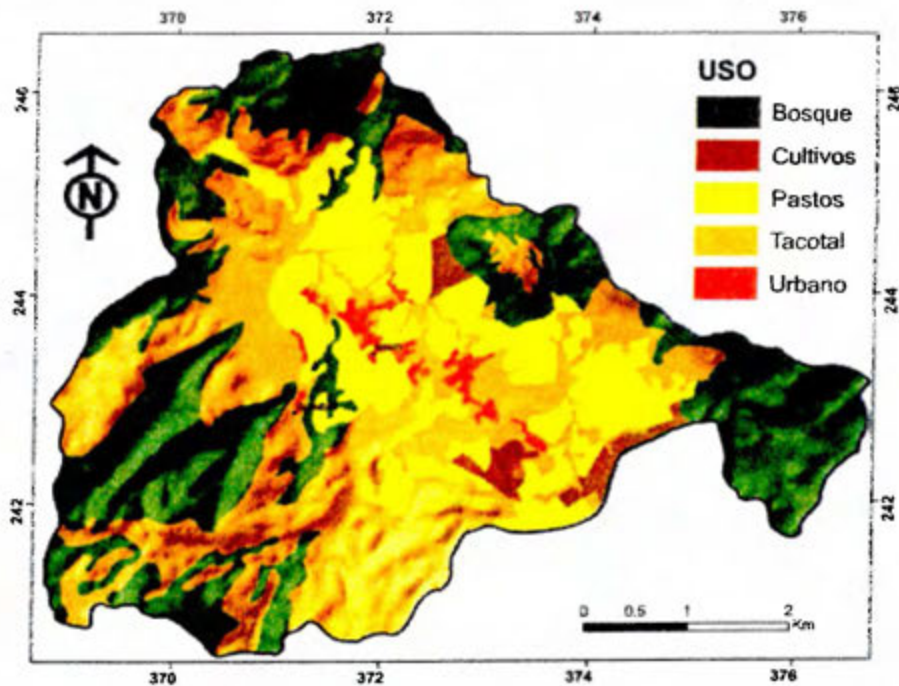


Figura 43. Mapa de distribución del uso del suelo dentro de la cuenca analizada.

6.5.5. Esgurrimiento superficial

Durante el trabajo de campo desarrollado en octubre del 2010, se realizó una campaña de aforos superficiales en puntos estratégicos de la cuenca con el fin de definir entre otras cosas:

1. El caudal aportado por diferentes microcuencas dentro del área analizada.
2. calcular el coeficiente de gasto unitario por unidad de área para cada micro-cuenca en litros/seg/km².
3. Establecer zonas de pérdida de esgurrimiento por infiltración de sitios fracturados.
4. Localizar los sitios donde los cauces de esgurrimiento superficial corresponden a corrientes efluentes o influentes al acuífero existente.

Cabe destacar que todos los aforos se ejecutaron en un mismo día, durante ese día, no hubo eventos de precipitaciones que alteraran los datos reales de los caudales bases encontrados, los cálculos de los aforos realizados pueden ser consultados en el (Apéndice 6) de la presente investigación, en la Figura 44 se muestra las microcuencas analizadas y la ubicación de los sitios de aforo.

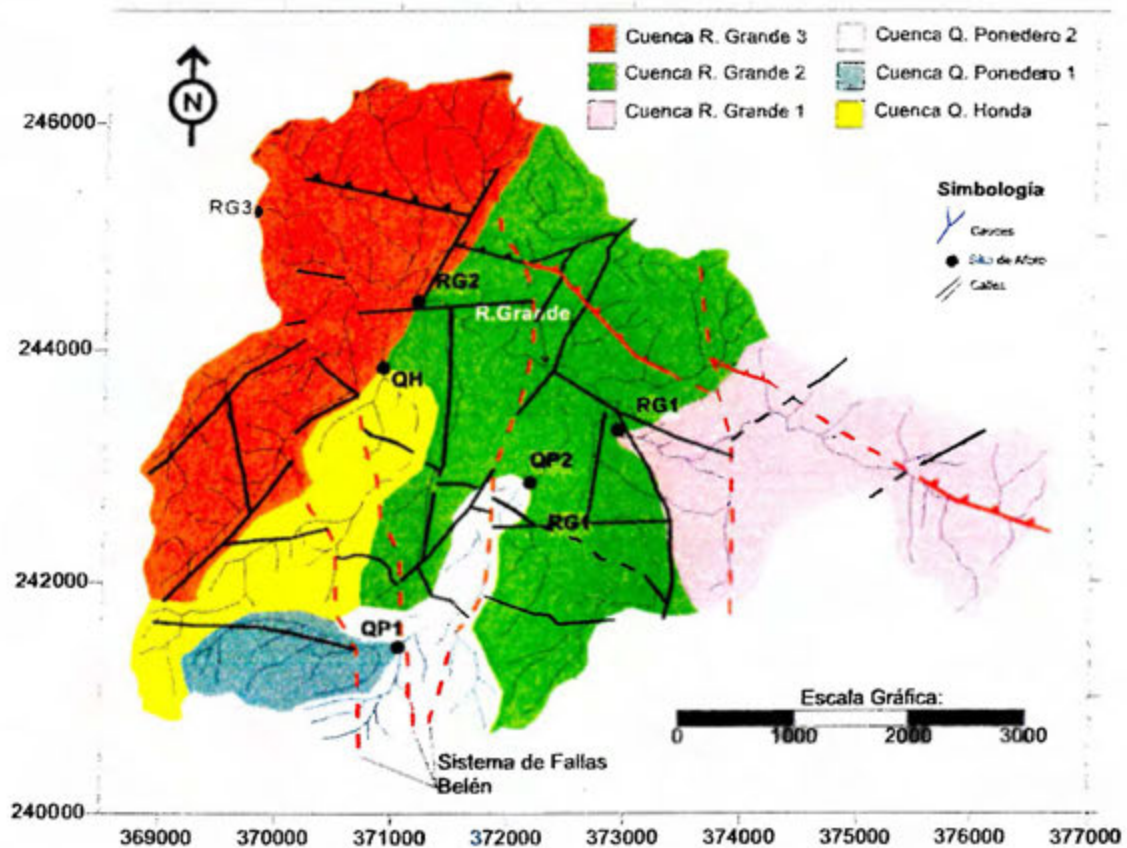


Figura 44. Mapa de ubicación de las microcuencas analizadas y la ubicación de los puntos de aforo diferencial. Líneas negras y rojas corresponden a Fallas Geológicas.

En total se efectuaron 6 aforos diferenciales para 6 microcuencas analizadas, la microcuenca con mayor aporte de agua superficial por unidad de área corresponde a la microcuenca Ponedero 1, mientras que la de menor aporte por unidad de área corresponde a la microcuenca R. Grande 1. Todos los resultados obtenidos e pueden visualizar en el Cuadro 4 a continuación.

Cuadro 4: Resultados de aforos diferenciales medidos en distintos puntos de la cuenca.

Nombre Microcuenca	Área efectiva (Km ²)	Área total de aforo (Km ²)	Caudal de foro (litros/seg)	Q. Efectivo (litros/seg)	Gasto (q) Unitario(litros/seg/km ²)
Q. Ponedero 1 (QP1)	1.13	1.13	1070.00	1070.00	946.90
Q. Ponedero 2 (QP2)	1.92	3.05	1249.00	179.00	93.23
Q. Honda (QH)	2.61	2.61	213.00	213.00	81.61
R. Grande 1 (RG1)	4.89	4.89	323.80	323.80	66.22
R. Grande 2 (RG2)	8.91	16.85	6195.90	3553.10	398.78
R. Grande 3 (RG3)	6.64	26.10	13991.40	4939.70	743.93
Área total de aforo = corresponde al área total del sitio de aforo (toda la zona contributiva que discurre hacia el punto de aforo). Área efectiva = corresponde al área total de aforo - el área de la subcuenca aguas arriba (QP2-QP1) Caudal de Aforo = corresponde al caudal medido en campo en litros/segundo en el sitio de aforo Caudal efectivo (Q.E) = caudal real aportado por el área efectiva (Q. efectivo de QP2 = QP2-QP1) Gasto Unitario (q) = Q. efectivo/Área efectiva				Promedio	388.44

Los resultados obtenidos en cuanto al coeficiente de gasto unitario de caudal (q) para cada microcuenca, nos indican lo siguiente:

1. Teniendo en cuenta que en condiciones normales dos áreas tributarias efectivas, con las mismas características de sustrato rocoso y régimen de precipitación, deberían de cumplir la siguiente condición; entre mayor sea su dimensión de área, mayor será su aporte de caudal. Por tanto no es normal que la microcuenca Ponedero 1, presente un caudal efectivo mucho mayor que la microcuenca Ponedero 2, esta pérdida de caudal entre estos dos puntos de aforo, se atribuye a pérdidas importantes del flujo de agua superficial por infiltración en las zonas de fallas geológicas pertenecientes al sistema de Fallas Belén, ubicados entre los aforos QP1 y QP2.
2. Los valores bajos del coeficiente de gasto unitario de caudal (q), se dan también en las microcuencas QH y RG1. La microcuenca QH presenta un valor similar al de la microcuenca QP2, las dos áreas son cortadas por el sistema de Fallas Belén, por tanto el valor bajo de (q) para la microcuenca QH, corresponde también a las pérdidas de caudal base por infiltración hacia zonas profundas. El valor bajo de (q)

en la microcuenca RG1, se atribuye a la presencia en el sector Este del área estudiada, de los depósitos coluvio aluviales que presentan porosidades importantes, incentivando los procesos de infiltración y almacenamiento de agua subterránea en este sector, esto concuerda con los valores bajos de densidades de drenaje en estos sitios, como lo muestra la Figura 17 de la presente investigación. Por otra parte también existen fallas importantes dentro de la microcuenca RG1, que provocan pérdidas de caudal de escorrentía por infiltración hacia zonas profundas.

3. Como resultado del análisis del coeficiente de gasto unitario de caudal (q), se generó la Figura 45. En dicha figura, se realizó una comparación entre los iso-valores de la profundidad del nivel estático y los iso-valores del coeficiente de gasto unitario. Según lo observado, las zonas donde los valores de (q) menores a 100 litros/seg/km² (bajos valores de escorrentía) coinciden con sitios donde el nivel freático es más profundo, representan zonas donde los canales de escorrentía (cauces) son de tipo influente. Sin embargo en aquellos sitios donde los valores de q sean menores de 100 litros/seg/km² y el nivel estático sea superficial y cortado por la topografía de los canales de escorrentía, el canal recibiría aporte de agua del acuífero (canales efluentes). Mientras tanto en aquellas zonas donde los valores de (q) son mayores a 100 litros/seg/km² y los niveles de aguas subterráneas son menores o igual a 2 m.b.n.m., las corrientes superficiales o cauces son de tipo efluente (el acuífero aporta agua al sistema fluvial en forma de descarga). Lo anteriormente descrito se constata en el campo, principalmente en los sectores entre el sitio conocido como Barrio Cuba (coordenadas 372445E-243865N) hasta el Barrio las Palmas (coordenadas 371193E-244421N) y el cierre de la cuenca, donde es común encontrarse durante la época de verano, zonas húmedas y corrientes de bajo caudal en el cauce principal del río Grande (ver Figura 45). Esto explica por qué en el balance hídrico realizado en esta investigación, a pesar de que los valores de escorrentía superficial dan 0, se observa en campo entre los meses de julio a diciembre un flujo base en el cauce principal del río Grande, situación que se da por el aporte de agua subterránea que discurre rápidamente por el regolito saturado y descarga hacia los cauces de escorrentía que portan el acuífero contenido en el regolito saturado. Una vez que el agua subterránea contenida en el regolito saturado se agota, se seca por completo el cauce de los ríos y quebradas existentes, quedando solo zonas humedecidas de forma aislada en los canales.
4. Los sitios con valores altos de (q) y sin presencia de agua subterránea, corresponden a zonas donde los procesos de infiltración y escurrimiento se mantienen en equilibrio.

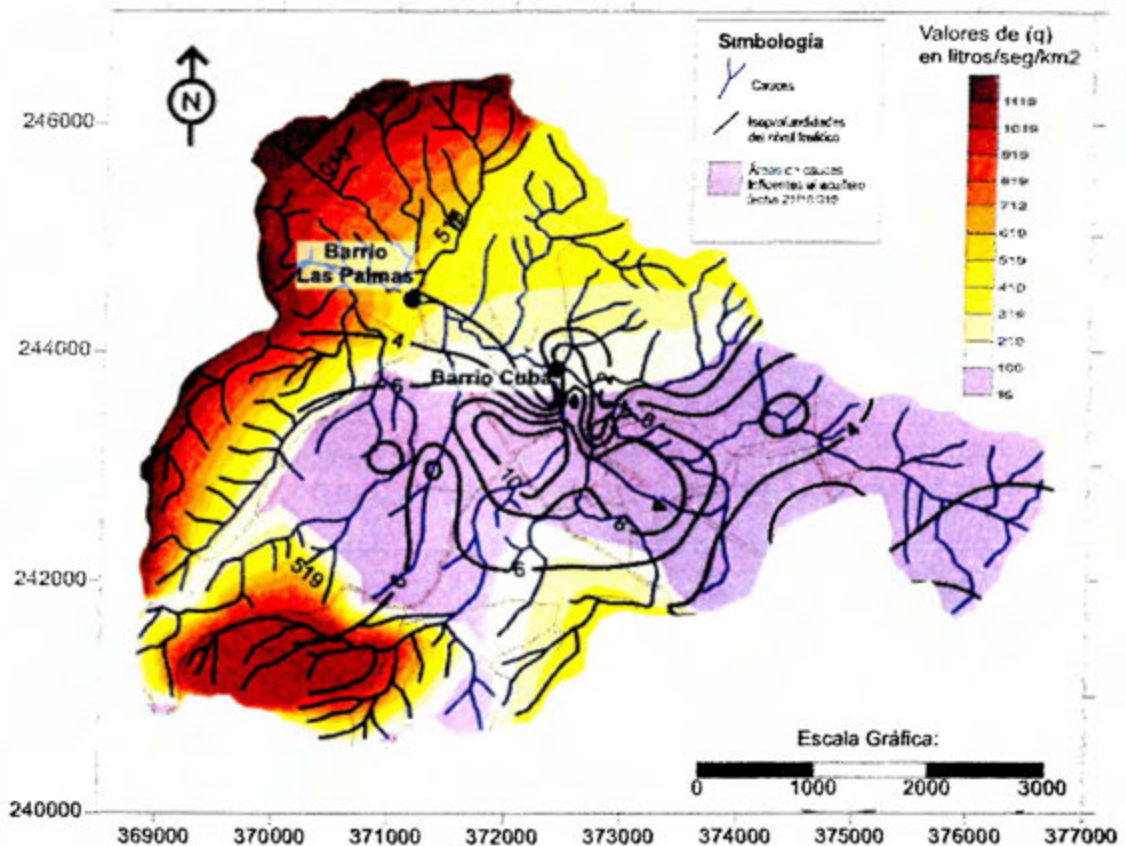


Figura 45. Mapa de iso-valores de (q) vs iso-valores del nivel estático, en color morado zonas de cauces influentes.

6.5.6. Balance Hídrico de la cuenca analizada

Con el fin de integrar de mejor forma los resultados obtenidos en campo, con la metodología para el cálculo del Balance Hídrico de Suelos propuesta por Schosinsky (2006), se procedió a integrar toda la información en mapas temáticos reclasificados en cuanto al uso del suelo de la cuenca, pendientes y texturas del suelo, para posteriormente aplicar una algebra de mapas mediante un SIG y generar como resultado final en mapa de iso-valores de recarga acuífera en $m^3/año$ de la zona estudiada (Figura 46)

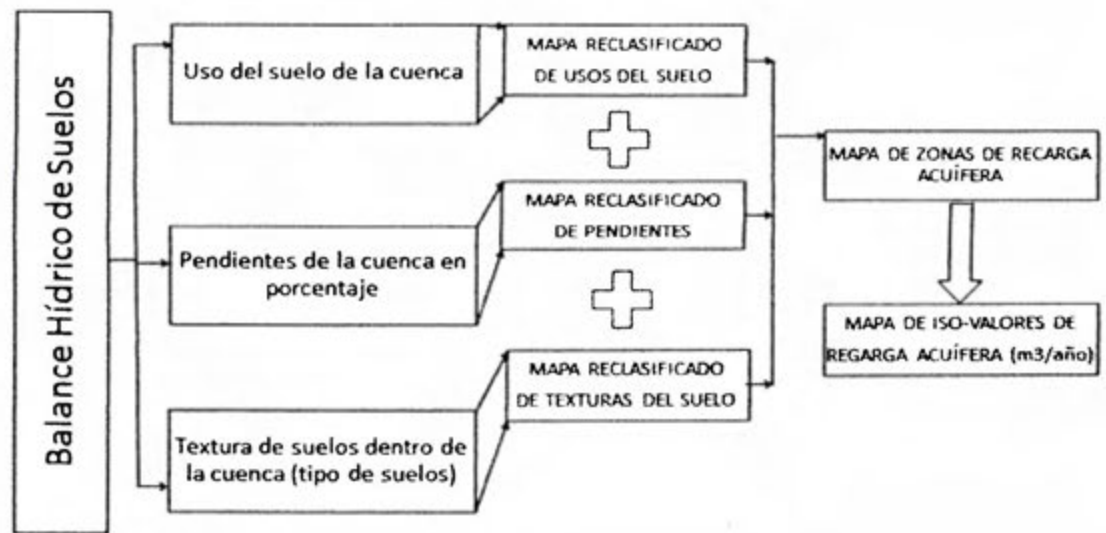


Figura 46. Esquema para la determinación de las unidades Hidro-geomorfológicas de la zona estudiada. Elaboración propia.

Como se indicó con anterioridad, para determinar la recarga Potencial del acuífero en el área de la cuenca analizada, se aplicó un Balance Hídrico de Suelos, basados en la metodología propuesta por Schosinsky (2006). Para este fin se desarrolló primero que todo una campaña de campo para la determinación del coeficiente básico de infiltración del suelo en las distintas Formaciones geológicas existentes, realizándose en total 11 pruebas de infiltración (ver Apéndice 7), en la Figura 47 se ubican los distintos puntos de pruebas de infiltración realizados y en el Cuadro 5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante la campaña de campo.

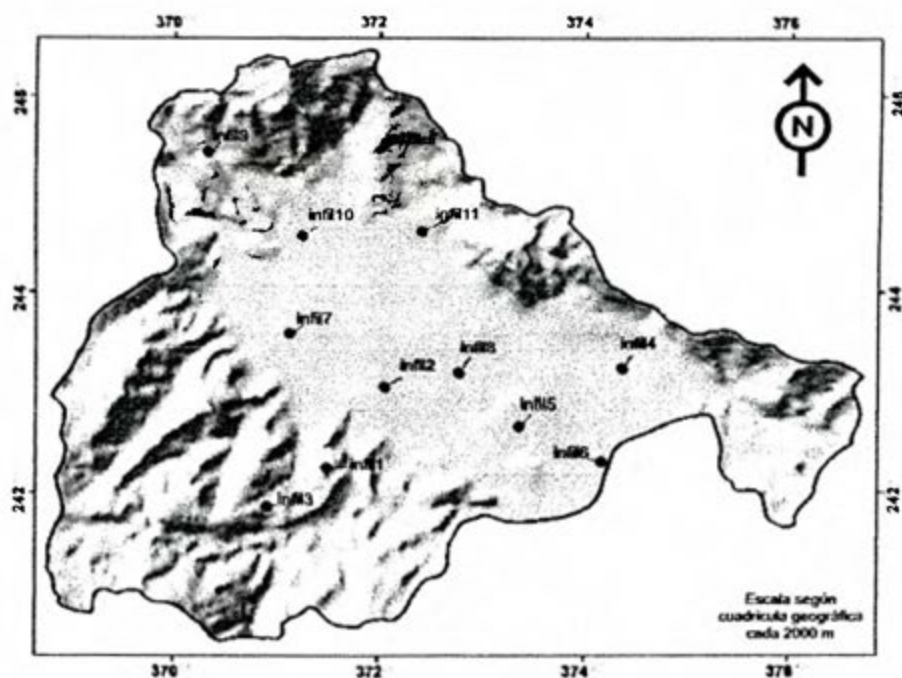


Figura 47. Mapa de ubicación de las diferentes pruebas de infiltración ejecutadas en campo. La abreviatura (infil) se refiere a la prueba de infiltración.

Cuadro 5: Resultados del coeficiente Fc de infiltración obtenido en campo.

Formación Geológica	Número de Infiltración	Fc (cm/min)	Fc (mm/día)
Complejo de Nicoya	Infiltración 3	0.08540	1229.76
FM. Sabana Grande	Infiltración 1	0.04890	704.16
	Infiltración 9	0.09000	1296.00
	Promedio		1000.08
FM. Carbonatadas	Infiltración 2	0.22700	3268.80
	Infiltración 5	0.00358	51.5520
	Infiltración 8	0.05960	858.2400
	Infiltración 10	0.11400	1641.6000
	Infiltración 11	0.07100	1022.4000
	Promedio		1368.5184
Dep. Coluvio Aluvial	Infiltración 4	0.29900	4305.6000
	Infiltración 6	0.0057	81.9360
	Infiltración 7	0.2420	3484.8000
	Promedio		2624.11

Con base en el Cuadro N°5, se le asigna un coeficiente promedio de Fc de 1,229.76 mm/día para el Complejo de Nicoya, 1,000.08 mm/día para la FM. Sabana Grande, 1,368.52

mm/día para las Formaciones Carbonatadas (Nambí, Piedras Blancas y Curú) y de 2,624.11 mm/día para los depósitos coluvio aluviales.

Durante el trabajo de campo también fue posible establecer para cada Formación Geológica y los suelos derivados de esta, la Capacidad de Campo (CC) de los suelos y el Punto de Marchitez (PM) ver Apéndice 7. En la Figura 48 se muestra la ubicación de los distintos sitios de muestreo, mientras que en el Cuadro 6 se resumen los resultados obtenidos.

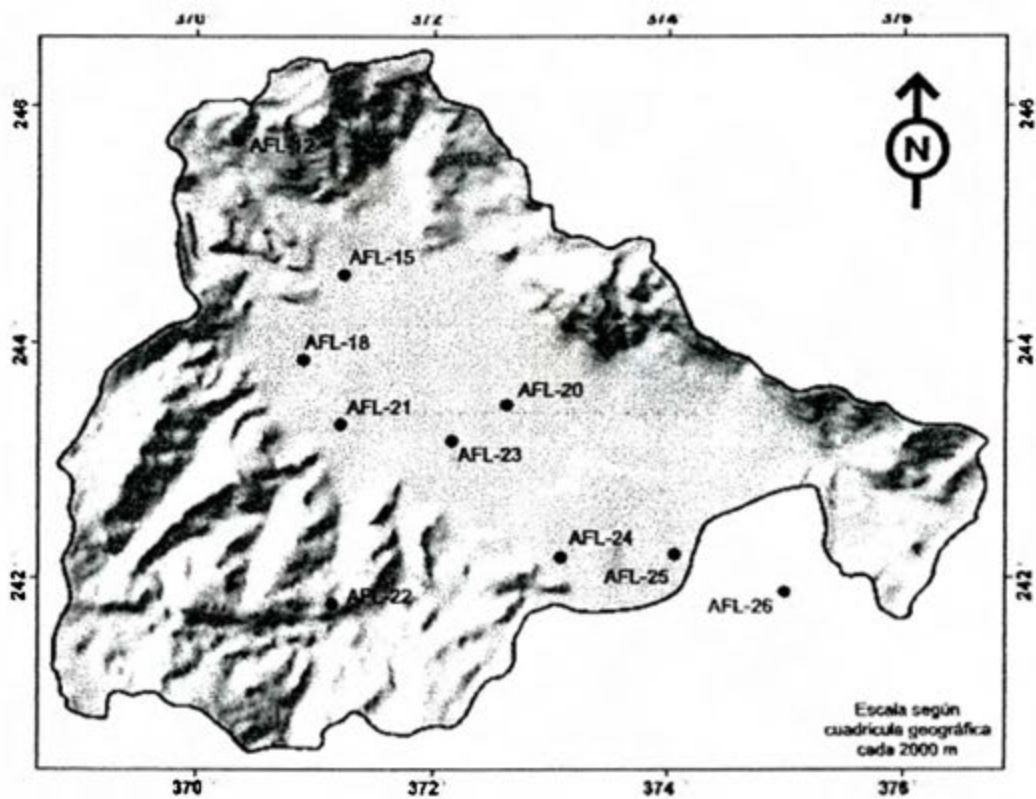


Figura 48. Mapa de ubicación de muestreo de suelos para la determinación de la capacidad de campo y el punto de marchitez de los suelos existentes.

Cuadro 6: Resultados de laboratorio sobre la Capacidad de Campo (CC), el Punto de Marchitez (PM) y la densidad de los suelos encontrados.

Formación Geológica	Muestra	CC %	PM%	Densidad (g/cm³)
Complejo de Nicoya	AFL-22	40.39	22.04	1.27
FM. Sabana Grande	AFL-12	37.15	21.39	1.18
	AFL-15	36.21	22.33	1.17
	AFL-20	41.74	22.63	1.23
	AFL-23	43.19	22.84	1.26
	AFL-24	37.61	22.34	1.25
	FMs. Carbonatadas	Promedio	39.69	22.54
	AFL-21	16.24	9.92	1.50
	AFL-25	36.04	21.93	1.27
	AFL-26	17.01	10.32	1.50
	Dep. Coluvio Aluvial	Promedio	26.53	16.13

Del Cuadro anterior se obtienen la capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente promedio para cada Formación geológica, a saber:

1. Complejo de Nicoya 40.39% de CC, 22.04% de PM y 1.27 g/cm³ de densidad.
2. FM. Sabana Grande 37.15% de CC, 21.39% de PM y 1.18 g/cm³ de densidad.
3. Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú 39.69% CC, 22.54% PM y 1.23 g/cm³ de densidad.
4. Depósitos Coluvio Aluviales 26.53% de CC, 16.13% PM y 1.39 g/cm³ de densidad.

Dentro del trabajo de campo también se realizaron muestreos geotécnicos con el fin de clasificar los tipos de suelos existentes en cada Formación geológica, los datos originales pueden ser consultados en el (Apéndice 4), la ubicación de los mismos se muestra en la Figura 49 y Cuadro 7 a continuación.

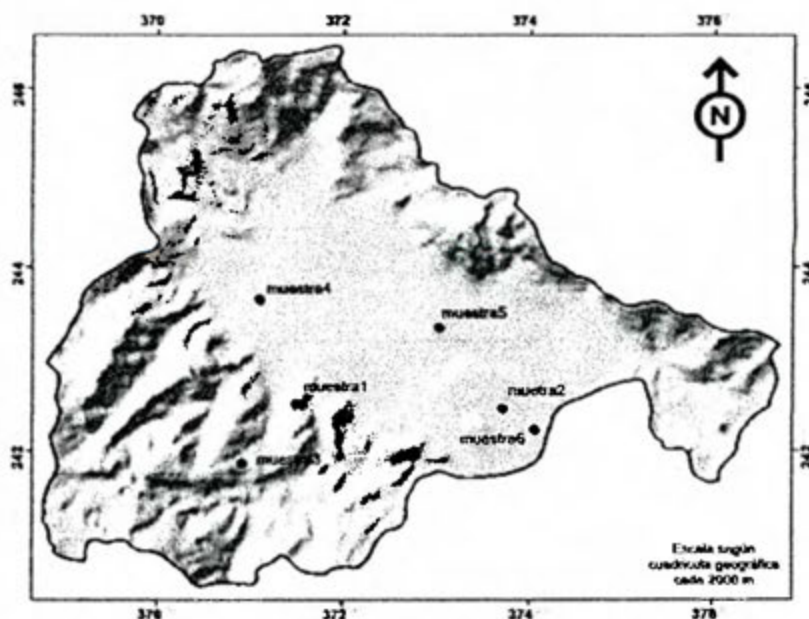


Figura 49. Mapa de ubicación de muestreos geotécnicos, para la determinación de la textura del suelo.

Cuadro 7: Resultados del análisis geotécnico y la determinación de la textura del suelo.

Formación Geológica	Muestra	Clasificación (U.S.C.S)	Textura del suelo	Porosidad total (%)
Complejo de Nicoya	M-3	Limo elástico arenoso (MH)	Franco Limoso	52.60
FM. Sabana Grande	M-1	Limo elástico arenoso (MH)	Franco Arenoso	51.40
Formaciones Carbonatadas	M-2	Limo elástico (MV)	Franco limoso	62.00
	M-5	Limo con arena (MI)	Franco limoso	49.30
Depósitos. Coluvio Aluvial	M-6	Limo elástico (MV)	Arcilla	54.40
	M-4	Limo elástico Arenoso con grava (MI)	Arenoso Franco	53.30

Con base en el Cuadro N°7 tenemos que:

1. Los suelos del Complejo Nicoya (CN) presentan texturas de tipo Franco Limoso.
2. Suelos de la FM. Sabana Grande presentan texturas tipo Franco Arenoso.
3. Las Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú, presentan texturas de suelo predominantemente Franco Limosas.
4. Los depósitos Coluvios aluviales, presentan dos tipos de textura, Arcillosa en el límite Este de la cuenca y Arenosa en el resto del área estudiada.

Con todos los resultados anteriormente expuestos y tomando en cuenta el mapa de uso del suelo de la cuenca (Figura 43) más el mapa reclasificado de pendientes de la Figura 25 de la presente investigación, se realizó un algebra de mapas mediante la utilización de programas de Sistema de Información Geográfica (SIG) de uso libre. Esto se realizó con el

objetivo de determinar y zonificar de mejor forma la recarga potencial del acuífero dentro de la cuenca estudiada. Para la zonificación, se realizó primero la asignación de pesos a cada una de las variables de los mapas, asignándole el orden de importancia mayor al uso del suelo de la cuenca, esto debido a que la profundidad de las raíces corresponde en este caso, al factor más importante en la determinación del balance hídrico de suelos. En orden de importancia seguido del uso del suelo, tenemos la pendiente del terreno y por último por la textura del suelo, en los cuadros subsecuentes 9,10 y 11 se presentan los factores con los pesos asignados.

Cuadro 8: Pesos asignados al uso del suelo. Elaboración propia

Tipo de uso del Suelo	Peso asignado
Bosque	500
Tacotal	400
Pastos	300
Cultivos	200
Urbano	100

Cuadro 9: Pesos asignados a las pendientes del terreno. Elaboración propia

Valor de Pendientes (%)	Peso asignado
0-0.02 (muy plana)	10
0.02-0.06 (muy plana)	10
0.06-0.30 (Plana)	20
0.30-0.40 (plana)	20
0.4-1.0 (plana)	20
1.0-2.0 (algo plana)	30
2.0-7.0 (promedio)	40
> 7 (fuerte)	50

Cuadro 10: Pesos asignados a la textura del suelo. Elaboración propia

Textura del suelo	Peso asignado
Arenoso	4
Franco Arenoso	3
Franco Limoso	2
Arcilloso	1

Con Estos resultados se realiza una reclasificación de los mapas correspondientes, al uso del suelo de la cuenca, las texturas del suelo y el mapa de pendientes ver las Figuras 50, 51 y 52 respectivamente.

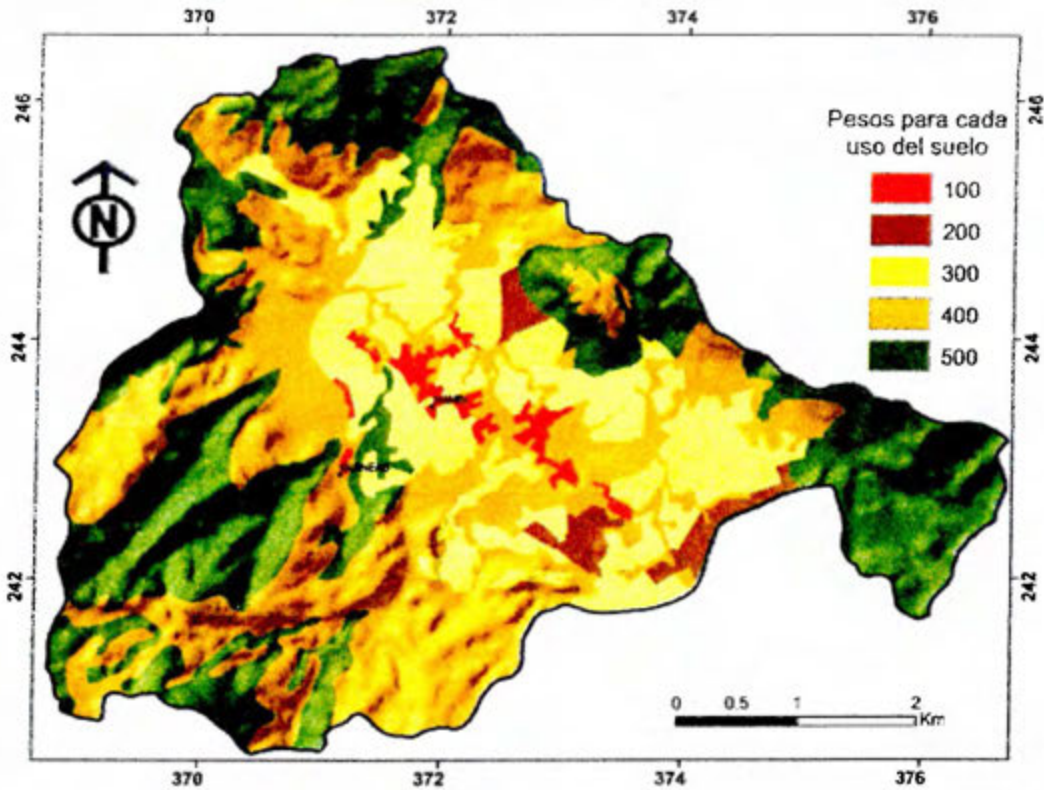


Figura 50. Mapa de usos del suelo reclasificado

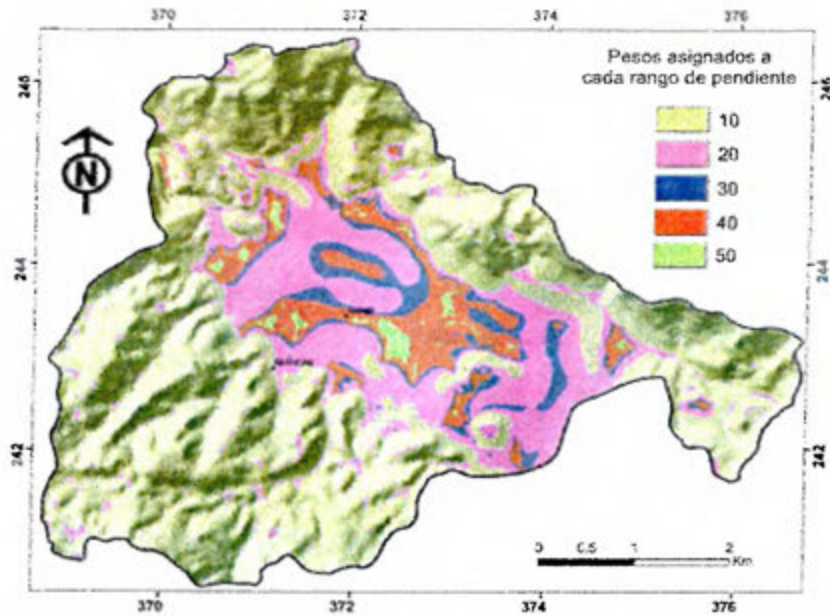


Figura 51. Mapa de pendientes reclasificado

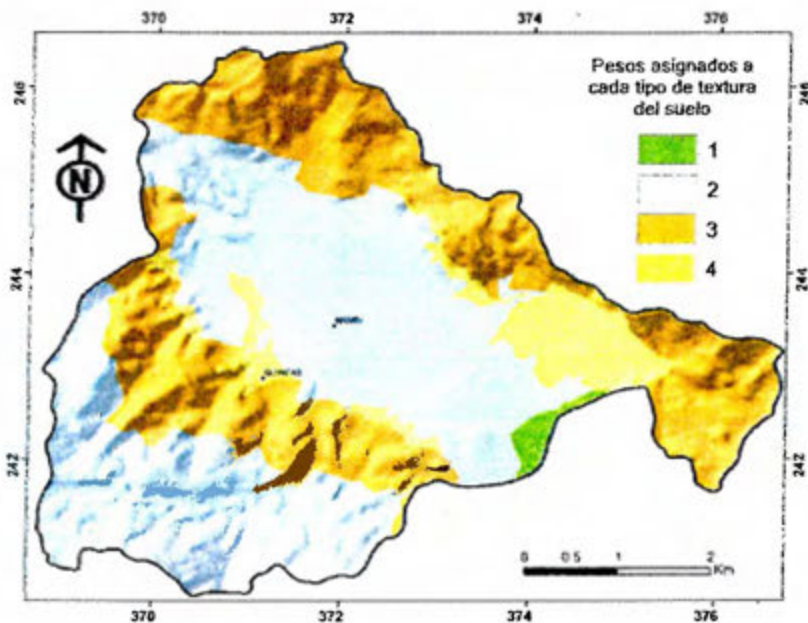


Figura 52. Mapa de texturas del suelo reclasificado

Con los mapas de las Figuras 50, 51 y 52, se realiza un álgebra de mapas, sumando todas las variables. Como derivado de la suma de los tres mapas reclasificados, obtuvimos el mapa simplificado de la Figura 53, dando como resultado tres zonas de Recargas Potenciales importantes, a saber:

1. La Zona 1 con valor ponderado de 554, representa áreas cubiertas por Bosques donde predominan las pendientes fuertes y los suelos de textura Franco Arenosa a Franco Limosa.
2. Zona 2 con valor ponderado de 442, comprende áreas con cobertura vegetal tipo Tacotal y Pastos, las pendientes predominantes son planas y suelos de texturas Franco Arcillosas a Arenosas en menor grado.
3. Zona 3, representada por un valor ponderado de 312, constituida por áreas con cobertura de tipo cultivos y uso urbano, donde se localizan pendientes muy planas y suelos Franco Limosos a Arcillosos.

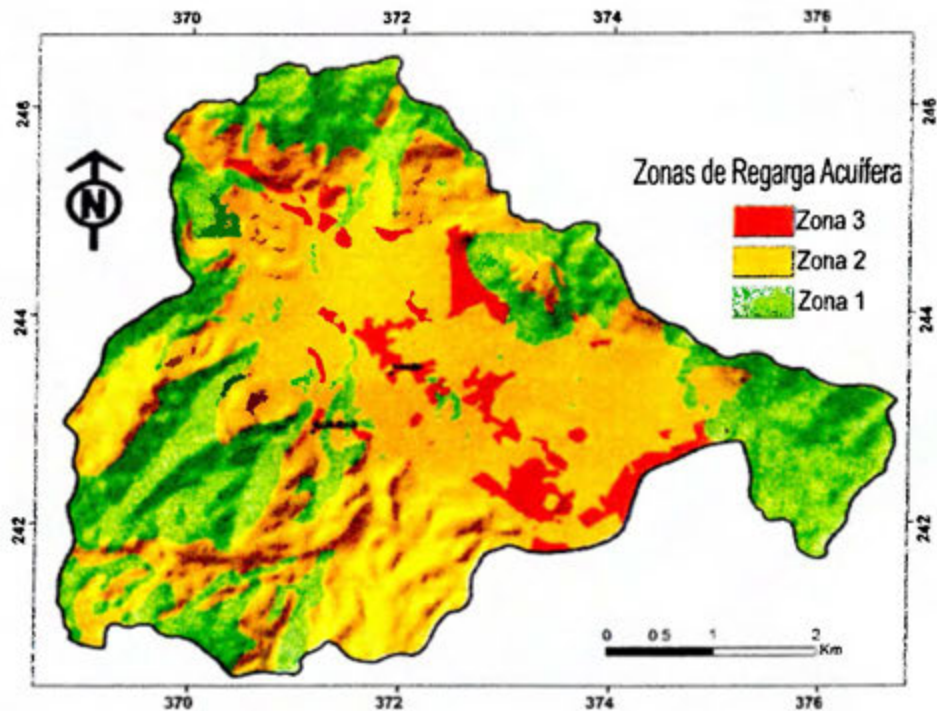


Figura 53. Mapa de Zonas de Recarga Potenciales de aguas subterráneas, Zona 1 con valor ponderado de 554, Zona 2 con valor ponderado de 442 y Zona 3 con valor ponderado de 312.

Con los resultados anteriormente obtenidos a cada zona de Recarga Potencial se le aplicó el balance hídrico de suelos con las siguientes condicionantes:

1. Zona 1: Áreas con coeficiente de infiltración básica del suelo $F_c = 1,115.28$ mm/día, coeficiente de Fracción que infiltra por efecto de pendiente $K_p = 0.06$, coeficiente de K_v , fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal igual a 0.2, Densidad relativa

- del suelo $DS = 1.23 \text{ g/cm}^3$, Capacidad de Campo $CC = 38.77\%$, lluvia retenida 0.2, Punto de Marchitez $PM = 21.72\%$ y Profundidad de las Raíces de 3000 mm.
2. Zona 2: Áreas con coeficiente de infiltración básica del suelo $F_c = 1,184.30 \text{ mm/día}$, coeficiente de Fracción que infiltra por efecto de pendiente $K_p = 0.2$, coeficiente de K_v , fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal igual a 0.18, Densidad relativa del suelo $DS = 1.20 \text{ g/cm}^3$, Capacidad de Campo $CC = 38.42 \%$, lluvia retenida 0.12, Punto de Marchitez $PM = 21.97\%$ y Profundidad de las Raíces de 2000 mm.
 3. Zona 3: Áreas con coeficiente de infiltración básica del suelo $F_c = 1996.31 \text{ mm/día}$, coeficiente de Fracción que infiltra por efecto de pendiente $K_p = 0.3$, coeficiente de K_v , fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal igual a 0.09, Densidad relativa del suelo $DS = 1.31 \text{ g/cm}^3$, Capacidad de Campo $CC = 33.11 \%$, lluvia retenida 0.12, Punto de Marchitez $PM = 19.33\%$ y Profundidad de las Raíces de 1000 mm.

Para cada una de las zonas estudiadas, se aplica el balance hídrico del suelo (ver hojas de cálculo en el Apéndice 7, obteniéndose los siguientes resultados (Cuadro 11):

1. La zona 1, representa áreas con una Recarga Potencial acuífera de 514.63 mm/año, esta recarga corresponde al 23.82% de la precipitación anual y el 29.92% de la precipitación que infiltra.
2. La zona 2, está representada por áreas con una Recarga Potencial acuífera de 757.08 mm/año, esta recarga corresponde al 35.04% de la precipitación anual y el 40.09% de la precipitación que infiltra.
3. La zona 3, representa áreas con una Recarga Potencial acuífera de 890.05 mm/año, esta recarga corresponde al 41.20% de la precipitación anual y el 47.13% de la precipitación que infiltra.
4. La zona 1, cubre un área total dentro de la cuenca de 9, 980, 000.00 m², para una Recarga Potencial anual de 5, 136, 007.00 m³/año.
5. La zona 2, cubre un área total dentro de la cuenca de 14, 320, 000.00 m², para una Recarga Potencial anual de 10, 841, 386.00 m³/año.
6. La zona 3, cubre un área total dentro de la cuenca de 1, 693, 000.00 m², para una Recarga Potencial anual de 1, 506, 855.00 m³/año.
7. El total de Recarga anual Potencial a los acuíferos existentes es de 17, 484, 248.00.40 m³/año o 554.42 litros/seg.

Cuadro 11. Resultados finales del Balance Hidrico de Suelos del área estudiada

Zona	Área en m ²	Recarga Potencial (m/año)	Recarga Potencial (RP) m ³ /año	Porcentaje de RP en cuanto a la precipitación que infiltra
1	9,980,000.00	0.5146	5,135,708.00	29.92
2	14,320,000.00	0.7571	10,841,386.00	40.09
3	1,693,000.00	0.89005	1,506,855.00	47.13

Con el propósito de determinar de forma más precisa las zonas de recarga acuífera más importantes dentro de la cuenca hidrológica analizada, cada área geográfica representada para cada zona de Recarga se le cálculo la Recarga Potencial anual en m³/año, multiplicando el área por la recarga potencial en m/años de cada zona. Utilizando esta metodología se derivó la Figura 54, a la cual se le agregaron el trazo de las fallas geológicas identificadas, con el fin de establecer alguna relación hídrica importante entre la ubicación de las Fallas y la Recarga Potencial de agua subterránea, de este análisis como resultados más importantes tenemos:

1. Las zonas de mayor Recarga Potencial (RP) se encuentran en sitios muy puntualizados de la cuenca, principalmente en las áreas de topografías altas, estas zonas representan áreas con recargas anuales potenciales de más de 4, 500, 000.00 m³/año. La zona de recarga más importante se ubica en el sector S-SE, dentro de la Cuenca de la Quebrada Ponedero, esta zona coincide con la zona donde se presenta hidrológicamente una baja importante en el coeficiente de gasto unitario, dentro de la Quebrada Ponedero, donde aguas arriba del paso de las Fallas Belén y Ponedero el gasto unitario de 946.90 litros/seg/ km² pasa a 93.23 litros/seg/ km² aguas abajo del trazo de dichas Fallas. Esto confirma la hipótesis de que en estos sitios, las zonas de falla infiltran de manera importante el agua de escorrentía superficial incorporándola al acuífero fracturado de secuencia de rocas carbonatadas, ubicado en las partes más bajas del Valle tectónico del río Grande.
2. Otros sitios donde las líneas equipotenciales de RP son importantes, corresponde al Cerro los Santos y el sector conocido como Poza Verde, en estos sitios se llegan a alcanzar valores de Recargas Potenciales de hasta 10,500,000.00 m³/año. Hacia la parte NW del Cerro los Santos, se encuentra el trazo de la Falla la Tranquera, la cual corta estas zonas de alta recarga acuífera. Esto coincide con el modelo hidrogeológico conceptual en este sector, ya que el agua subterránea recargada en las partes altas (Cerro los Santos) discurre por medio de las zonas fracturadas en

sentido NE-SW hacia las partes bajas del Valle tal y como se muestra en el modelo hidrogeológico conceptual y las líneas de flujo. Este mismo concepto se aplica al sector S-SW de la cuenca, donde las Fallas geológicas cortan las zonas de recarga en la parte Sur, trasladando el agua subterránea a las partes bajas del Valle en sentido NE.

- Los sectores con bajos valores de RP menores a los 500,000.00 m³/año, se encuentran predominantemente en los sectores bajos del Valle, donde el factor vegetación juega un papel muy importante en relación a la Recarga acuífera Potencial, debido a que estos sitios coinciden con las zonas mayormente desprovistas de vegetación importante (Bosque) que incentivan los procesos de recarga subterránea. Por tanto se infiere que en estos sectores el factor vegetación (uso del suelo), con relación al potencial de recarga subterránea, juega un papel más importante que el grado de fracturación de la roca, provocando que el escurrimiento superficial y la Evaporación Potencial sean más fuertes que la infiltración de aguas subterráneas a zonas profundas.

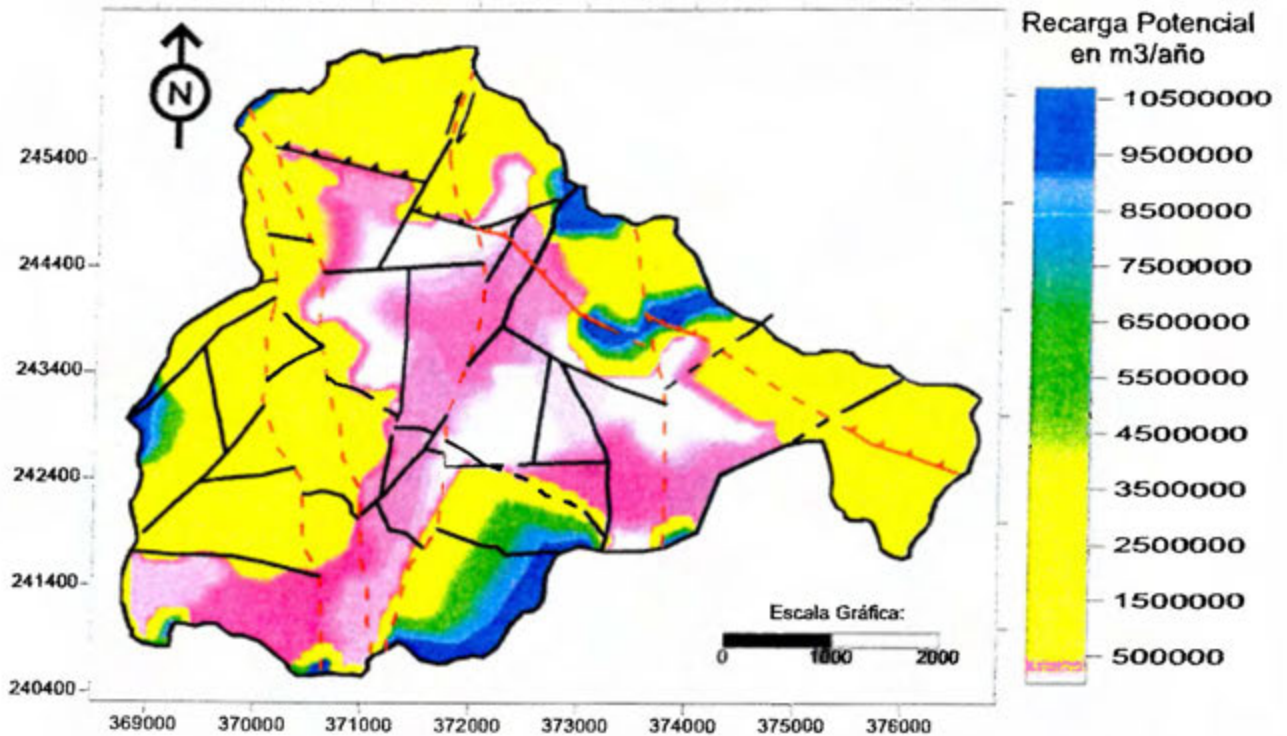


Figura 54. Mapa de iso-potencial de Recarga Acuífera en (m³/año), dentro de la cuenca del Río Grande. Líneas rojas punteadas corresponde a Fallas Neotectónicas, líneas negras, corresponden a Fallas Paleotectónicas.

6.6 Características hidrogeológicas

La caracterización hidrogeológica tiene como fin establecer el modelo hidrogeológico conceptual de la zona estudiada, integrando toda la información disponible hasta este punto de la investigación, a saber las características geológicas, geomorfológicas, geoestructurales e hidrológicas de la zona, complementada con la información geofísica e hidrológica recopilada de pozos y nacientes. El registro de perforaciones, manantiales y/o nacientes y sondeos eléctricos verticales que se utilizaron como complemento para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual, pueden ser consultados en el (Apéndice 8). Hay que tener en cuenta que la zona estudiada contaba con muy poca información hidrogeológica, ya que la mayor parte de los pozos existentes, corresponden a pozos artesanales de gran diámetro de 1 m aproximadamente.

Por tanto como fue explicado en el marco teórico de esta investigación, para el establecimiento de las características hidráulicas de los acuíferos existentes, en el presente estudio se realizaron en campo 6 pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro con equipo móvil, con el fin de generar información técnica importante, para el establecimiento de las propiedades hidráulicas de los acuíferos encontrados (ver Apéndice 8). En la Figura 55 se observan todos los pozos, manantiales y sondeos eléctricos verticales dentro del área estudiada.

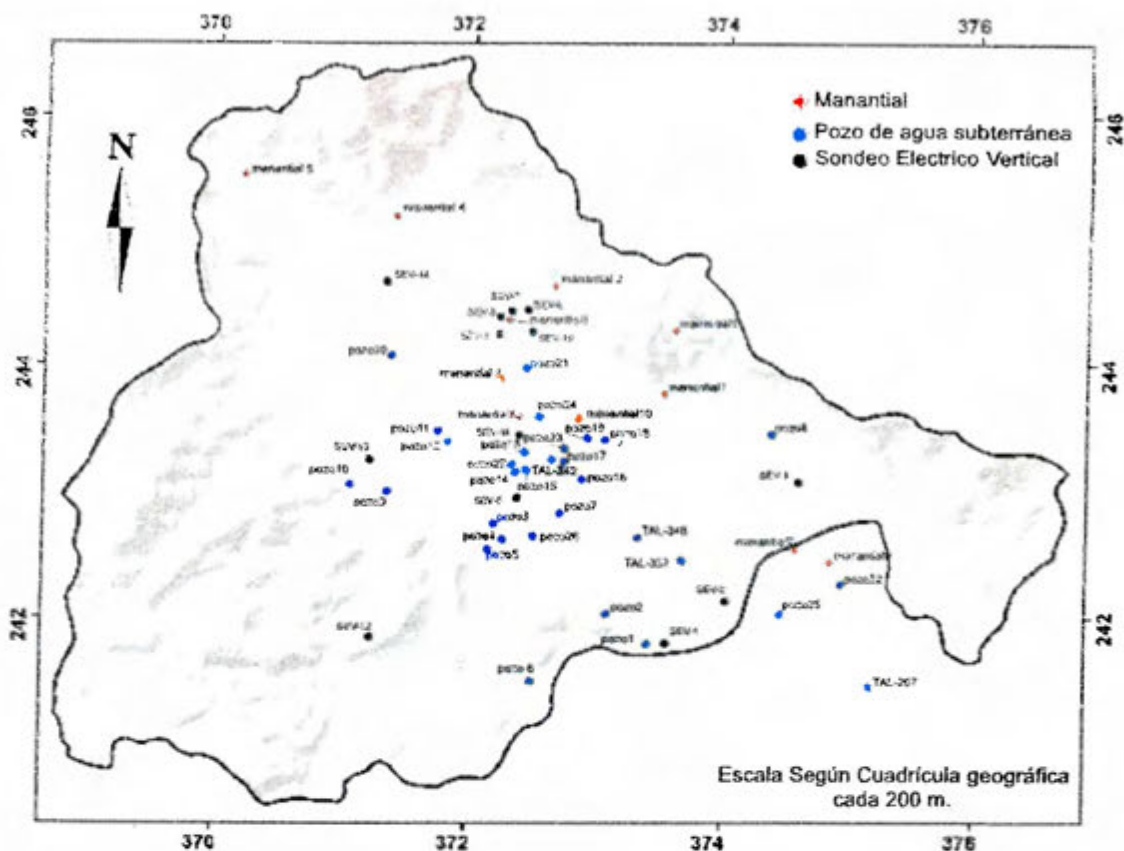


Figura 55. Mapa de Ubicación de pozos, manantiales y sondeos eléctricos verticales.

6.6.1. Rasgos Hidrogeológicos de los Basaltos del Complejo Nicoya

Estas rocas representan el basamento geológico de la zona, afloran predominantemente en el sector SW de la cuenca. El pozo localizado en estos materiales es el pozo 6 (Figura 55). Esta perforación durante la visita de campo realizada a la zona se encontraba seco (verano del 2012), sin embargo el dueño de la perforación indicó que el pozo suele mantener agua durante la época de invierno. Esto nos indica que el almacenamiento de agua subterránea en estos materiales es relativamente bajo, debido a que la misma, se acumula en partes bajas dentro de la zona regolítica la cual tiene espesores entre los 2 a 3 m. No se descartan zonas de acumulación de agua subterránea importante dentro de estos materiales en los sitios cortados por el sistema de Fallas Belén y la Falla Ponedero, un indicativo de lo anteriormente expuesto, está representado por el Coeficiente de Gasto Unitario de caudal (q) entre el aforo 1 y el aforo 2 dentro de la microcuenca Ponedero, donde se pasa de un gasto unitario por unidad de área de 946.90 a 93.23 litros/seg/km² (ver caracterización hidrológica), zona de recarga acuífera dentro de los Basaltos del

Complejo y la fm. Sabana Grande. Por la poca información hidrogeológica existente sobre los basaltos del Complejo Nicoya en la Zona estudiada, se desconocen las propiedades hidráulicas insitu de estos materiales.

6.6.2. Rasgos Hidrogeológicos de la Formación Sabana Grande

Estos materiales sobreyace a los Basaltos del Complejo Nicoya, afloran hacia los bordes de la cuenca en los sectores SW y N-NE. En la parte SW de la cuenca los materiales de la FM. Sabana Grande, presentan poca información hidrogeológica, el único pozo localizado es el Pozo 2, el cual presentó un nivel freático a los 5.32 m de profundidad, este pozo con base a la información suministrada por el propietario el señor Pablo Rosales Rosales, presenta un ascenso de su nivel freático de 3 m entre el invierno y la época de verano, sin llegar a secarse. Este ascenso significativo del nivel freático entre verano e invierno, explica la rápida recarga de agua subterránea en la parte regolítica de la Fm. Sabana Grande, debida a la rápida infiltración del agua de lluvia hacia el acuífero contenido en el Saprolito. En el sector Norte se localizan los manantiales 2, 4 y 5 los cuales se encuentran en el contacto tectónico entre las Formaciones geológicas Sabana Grande y Nambí, al único manantial de este sector que se le pudo aforar corresponde al manantial permanente 2, el cual presenta un caudal de 0.16 litros/seg, medido el 31-1-012, los otros dos manantiales presentan caudales muy bajos durante la época de verano, siendo difícil su medición.

A nivel de superficie al igual que los basaltos del Complejo Nicoya la FM. Sabana Grande, almacena agua subterránea en la zona regolítica, con la diferencia de presentar mayor fracturación secundaria con relación a los basaltos, lo que le permite un mayor almacenamiento de agua. Con base en lo observado en campo, esta zona saturada podría alcanzar hasta los 10 m de espesor según el grado de fracturación y la profundidad de meteorización de la roca. Al igual que el Complejo Nicoya, no se descartan zonas de acumulación de aguas subterráneas importantes dentro de estos materiales en los sitios cortados por el sistema de Fallas Belén y la Falla Ponedero en el sector SW de la cuenca. Del mismo modo este comportamiento se podría dar en el sector Norte de la cuenca en los sitios donde la Formación geológica es cortada por las fallas Belén, Ponedero, Morote y los Santos. Por la escasa información hidrogeológica existente sobre los materiales de la Fm. Sabana Grande, no es posible establecer las propiedades hidráulicas insitu del acuífero superficial contenido en el regolito de esta formación. Con base en lo observado en campo, los caudales de descarga dentro del regolito fracturado en la Fm. Sabana Grande no son mayores a litro por segundo.

De acuerdo a todos los resultados obtenidos y lo observado en campo, se plantea como hipótesis la existencia de un acuífero profundo en el contacto entre los Basaltos del Complejo Nicoya y la Formación sabana grande, por debajo del Valle tectónico de la Cuenca analizada. Esto será descrito en el modelo hidrogeológico de esta investigación. Esta hipótesis surge a raíz del afloramiento de dos manantiales surgentes (nivel freático confinado) en la parte más baja del valle (nacientes 3 y 10). El manantial 3 aflora en una zona de fractura de 40 m de ancho, donde la fisura principal que le da origen es de 5 cm de abertura, rellena con carbonato de calcio en algunos sectores, estas diaclasas presentan un rumbo predominante en sentido NW con ángulos de inclinación verticales. En este sitio el agua aflora a través de varias fracturas y conforma una zona importante de descarga (ver fotografías 29 y 30). Las aguas de estos manantiales, presentan una diferencia hidrogeoquímica importante con relación a las aguas subterráneas más superficiales, como se explicará más adelante.



Fotografías 29 y 30. Se muestra la zona de fracturación que le da origen al manantial 3, donde se observa la salida de agua por medio de las fracturas en el manantial 3. Fotografías tomadas en Febrero del 2012, coordenadas Lambert Norte 372224 E-243890 N.

Con base en los resultados del aforo realizado el día 31-1-012, se calcula el caudal de descarga del manantial 3 el cual es de 2.1 litros/seg. En fecha 10-5-012, se realizan dos aforos diferenciales sobre el Río grande (ver Apéndice 6), uno aguas arriba del inicio de la zona de fractura que le da origen al nacimiento 3 y el otro aguas abajo del final de dicha zona de fractura obteniendo el siguiente resultado:

1. El caudal aguas arriba de la zona de fractura es de 0.3 litros/seg
2. El caudal aguas abajo de la zona de fractura es de 5.5 litros/seg
3. Por tanto el caudal de descarga de la zona de fractura es de 5.2 litros/seg.

Con base en estos resultados, podemos inferir que el acuífero confinado localizado en zonas profundas se almacena en la Fm. Sabana Grande, su zona de recarga se encuentra en las partes altas de la cuenca Rio Grande u otras cuencas hidrológicas aledañas, conectadas por los sistemas de fallas transcurrentes de rumbo NW-NE y de ruptura profunda. Esta hipótesis le da sustento a lo mencionado por Montero & Denyer (2011) los cuales nombran al manantial 3 como "Salitrales". Estos, son afloramientos de agua ubicados cerca de las trazas de fallas N-S como la Falla Belén. Montero & Denyer (2011) indican con base en datos isotópicos de $^3\text{He}/^4\text{He}$ tomados por Hiltón et al (2009^a y b en Montero & Denyer, 2011) que las aguas de estos manantiales contienen volátiles provenientes del Manto, lo que ratifica la profundidad significativa de estos sistemas de fallas, que interconectan acuíferos profundos con zonas superficiales.

Como se mencionó en la sección 5 de esta investigación, *"Cuando un medio rocoso se encuentra fracturado en todas direcciones y hay predominio de fracturas estrechas, el flujo puede considerarse de tipo laminar Custodio & Llamas (1983). En el régimen laminar, la distribución real de velocidades paralelas a la fractura a lo largo del ancho de la misma es parabólica, con el valor máximo en el centro y valores nulos sobre las paredes Custodio & Llamas (1983)".*

Teniendo en cuenta este enunciado, conociendo el ancho de la zona de fractura (40 m), el caudal de descarga de la zona de fractura (449.28 m³/día) y el gradiente hidráulico ascendente en 90° de inclinación de las fracturas (1) tenemos que:

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Dónde:

T = transmisividad en (m²/día)

i = gradiente hidráulico

L = Ancho de zona de fractura

Q = Caudal de la zona de fractura

Entonces la transmisividad del acuífero descargado en esta zona de fractura es igual a 11.23 m²/día. Al desconocerse el espesor de la zona saturada en este sitio, no se puede estimar el valor de la conductividad hidráulica de la zona fracturada que contiene al manantial 3 (ver Apéndice 8).

El manantial 10, presenta un caudal de 1.4 litros/seg, la zona de fractura comprende un área de 35 m de ancho, no fue posible medir en campo la descarga de toda la zona de fractura, por tanto no se pudo estimar la transmisividad del acuífero en este sector.

Con base en estos resultados tenemos que el acuífero profundo el cual hipotéticamente se ubica en la Fm. Sabana Grande y por debajo del Valle tectónico de la cuenca Río Grande, presenta caudales de descarga que van de 5.2 a 1.4 litros/seg y transmisividad de 11.23 m²/día, pudiendo presentar valores más altos de caudal y transmisividad hacia zonas más profundas. Esta hipótesis debe de estudiarse más, con la utilización de trazadores hidrogeoquímicos.

6.6.3. Rasgos Hidrogeológicos de las rocas carbonatadas

Representadas por las Formaciones geológicas carbonatadas de Edad Cretácico (Fm. Nambi, Fm. Piedras Blancas y Fm. Curú) aflorantes en la parte más baja del Valle tectónico de la cuenca Río Grande. Esta parte del Valle presenta la mayor cantidad de información hidrogeológica entre pozos artesanales, pozos perforados, manantiales y sondeos eléctricos verticales. Con base a la información hidrogeológica existente, los caudales de descarga y aprovechamiento de aguas subterráneas de esta unidad hidrogeológica se encuentran entre los 0.16 a 1.75 litros/seg. Con el fin de determinar las propiedades hidráulicas de los acuíferos contenidos en esta zona de la cuenca, se realizaron en campo 7 pruebas de bombeo en pozos Artesanales y una extraída del pozo perforado TAL-357, realizada por el geólogo Manrique Ortiz en el año 2011, SENARA (2015). Para el análisis de las pruebas de bombeo en pozos artesanales, se utilizó la metodología establecida por Schosinsky (2002) para pozos de gran diámetro. La mayor parte de los pozos analizados, presentó pruebas de bombeo con un $F(u,\alpha)$ menores a 0.05, desapareciendo el efecto por almacenamiento (Schosinsky, 2002), por tanto fue posible el análisis de las pruebas de bombeo mediante los métodos convencionales de Theis o Jacob. En el Cuadro 12 se presenta un resumen de los resultados de Transmisividad obtenidos para cada prueba, los análisis de las pruebas de bombeo, pueden ser consultados en el (Apéndice 8) de este documento.

Mediante el análisis de las pruebas de bombeo realizadas, se muestra que los resultados obtenidos de Transmisividad presentan congruencia, a excepción de los obtenidos en los pozos 13 y 26 mediante el análisis de prueba de bombeo de pozos de gran diámetro, por tanto, estos resultados no fueron tomados en consideración en las estimaciones de los parámetros hidráulicos de los acuíferos contenidos dentro de las formaciones geológicas de rocas carbonatadas.

Cuadro 12: Parámetro de transmisividad obtenido en los análisis de pruebas de bombeo en los pozos de la zona.

Número de pozo	(T) Método de Jacob		Método de Schosinsky (2002), pozos de Gran Diámetro (T)	Método de Theis (T)	Valores promedio de T
	bombeo (m ² /día)	recuperación (m ² /día)	(m ² /día)	(m ² /día)	(m ² /día)
13	59,78	64,03	245,23*	45,84	56.55
14	15,88	15,39	18,55	17,43	16.81
23	9,57	15,55	12,06	6,90	11.02
24	36,58	27,92	44,35	12,42	30.32
26	67,64	41,93	150,01*	41,31	50.29
27	12,92	17,41	17,19	17,28	16.20
TAL-357	7.41				7.41

Nota: los valores con asterisco, no se toman en cuenta para el cálculo de las medias aritméticas, ya que estos exceden en 1.98 a 3.34 el valor de la media aritmética.

Con base a las pruebas de bombeo realizadas se tienen las siguientes conclusiones:

1. El valor más bajo de transmisividad calculado fue de 7.41 m²/día para el pozo TAL-357, mediante el método de Jacobo.
2. El valor más alto de transmisividad promedio calculado lo presenta el pozo 13, con 56.55 m²/día.
3. Con base en los resultados obtenidos el valor promedio de transmisividad para el acuífero contenido en el regolito y la parte fracturada superior de la secuencia de rocas carbonatadas es de 13.01 m²/día.
4. Los valores elevados de transmisividad de los pozos 13, 24 y 26 se asocian a zonas de fracturación importante con espesor desconocido, que le confieren a la roca una porosidad secundaria mayor en estos sitios.

Para el regolito rocoso y la zona fracturada superficial dentro de las rocas carbonatadas, los Sondeos Eléctricos Verticales 5 y 11 presentan un espesor promedio de la zona saturada de 14.95 m, en esta zona las pruebas de bombeo de los pozos 14 y 27, presentan transmisividad promedio (T) de 13.61 m²/día, para el acuífero presente. Por tanto se puede establecer empíricamente la conductividad hidráulica del acuífero en este sitio, aplicando la fórmula $T = K * b$, donde: K es la conductividad hidráulica (m/día) y b = espesor del acuífero, con estos datos tenemos que la conductividad hidráulica de la zona saturada (K) en este sector es de 0.91 m/día.

Utilizando como base la Figura 14 de este trabajo, se construyó la Figura 56, esto se hizo trasladando los datos de transmisividades obtenidos al gráfico correspondiente tomado de Krásný & Sharp (2003, Fig.3).

Con base en la Figura 56 y tomando en cuenta que las transmisividades obtenidas se derivan de macizos rocosos fracturados provenientes de rocas carbonatadas, se obtienen los siguientes resultados:

1. La mayor parte de los datos de transmisividad estimados se encuentra dentro de la media estándar, (+/-) la desviación estándar de resultados regionales con base a estadísticas mundiales de otras regiones similares a las aquí analizadas según Krásný & Sharp (2003).
2. Los pozos con datos de transmisividad cercanos a anomalías positivas corresponden a los pozos 26 y 13. Estos resultados sugieren que estas perforaciones se encuentran ubicadas cerca de trazos de fallas importantes que le confieren a la roca mejores propiedades hidráulicas de transmisividad.
3. Basados en Krásný & Sharp (2003), los porcentajes de probabilidades de que las transmisividades calculadas, sean similares a las estimadas en otros macizos rocosos fracturados sobre rocas carbonatadas en otras regiones del mundo similares a las encontradas en esta investigación, se encuentran entre el 20 al 85%, por lo que tiene una gran variabilidad.

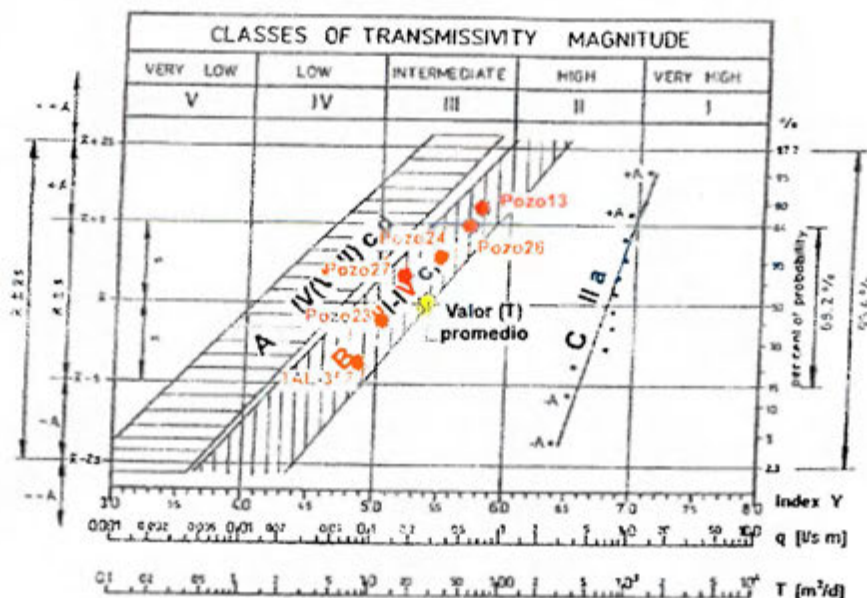


Figura 56. Gráfico de clasificación regional de la transmisividad en rocas fracturadas, con base al índice de transmisividad (y). Tomado de Krásný & Sharp (2003, Fig.3). Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo, dentro de las unidades hidrogeológicas carbonatadas. Capacidad específica (q) en litros/seg/m, coeficiente de Transmisividad (T) en m²/día, Índice de Transmisividad (Y), media aritmética (\bar{x}), desviación estándar (s), intervalos predominantes de Transmisividad donde se incluye aproximadamente el 68% de los valores de (T) estadísticos simples ($\bar{x} \pm s$), anomalías positivas o negativas de los valores de Transmisividad (+A, +A, -A, -A), anomalías extremas (+A, -A), anomalías extremas fuera de los intervalos $\bar{x} \pm s$ (+A, -A). Campo que comprende los valores típicos de Transmisividad de rocas ígneas y metamórficas (A), campo que comprende los valores de Transmisividad de rocas carbonatadas (B), campo que comprende los valores de Transmisividad de depósitos fluviales (C).

Lo anteriormente expuesto le da sustento técnico a los resultados obtenidos en esta investigación, en cuanto a los parámetros de transmisividades encontrados. En la Figura 57 se presenta un bloque diagrama, con el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero existente dentro de la unidad hidrogeológica de rocas carbonatadas.

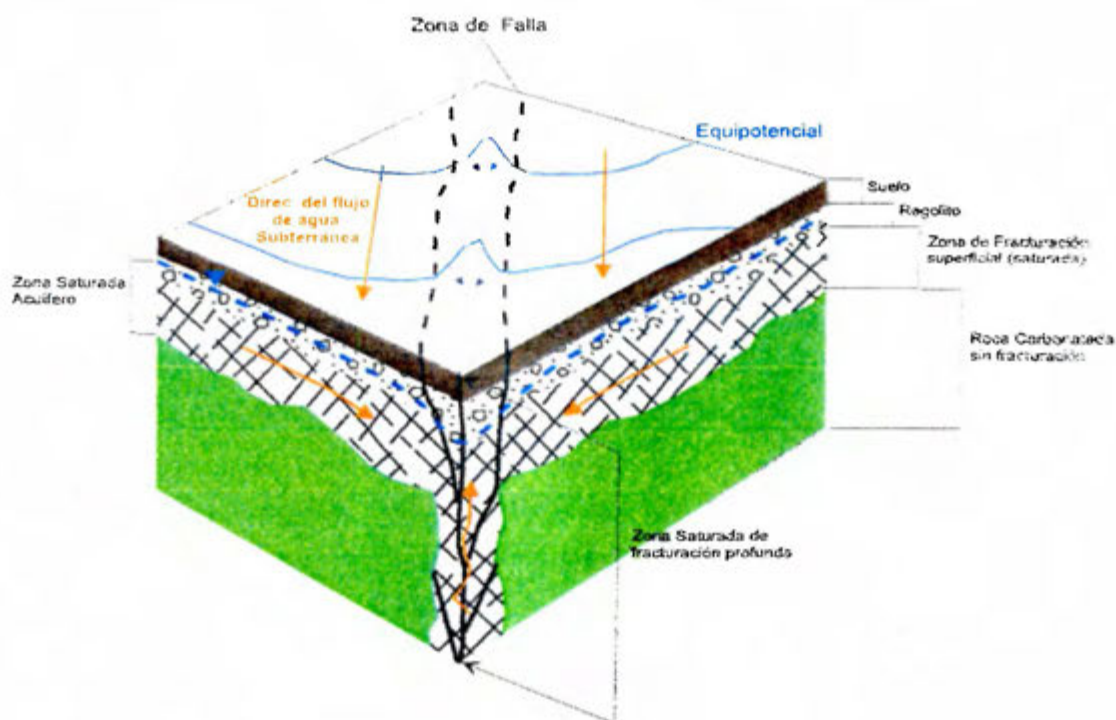


Figura 57. Bloque diagrama, muestra el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero contenido en la unidad hidrogeológica de rocas carbonatadas (regolito y zonas de fracturas o fallas profundas saturadas de agua). Esquema sin escala.

La Figura 57, muestra un modelo conceptual del acuífero contenido dentro de la zona regolítica y zona fracturada superior, así como la zona de fracturación profunda (zonas de falla), donde se establece lo siguiente:

1. La zona saturada contenida en el regolito y zona fracturada superior, contiene un acuífero libre con un potencial de descarga entre los 0.53 a 2.00 litros/seg, con transmisividades entre los 7.40 a 16.81 $m^2/día$ y permeabilidad promedio de 0.91 $m/día$.
2. Una vez que la zona saturada dentro del regolito y la zona fracturada superior de la roca, entra en contacto con trazos de fallas (zona de mayor permeabilidad), el nivel freático se abate debido al aumento del espesor permeable, provocando con esto, un mayor espesor de la zona saturada (dentro de los trazos de Falla), aumentando el caudal de descarga y la transmisividad, como lo demuestran las pruebas de bombeo realizadas. Con base en las pruebas de bombeo, el caudal de descarga en las zonas de fractura se encuentra entre los 1.18 a 4.95 litros/seg y la transmisividad se encuentra entre los 30.32 a 56.55 $m^2/día$

3. En la zona, la mayor parte de los trazos de fallas encontrados, corresponden a fallas de desplazamiento de rumbo, con componentes normales de alto ángulo, lo que favorece el espesor de zonas saturadas, debido a la verticalidad de los planos de fracturas.

6.6.4. Rasgos Hidrogeológicos de los depósitos coluvio aluviales

Estos materiales son de escasa extensión geográfica. La zona donde se pueden localizar extensiones y espesores importantes de esta unidad (± 15 m), se encuentra en la parte Este de la cuenca hidrológica analizada. Con base en la información hidrogeológica existente, los caudales de descarga dentro de estos materiales se encuentran entre 1 litro/seg a los 2.61 litros /seg. Fuera del área de estudio muy cerca del límite Este de la cuenca estudiada, se realizó una prueba de bombeo en el pozo 25 el cual corta estos materiales. En base a la prueba de bombeo del pozo 25 se estableció una transmisividad de $5.83 \text{ m}^2/\text{día}$. Es también importante mencionar que a 3.5 km al SE del pozo 25, existe el pozo perforado TAL-172 (SENARA, 2015), el cual con base en la prueba de bombeo realizada, se le asignó a los materiales coluvio aluviales una transmisividad de $52 \text{ m}^2/\text{día}$. Estas diferencias en la transmisividad de este acuífero de un punto a otro, se atribuyen a las diferencias del espesor de la zona saturada. Para el sitio donde se encuentra el pozo 25, la zona saturada con base en los Sondeos Eléctricos verticales SEV-1, 2 y 4, presenta un espesor de 11.66 m, mientras que para el pozo TAL-172 se estableció en 25 m. Tomando en cuenta estos resultados, el espesor promedio de la zona saturada en estos materiales es de 18.33 m, para una transmisividad promedio de $28.92 \text{ m}^2/\text{día}$. Teniendo en cuenta estos resultados, se puede establecer empíricamente la conductividad hidráulica del acuífero coluvio aluvial, aplicando la fórmula $T = k * B$, donde: k = permeabilidad o coeficiente de conductividad hidráulica (m/día) y B = espesor del acuífero. Con estos datos tenemos que la conductividad hidráulica de los coluvios saturados es de 1.57 m/día ($1.82 \times 10^{-5} \text{ m/seg}$). En el Cuadro 13 a continuación, se presenta un resumen de los parámetros hidráulicos de las aguas subterráneas contenidas dentro de las formaciones geológicas encontradas.

Cuadro 13: Resumen de los parámetros hidráulicos para los acuíferos existentes dentro de la zona de estudio.

Formación geológica	Zonas saturadas	Caudal de descarga esperado (litros/seg)	Transmisividad (m ² /día)	Conductividad Hidráulica en (m/día)	Tipo de Acuífero a encontrar
Fm. Sabana Grande	Zona Regolítica/Saprolítica de fracturación superficial (acuífero 2)	0.16 - 1.00	Se desconoce	Se desconoce	Libre
	Zona de Fracturación profunda (acuífero 1)	1.4 - 5.2	11.23	Se desconoce	Confinado
Rocas Carbonatadas	Zona Regolítica/Saprolítica de fracturación superficial (acuífero 2)	0.52 - 2.00	7.40 - 16.81	0.9	Libre
	Zona de Fracturación profunda (acuífero 2)	1.18 - 4.94	30.32 - 56.55	Se desconoce	Semi-confinado
Dep. Coluvio-aluvial	Aluviones (acuífero 3)	1.00 - 2.61	5.83 - 52.00	1.57	Libre

Del Cuadro anterior se derivan las siguientes conclusiones:

1. Las zonas con mayores probabilidades de generar caudales de descargas importantes dentro del área de estudio, corresponden a los sitios de fracturación profunda (Fallas de tipo transcurrentes con Angulo de inclinación vertical o similares) y los depósitos coluvio aluviales.
2. Las áreas de menor descarga acuífera corresponden con los sitios ocupados por el regolito de la FM. Sabana Grande.
3. Los acuíferos confinados a Semi-confinados, corresponden a los cuerpos de agua con mayor potencial de descarga.
4. Se establecen tres sistemas acuíferos importantes; un acuífero de fracturación profunda ubicado en la interface tectónica del Complejo Nicoya y la Formación Sabana Grande (Acuífero 1), el acuífero ubicado dentro de la parte regolítica de las Formaciones carbonatadas y la zona fracturada superior de estas rocas (Acuífero 2) y el acuífero coluvio aluvial ubicado dentro de los depósitos recientes (acuífero 3).

6.6.5. Características hidrogeoquímicas de los acuíferos existentes

Con el propósito de caracterizar hidrogeoquímicamente las aguas subterráneas presentes en la zona de estudio, se realizaron 13 muestreos de agua, para el análisis

fisicoquímico y 2 para el análisis bacteriológico (ver Apéndice 9), en distintos puntos de la cuenca. Esta campaña hidrogeoquímica se realizó gracias al financiamiento del Sistema de Estudios de Posgrados de la Universidad de Costa Rica. Desde el punto de vista de calidad del agua también se tomaron en cuenta los expedientes de perforación de los pozos TAL-172 y TAL-357 consultados en el SENARA (2015). Con toda la información hidrogeoquímica recopilada se clasificaron las aguas subterráneas mediante su contenido de iones mayores usando el diagrama de Piper (Figura 58) y se determinó la calidad del agua desde el punto de vista fisicoquímico. La ubicación geográfica de los muestreos se observa en la Figura 59.

Piper Diagram

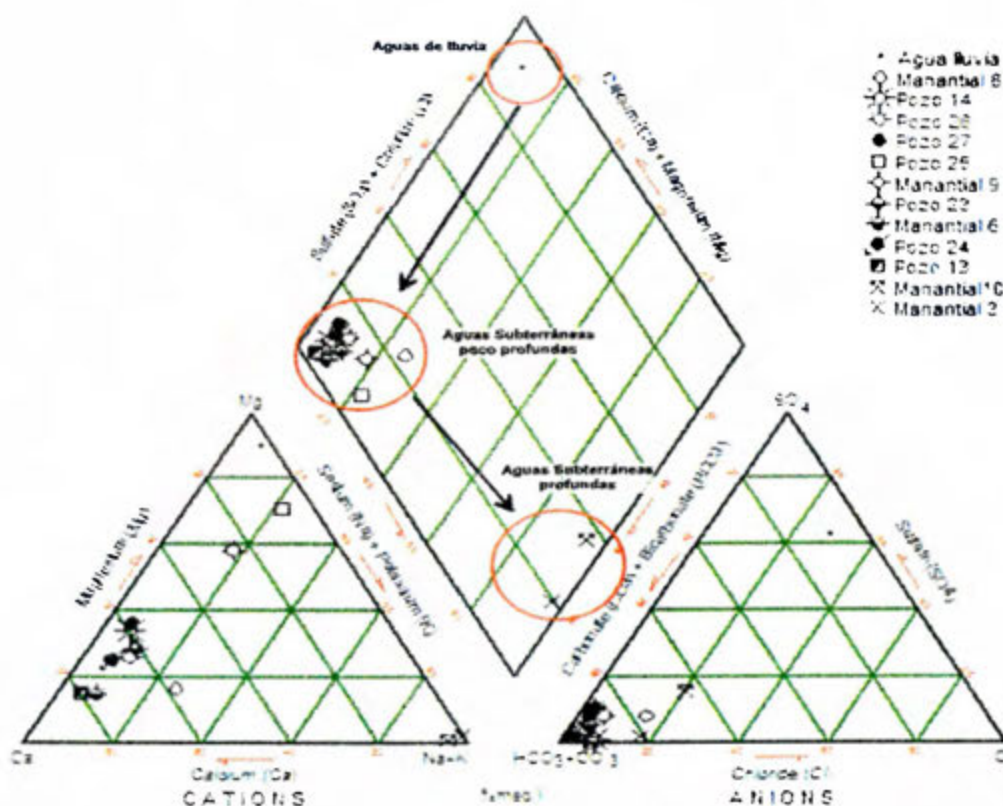


Figura 58. Diagrama de Piper para los resultados de muestreos de aguas subterráneas.

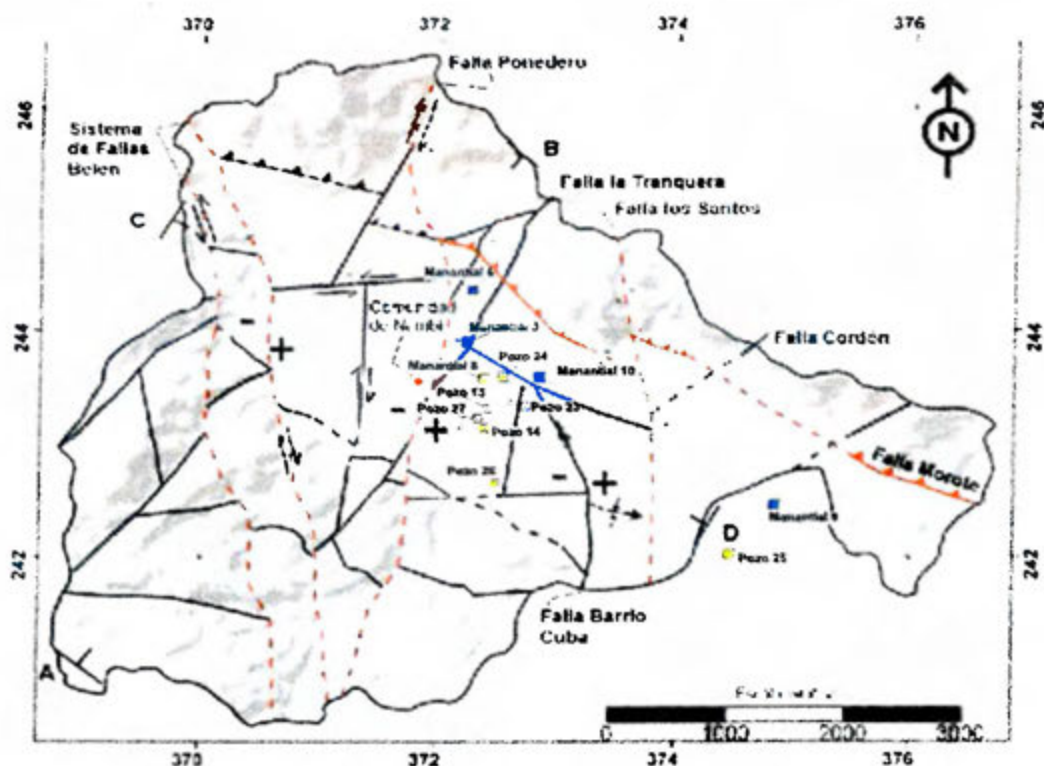


Figura 59. Ubicación de los muestreos Hidrogeoquímicos, con relación a las estructuras geológicas existentes.

Con base al diagrama de Piper, el agua de lluvia que se precipita en la zona de tipo Cloruro Sulfatada Cálculo magnésica evoluciona subterráneamente para dar dos grandes grupos a saber: las aguas subterráneas poco profundas y las aguas subterráneas profundas, estos dos grupos se describen a continuación. En el Cuadro 14, se presenta un resumen de los resultados químicos obtenidos para los iones mayores de los dos grupos de aguas subterráneas, en el Apéndice 9 se pueden consultar todos los datos geoquímicos de las muestras analizadas.

Cuadro 14: Resumen del contenido de iones mayores en las aguas subterráneas encontradas

Grupos	Cationes			
	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)
Aguas Subterráneas poco profundas	3.10-31.00	6.80-16.60	0.36-0.94	5.30-97.00
	Aniones			
	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
	0.00	54.00-402.00	2.10-27.00	2.00-15.00
Aguas Subterráneas profundas	Cationes			
	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)
	0.50-1.00	70.00-71.00	0.20-0.83	0.35-2.60
	Aniones			
	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Cloruros (mg/L)
	5.10-46.00	46.00-109.30	3.10-22.90	17.00-22.10

Aguas Subterráneas poco profundas

Pertencen a las aguas subterráneas que circulan dentro del acuífero contenido en el Regolito y/o Saprolito de las rocas carbonatadas superiores, así como las zonas fracturadas poco profundas, también se incluyen dentro de este grupo las aguas contenidas dentro del acuífero coluvio-aluvial de los depósitos recientes de pie de monte. Estas aguas subterráneas son de tipo Bicarbonatadas Cálculo Magnésicas las cuales representan el 83% de las muestras (Cuadro 14). Con estos datos se observa una evolución del agua de lluvia que entra al acuífero, aguas de tipo cloruro sulfatada cálcico magnésica, que se transforman a aguas bicarbonatadas cálcico magnésicas, esto se atribuye a una disolución del carbonato de calcio de la roca madre fracturada, por el paso del agua entre las fracturas y el Saprolito, produciendo aguas con altos contenidos de carbonato de calcio por la naturaleza carbonatada de las secuencias sedimentarias de las Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú. Estos resultados demuestran que las aguas subterráneas contenidas dentro del regolito y la parte fracturada superior de las secuencias carbonatadas, corresponden a aguas poco evolucionadas, en otras palabras corresponden a aguas donde las zonas de recarga se encuentran muy cerca de las zonas de descarga, lo que ratifica el tránsito rápido de las aguas de recarga por medio de las zonas de fractura que intercomunican las zonas de recarga descarga dentro de la cuenca. Los datos hidrogeoquímicos sustentan los altos

valores de gradientes hidráulicos obtenidos en el modelo hidrogeológico conceptual planteado, principalmente entre la interface de las zonas planas y las zonas altas de la cuenca (sectores Norte y Sur del área analizada). Hacia el sector Sur del Valle Tectónico de Nambí el gradiente hidráulico es de 3.88 %, mientras que para el sector Norte es de 5.49 %. Con base a los parámetros hidráulicos del acuífero establecidos en el modelo hidrogeológico conceptual, las velocidades convectivas de tránsito dentro del flujo de agua subterránea contenido en el Saprolito y zona fracturada superior se encuentran entre los 1.77 m/día (parte Sur de la cuenca) a 2.50 m/día (parte Norte de la cuenca), teniendo en cuenta una conductividad hidráulica del acuífero de 0.90 m/día y una porosidad efectiva promedio de 1.98% para el regolito.

Dentro de todas las muestras correspondientes al acuífero contenido en las secuencias de rocas carbonatadas, es importante destacar que la muestra del manantial 8 presenta un ligero enriquecimiento del anión Cloro, lo que podría indicar una mezcla de aguas, producto del ascenso vertical por presión de aguas subterráneas confinadas profundas interconectadas por fracturación. En cuanto al contenido del anión cloro, las aguas del manantial 8 son muy similares a las aguas del manantial 3, el cual refleja claramente una clasificación hidrogeoquímica diferente, lo que nos hace inferir una posible mezcla de aguas de los dos acuíferos en este sector.

Por otra parte las aguas del manantial 3 y 10, representan un 16.66% de los resultados y corresponden a aguas Bicarbonatadas Sódico Potásicas, muy diferentes a las aguas subterráneas poco profundas.

En cuanto a la calidad del agua y con base a los resultados obtenidos, las aguas subterráneas poco profundas localizadas dentro de la zona de estudio, presentan parámetros fisicoquímicos que en la mayor parte de los casos, cumplen con la norma de calidad de agua para consumo humano, establecidas en el Reglamento N° 32327-S. Sin embargo, es importante destacar que las aguas del manantial 9 y el pozo 23, presentan valores de PH entre los 6.10 a 6.8, muy cercanos al valor máximo admisible en cuanto a la acidez del agua, situación que puede ser corregida con la utilización de agentes alcalinos para la regulación del PH.

Por otra parte algunas de las muestras de las aguas subterráneas poco profundas, presentan valores de conductividad fuera del rango admisible para consumo humano entre los 427 a 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver apéndice 9), estos valores altos de conductividad, se deben a contaminaciones antrópicas cercanas a las fuentes de aguas medidas (tanques sépticos y subastas ganaderas), como el pozo 25 y el pozo 27 que muestran contaminación importante por factores microbiológicos (Coliformes fecales y *Escherichia coli*).

Otro factor importante que estaría presentando valores altos de conductividad de estas aguas, podría ser, el alto contenido de sales minerales que aumentan la cantidad de Sólidos Totales Disueltos en el agua (STD), dicha situación se puede corregir, disminuyendo la cantidad de STD del agua, con algún método de tratamiento químico y la desinfección mediante la utilización de Hipoclorito (cloro). Desde el punto de vista Microbiológico, las dos muestras recolectadas para este fin (pozo N°27 y pozo N°25), reflejan que los acuíferos que contienen estas aguas, son susceptibles a la contaminación bacteriológica. En el caso del acuífero fracturado superficial, esta alta susceptibilidad a la contaminación se puede atribuir a la fracturación vertical de las rocas que lo contienen, principalmente en las zonas de falla, lo que facilita la rápida infiltración del contaminante hacia zonas profundas. En el caso del acuífero coluvial aluvial ubicado en el sector Este de la cuenca, esta alta susceptibilidad a la contaminación microbiológica, se puede atribuir a la poca profundidad del nivel freático. Este problema de contaminación bacteriológica se puede corregir, con la utilización de procesos de desinfección química, previo almacenamiento del agua.

Aguas Subterráneas profundas

Representadas por las muestras de agua de los manantiales 3 y 10, corresponde a aguas de tipo Bicarbonatadas Sódicas, hidrogeoquímicamente diferentes a las aguas subterráneas contenidas dentro del acuífero de las secuencias carbonatadas superiores, esto se atribuye al hecho de que corresponden a aguas subterráneas de un sistema acuífero profundo el cual aflora en la zona por interconexión de fracturas. Las fracturas que hacen aflorar el agua de los manantiales 3 y 10, corresponden a zonas de fallas profundas las cuales pueden alcanzar hasta cientos de metros de profundidad (Krásný & Sharp, 2003). Un manantial que muestra características similares a las presentadas por el manantial 3, es el manantial 10, el cual podría tener el mismo origen hidrogeológico antes mencionado para el Manantial 3.

Con base en el modelo hidrogeológico conceptual, se infiere que estas aguas provienen del acuífero profundo fracturado localizado entre las rocas del Complejo Nicoya y la Formación Sabana Grande, aflorando en los manantiales 3 y 10 por surgencia del acuífero fracturado.

En el Cuadro 14, se puede observar que las aguas del acuífero profundo con relación a los acuíferos superficiales, son más ricas en el contenido del catión Sodio y los cationes Carbonato y Cloruro, así mismo las aguas subterráneas profundas son más empobrecidas en los cationes de Magnesio y Calcio. Se infiere que este cambio se da, principalmente por dos factores, el primero corresponde a un mayor tiempo de residencia de las aguas del acuífero fracturado profundo, con relación a los acuíferos

superficiales (contenidos dentro del regolito y los depósitos coluvio-aluviales), el segundo factor, corresponde con un cambio geoquímico de la roca madre que contiene el acuífero profundo fracturado, lo que le confiere una química diferente a estas aguas.

En cuanto a la calidad del agua con base a los resultados obtenidos, las aguas subterráneas profundas localizadas dentro de la zona de estudio, presentan parámetros fisicoquímicos que cumplen con la norma de calidad de agua para consumo humano en cuanto a iones mayores, sin embargo es importante destacar, que los valores de pH de estas aguas es elevado, con relación a la norma establecida en el Reglamento N° 32327-S (ver apéndice 9), con valores entre los 8.31 a 9.60 (manantiales 3 y 10). Esto puede corregirse mediante la utilización de tratamientos químicos, previo almacenamiento del líquido, utilizando Cloro, Hipoclorito de Sodio o calcio entre otros, para regular los valores de pH.

Con los datos hidrogeoquímicos obtenidos, se realizó un análisis estadístico de las muestras, determinando la desviación estándar y el coeficiente de variación (Ver Apéndice 9). De todo el análisis estadístico realizado, los cationes representan el 21.98% del contenido mineral de las aguas en mg/litro, siendo mayoritaria la presencia de calcio, seguido por el Magnesio y el Sodio. El contenido aniónico representa el 78.02% restante, predominando el anión bicarbonato, seguidos por los sulfatos, cloruros y en menor proporción carbonatos.

El predominio en el agua subterránea de la secuencia de rocas fracturadas carbonatadas del catión calcio y magnesio y el anión bicarbonato, confirma la disolución por fracturación de la roca madre que contiene el acuífero de esta unidad hidrogeológica. Se infiere que este proceso de disolución por fracturación de la roca madre que contiene el acuífero, aumenta la porosidad secundaria de la roca y por ende los procesos de acumulación del agua subterránea, principalmente en las zonas de topografía plana y poca pendiente de la cuenca hidrológica analizada, cerca del canal principal del río Grande.

Con relación a los resultados del Balance Iónico de las muestras, las que no se encuentran dentro del valor aceptable de $\pm 15\%$, están (ver apéndice 9):

1. Muestra del Manantial 8 con un valor de -41.70% , este valor refleja un predominio de los aniones con relación a los cationes presentes en el agua.
2. Muestra del pozo 14 (30.50%) y el Manantial 9 (31.40%), los valores altos del balance iónico de estas fuentes, pueden deberse a dos factores importantes, el primero; la existencia de fuentes contaminantes antrópicas que estén aportando iones que no fueron medidos en esta investigación, el segundo, presencia de

concentraciones importantes de especies químicas naturales del agua; que tampoco fueron medidos dentro de esta investigación.

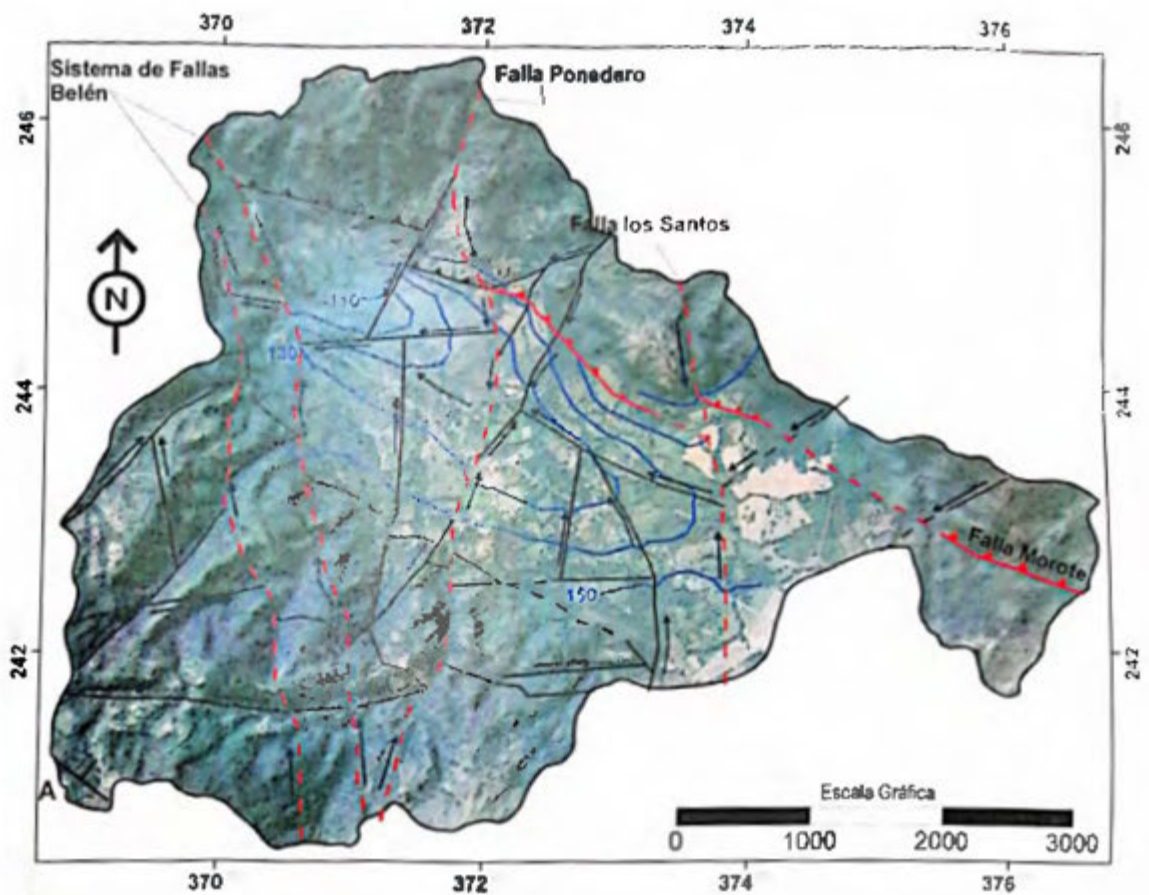
6.6.6. Modelo Hidrogeológico conceptual

Con base en toda la información recopilada, se construye el modelo hidrogeológico conceptual de la zona de estudio en dos dimensiones (Figura 60). Los resultados más importantes del modelo hidrogeológico conceptual establecen la presencia de 3 sistemas acuíferos importantes los cuales se detallan a continuación:

1. El acuífero fracturado profundo (acuífero 1): este sistema hidrogeológico se infiere ubicado en la interface tectónica entre el Complejo de Nicoya y la Formación Sabana Grande. Corresponde a un acuífero confinado el cual aflora surgente en los manantiales 3 y 10 de la zona de estudio. Estos manantiales aparecen como resultado de zonas de fracturas importantes, producto de fallas con ángulos de buzamiento cercanos a la vertical, con rumbo NW (manantial 3) y NE (manantial 10). El manantial 3, presenta un caudal de descarga de 2.1 litros/seg, mientras que el manantial 10 posee un caudal de 1.40 litros/seg. En el sitio del manantial 3, fue posible establecer la transmisividad del acuífero la cual es de 11.23 m²/día. Las zonas de recarga de este acuífero se encuentra en las partes altas de la cuenca hidrológica analizada o bien podría también ser alimentado por recargas de otras zonas fuera del área analizada, interconectadas por los sistemas de fracturas con rumbo NW-NE, como el sistema de fallas Belén, entre otros. Las zonas de descarga se dan en las partes más bajas de la cuenca tectónica analizada, por diferencias topográficas en los sitios de recarga (más altos) y los sitios de descarga (más bajos).
2. El segundo acuífero existente se encuentra localizado en las partes altas de la cuenca dentro del regolito o interface suelo roca del Complejo de Nicoya, la FM. Sabana Grande y las partes bajas en el regolito y zona fracturada superior de las secuencias carbonatadas de las Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú. Los caudales de descarga de este acuífero se encuentran entre los 0.16 a 1.00 litros/seg, lo sitios con mayores caudales de descarga, corresponde a zonas donde el regolito rocoso y la zona de fracturación superior de la roca, se combina con zonas de fracturaciones profundas, donde los espesores de las zonas saturadas son más grandes aumentando la porosidad efectiva de la roca madre por fracturación (ver figura 57). En esta parte de la cuenca, la transmisividad del acuífero depende en gran medida del espesor de la zona saturada, el cual varía según el grado y profundidad de fracturación de la roca. Por tanto la transmisividad se encuentra

entre los 7.40 a 16.81 m²/día. La conductividad hidráulica del acuífero en el regolito saturado y la zona de fracturación superior de la roca es de 0.90 m/día. Por falta de información hidrogeológica que nos indique el espesor y los caudales reales de descarga de las zonas de fracturación profundas, no fue posible establecer la conductividad hidráulica de estos sitios. El nivel freático dentro del acuífero contenido en la secuencia de rocas carbonatadas fracturadas, se encuentra entre los 0.5 a 2 m en las partes altas y medias de la cuenca y es más profundo en los sitios donde se ubican los trazos de zonas de falla, ya que en estos sectores aumenta la porosidad secundaria de la roca y el espesor de las zonas porosas, constituyéndose en sitios con mejores condiciones para el almacenamiento de agua subterránea, este fenómeno tiene como consecuencia el abatimiento del nivel freático en las zonas de fractura (Figura 57). Con base en las equipotenciales del acuífero (Figura 60), la dirección del flujo de agua subterránea en el sector Sur de la cuenca es en sentido NE-NW, mientras que en el sector Norte de la cuenca es en sentido SW. En la parte más baja de la cuenca río Grande, el agua subterránea discurre en sentido SE-NW con un gradiente hidráulico general de 0.94%. Con base a lo anteriormente descrito, el sistema acuífero superficial contenido dentro de la secuencia de rocas carbonatadas es dominado por la estructura geológica (Fallas). Las fallas con rumbo S-NW y SW-NE, interconectan las zonas de recarga acuífera en las partes altas de la cuenca con las zonas de descarga acuífera en las partes bajas de la cuenca. las fallas con rumbo SE-NW provocan que la dirección del agua subterránea en las partes bajas de la cuenca discurren en el mismo sentido, paralelas a la dirección de escurrimiento del cauce principal del río Grande. Con base a esta conclusión, se construye el modelo conceptual hidrogeológico para las zonas de fractura Figura 61.

3. El tercer sistema acuífero importante de la zona estudiada corresponde al contenido en los depósitos coluvio aluviales. Los caudales de descarga de este acuífero se encuentran entre los 1.00 a 2.61 litros/seg. La transmisividad hidráulica del acuífero es de 28.92 m²/día, para una conductividad hidráulica de 1.57 m/día. La dirección del agua subterránea es en sentido SE-NW con un gradiente hidráulico de 1.88%. Se infiere que el acuífero coluvio aluvial, recarga por percolación al acuífero contenido en las rocas carbonatadas.



Columna Hidrogeológica Conceptual

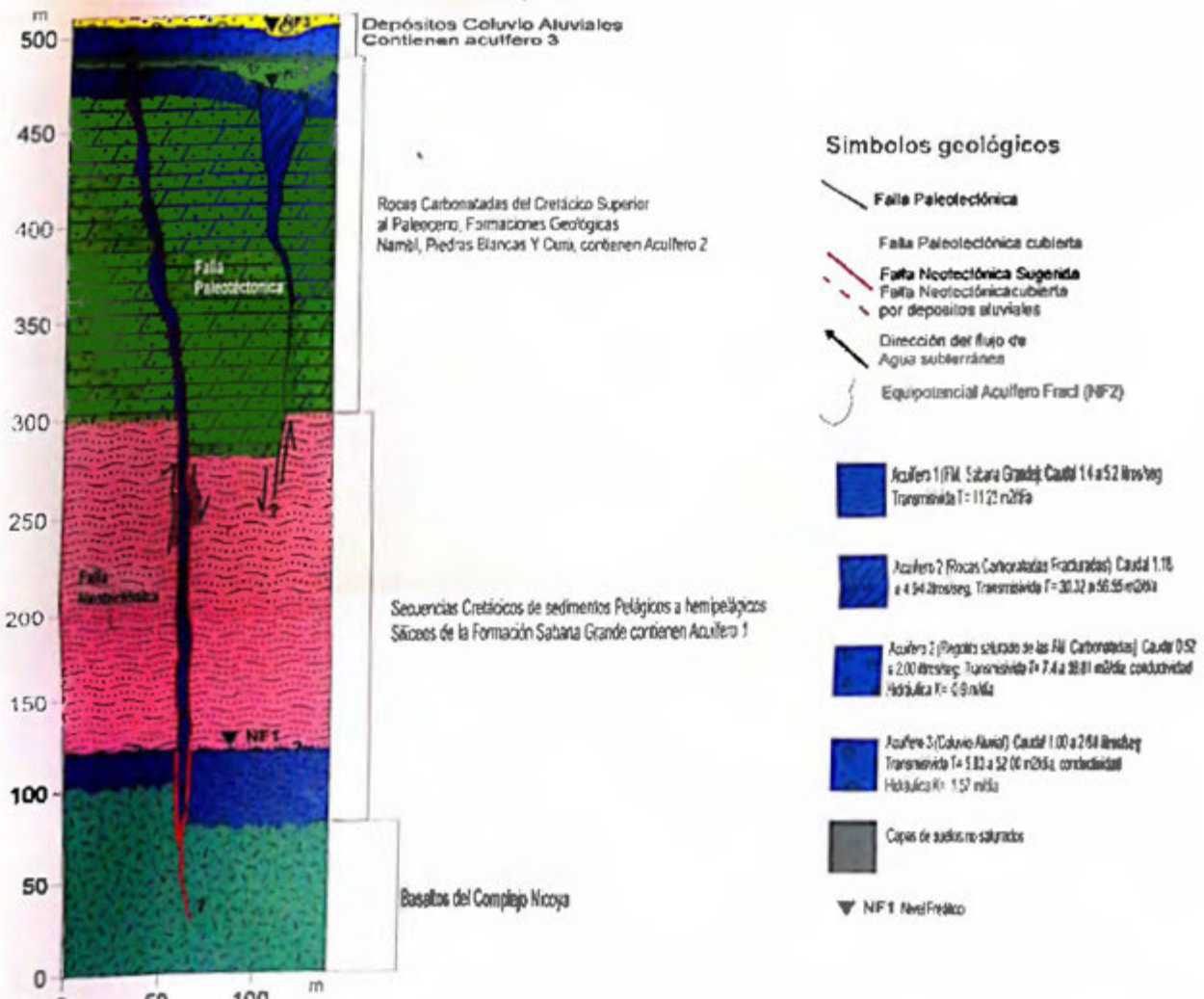


Figura 61. Modelo Conceptual del Sistema de Flujo Subterráneo en las zonas de Faja. Elaboración propia

6.6.7. Mapa del potencial acuífero dentro del Valle Tectónico de Nambi

Con base en los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto a las características geomorfológicas, estructurales, geológicas e hidrogeológicas de la zona estudiada, se presenta el correspondiente mapa del potencial acuífero del Valle Tectónico de la comunidad de Nambi (Figura 62), este mapa es el resultado de la suma entre los mapas de porosidades relativas de la roca (Figura 24), el mapa del modelo geoestructural (Figura 34) y el modelo hidrogeológico conceptual de la Figura 58, dando como resultado 3 zonas importantes a saber:

Zona 1: corresponde a zonas cubiertas por los depósitos coluvio aluviales y los trazos de fallas importantes identificados en esta investigación. Dentro de estas áreas se esperaría encontrar acuíferos libres, semi-confinados o confinados, con potencial de descarga entre los 1.18 a 5.2 litros/seg. En las áreas ocupadas por la Zona 1, antes de realizar cualquier perforación de agua subterránea, es importante establecer un área de exploración de 200 m de radio en cualquier punto de interés, para tratar de localizar las zonas principales de fracturas que logren tener espesores de zonas saturadas importantes. Antes de realizar cualquier perforación en las áreas cubiertas por la Zona 1, se recomienda realizar; geología de campo a detalle, levantamiento estructural, geofísica (sondeos eléctricos verticales) entre otros, esto con el objetivo de identificar el mejor punto para la perforación.

Zona 2: corresponde a zonas ocupadas por el regolito y/o saprolito de las rocas carbonatadas con espesores importantes de saturación de más de 10 m. El acuífero ubicado en estas áreas es de tipo libre con caudales de descarga esperados entre los 0.52 a 2.61 litros/segundo.

Zona 3: representada por áreas ocupadas por los regolitos y/o saprolitos de las rocas carbonatadas y la FM. Sabana Grande, que no superan los 10 m de zona saturada. El acuífero ubicado en estas áreas es de tipo libre con caudales de descarga esperados entre los 0.16 a 1.00 litros/segundo. Por la complejidad geológica y geo-estructural de la zona, no se descarta en sectores puntuales, la existencia de sitios sin saturación de agua.

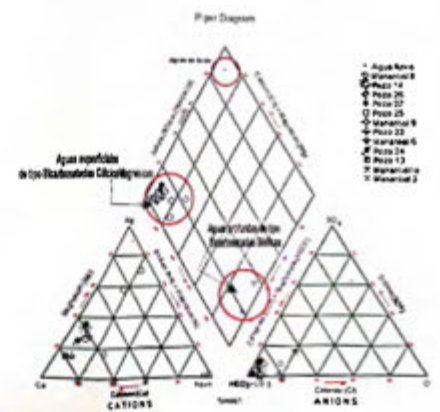
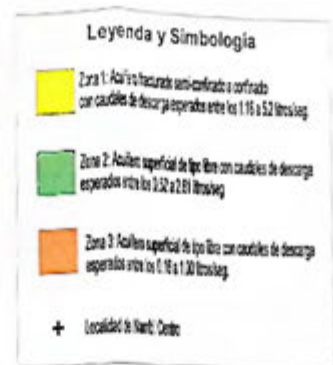
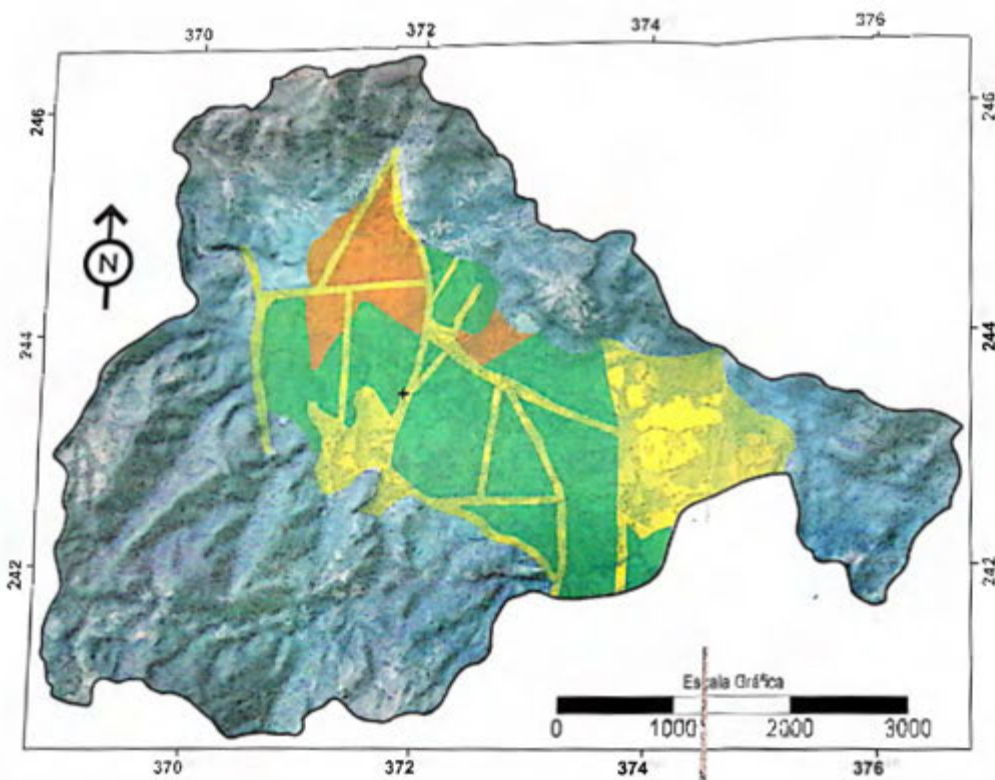


Figura 62. Potencial hidrogeológico del Valle Tectónico de Nambí de Nicoya. Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Desde el punto de vista hidro-geomorfológico se planteó la hipótesis con base al álgebra de mapas, de que zonas con porosidades relativamente altas Z3, correspondían con áreas con un potencial hidrogeológico alto, mientras que zonas con porosidades relativas bajas (Z1), corresponderían a zonas con un potencial hidrogeológico reducido. Esto se comprueba con el análisis de las características hidrogeológicas de la zona, donde el modelo hidrogeológico conceptual establece zonas saturadas en la parte más baja del valle tectónico (acuífero en rocas carbonatadas y el acuífero en depósitos coluvio aluviales), sitio ocupado por la zona 3 de las unidades hidro-geomorfológicas. Dando relevancia al uso del álgebra de mapas, para poder definir en zonas de acuíferos fracturados, áreas con potenciales acuíferos importantes.

Con base en el Balance Hídrico de Suelos, El total de Recarga anual Potencial a los acuíferos existentes es de 17, 484, 248.00 m³/año. Las zonas de mayor Recarga Potencial se encuentran en sitios muy puntualizados de la cuenca, principalmente en las áreas de topografías altas, estas zonas representan áreas con iso-valores de recarga potencial de hasta 10, 500, 000.00 m³/año. La zona de recarga más importante se ubica en el sector S-SE, dentro de la Cuenca de la Quebrada Ponedero, en esta zona se presenta hidrológicamente una baja importante en el coeficiente de gasto unitario, dentro de la Quebrada Ponedero, donde aguas arriba del paso de las Fallas Belén y Ponedero el gasto unitario de 946.90 litros/seg/ km² pasa a 93.23 litros/seg/ km² aguas abajo del trazo de dichas Fallas. Se establece como hipótesis de que en estos sitios, las zonas de falla infiltran de manera importante el agua de escorrentía superficial y las de recarga acuífera potencial de las partes altas de la cuenca, incorporándola al acuífero fracturado de secuencia de rocas carbonatadas ubicado en las partes más bajas del valle. Es por este motivo que las líneas equipotenciales del acuífero de rocas carbonatadas en el sector Sur del valle, muestran una dirección del flujo con rumbo NW-NE, demostrando un dominio pleno de las estructuras geológicas (Fallas). Estas fracturas interconectan las zonas de recargas en las partes altas de la cuenca, con las zonas de descarga en las partes bajas de la misma. Aunque los valores de Escorrentía Superficial (ESC) del Balance Hídrico de Suelos sean 0 mm/mes, en campo es normal observar un flujo base de agua entre los meses de julio a diciembre de cada año en los cauces de las quebradas y el río Grande, este flujo base es alcanzado cuando el agua de lluvia logra saturar por completo el suelo y la zona regolítica

de las rocas, provocando descarga subterránea a los canales superficiales en aquellos sitios donde los cauces cortan topográficamente el acuífero contenido en estos materiales. El valor de Recarga Potencial hidrogeológica dentro de la cuenca analizada representa el 23.82 al 41.20 % de la precipitación total de la zona. La demanda actual del recurso hídrico en la comunidad de Nambí de Nicoya se estima en 6.03 litros/seg, con base al potencial hidrogeológico de la zona y tomando en cuenta los datos de Recarga Potencial aquí calculados, esta demanda sería cubierta por el almacenamiento del agua subterránea existente, sin tener que trasvasar agua de otros sectores como en la actualidad sucede.

Dentro del área estudiada se localizaron 3 acuíferos importantes, el primero y más profundo se infiere ubicado en la interface tectónica entre el Complejo de Nicoya y la Formación Sabana Grande. Corresponde a un acuífero confinado el cual aflora surgente en los manantiales 3 y 10 de la zona de estudio. Estos manantiales aparecen como resultado de zonas de fracturas de tipo transcurrente e inclinaciones de planos muy cercanos a la vertical, producto de fallas con rumbo NW (manantial 3) y NE (manantial 10). Este acuífero posee un potencial de descarga de 1.4 a 5.2 litros/seg. En el sitio de la naciente 3, fue posible establecer la transmisividad del acuífero la cual es de 11.23 m²/día. Las zonas de recarga de este acuífero se encuentran en las partes altas de la cuenca hidrológica analizada, o bien podría también ser alimentado por recargas de otras zonas fuera de la cuenca Río Grande, interconectadas por los sistemas de fracturas con rumbo NW-NE, como el sistema regional de las fallas Belén, entre otros. Las zonas de descarga se dan en las partes más bajas del valle tectónico, por diferencias topográficas en los sitios de recarga (más altos) y los sitios de descarga (más bajos).

El segundo acuífero existente se encuentra localizado en las partes altas de la cuenca dentro del regolito o interface suelo roca del Complejo de Nicoya, la FM. Sabana Grande y las partes bajas en el regolito y zona fracturada superior de las secuencias carbonatadas de las Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú. Los caudales de descarga de este acuífero se encuentran entre los 0.16 a 2.00 litros/seg, lo sitios con mayores caudales de descarga, corresponde a zonas donde el regolito rocoso y la zona de fracturación superior de la roca, se combina con zonas de fracturaciones profundas, donde los espesores de las zonas saturadas son más grandes aumentando la porosidad efectiva de la roca madre por fracturación. En esta parte de la cuenca, la transmisividad del acuífero depende en gran medida del espesor de la zona saturada, el cual varía según el grado y profundidad de fracturación de la roca. Por tanto la transmisividad se encuentra entre los 7.40 a 56.55 m²/día. La conductividad hidráulica del acuífero en el regolito saturado y la zona de fracturación superior de la roca es de 0.90 m/día. Por falta de información hidrogeológica que nos indique el espesor y los caudales reales de descarga de las zonas de fracturación

profundas, no fue posible establecer la conductividad hidráulica de estos sitios. El nivel freático dentro del acuífero contenido en la secuencia de rocas carbonatadas fracturadas, se encuentra entre los 0.5 a 2 m en las partes altas y medias de la cuenca y es más profundo en los sitios donde se ubican los trazos de zonas de falla, esto se atribuye a los cambios de la porosidad secundaria de la roca, donde esta aumenta, en los sitios de fallas importantes y profundos. Con base en las equipotenciales del acuífero, la dirección del flujo de agua subterránea en el sector Sur de la cuenca es en sentido NE-NW, mientras que en el sector Norte de la cuenca es en sentido SW. En la parte más baja de la cuenca río Grande, el agua subterránea discurre en sentido SE-NW con un gradiente hidráulico general de 0.94%. Con base a lo anteriormente descrito, el sistema acuífero superficial contenido dentro de la secuencia de rocas carbonatadas es dominado por la estructura geológica (Fallas). Las fallas con rumbo S-NW y SW-NE, interconectan las zonas de recarga acuífera en las partes altas de la cuenca con las zonas de descarga acuífera en las partes bajas de la cuenca. Las fallas con rumbo SE-NW provocan que la dirección del agua subterránea en las partes bajas de la cuenca discurren en el mismo sentido, paralelas a la dirección de escurrimiento del cauce principal del río Grande.

El tercer sistema acuífero importante de la zona estudiada corresponde al contenido en los depósitos coluvio aluviales. Los caudales de descarga de este acuífero se encuentran entre los 1.00 a 2.61 litros/seg. La transmisividad hidráulica del acuífero es de 28.92 m²/día, para una conductividad hidráulica de 1.57 m/día. La dirección del agua subterránea es en sentido SE-NW con un gradiente hidráulico de 1.88%. Se infiere que el acuífero coluvio aluvial, recarga por percolación al acuífero contenido en las rocas carbonatadas.

Con base en el diagrama de Piper, el 83.00% de las aguas analizadas corresponden a aguas de tipo bicarbonatadas cálcico magnésicas, mientras que el 17.00% corresponden a aguas Bicarbonatadas sódico potásicas (muestra de los Manantiales 3 y 10). Con estos datos se observa una evolución del agua de lluvia de tipo cloruro sulfatada cálcico magnésica, a aguas bicarbonatadas cálcico magnésicas, esto se atribuye a una disolución del carbonato de calcio de la roca madre fracturada, por el paso del agua entre las fracturas, produciendo acuíferos con altos contenidos de carbonato de calcio dentro de la secuencia de rocas carbonatadas de las Formaciones Nambí, Piedras Blancas y Curú. Los manantiales 3 y 10, son hidrogeoquímicamente diferentes a las aguas subterráneas contenidas dentro del acuífero de las secuencias carbonatadas, por tanto se asocian al acuífero fracturado profundo, ubicado entre la interface geológicas Complejo de Nicoya - FM. Sabana Grande, este acuífero aflora surgente en superficie, por interconexión de fracturas.

El predominio en el agua subterránea de la secuencia de rocas fracturadas carbonatadas del catión calcio y magnesio y el anión bicarbonato, confirma la disolución por fracturación de la roca madre que contiene el acuífero de esta unidad hidrogeológica. Este proceso de disolución por fracturación de la roca madre que contiene el acuífero, aumenta la porosidad secundaria de la roca y por ende los procesos de acumulación del agua subterránea, principalmente en las zonas de topografía plana y poca pendiente de la cuenca hidrológica analizada.

Para el acuífero contenido en la secuencia carbonatada, desde el punto de vista fisicoquímico las aguas son potables. Sin embargo es importante resaltar que desde el punto de vista bacteriológico, este acuífero es susceptible a la contaminación, esto se demuestra en el análisis bacteriológico realizado al pozo 27, el cual presenta un nivel freático de 11 m y sin embargo dio positivo en contaminación bacteriológica, esta alta susceptibilidad a la contaminación puede también ser la causante de altos valores de conductividad en algunos resultados obtenidos. La contaminación bacteriológica es debida a la ubicación cercana de drenajes sépticos de los pozos y actividades ganaderas (subastas ganaderas comunes en la zona). Esta circunstancia es bastante lógica, más si consideramos que la fracturación vertical de la roca en el acuífero, genera interconexión rápida por infiltración, hacia el nivel saturado de agua subterránea. También es importante destacar que el acuífero contenido dentro de los coluvios es susceptible a la contaminación bacteriológica, esto se demuestra en los resultados bacteriológicos del pozo 25.

7.2 Recomendaciones

Actualmente la demanda de agua potable para la comunidad de Nambí es de aproximadamente 190,165.00 m³/año, mientras que la recarga anual dentro de la cuenca hidrológica analizada es de 17, 342, 689.40 m³/año, teniendo este escenario, es posible que las instituciones encargadas de suministrar el agua a esta comunidad pueda perforar pozos dentro del área analizada para dotarla de agua potable sin tener que trasvasarla de otras zonas. Con el propósito de captar la mayor cantidad de agua subterránea posible, con base en el mapa de potencial hidrogeológico de la zona estudiada, se tiene el área ocupada por la Zona (Z1), donde se ubican los depósitos Coluvio-aluviales y las zonas de fracturas geológicas, en esto sitios se pueden localizar zonas saturadas capaces de producir entre los 1.18 a 5.2 litros/seg.

En la investigación de aguas subterráneas dentro de zonas con acuíferos fracturados como es este caso, es de vital importancia para localizar zonas con mayores potenciales

acuíferos, el establecimiento de modelos geológicos, geomorfológicos y geo-estructurales detallados, con el fin de obtener mejores resultados. Modelos hidrogeológicos de Acuíferos aluviales que se encuentren sobre zonas de fallas importantes, tienen que considerar la variable geo-estructural e incorporarla a sus modelos, de lo contrario no se obtendrán resultados óptimos en la investigación hidrogeológica. Ya que como se demostró en esta investigación, estas zonas de fracturas (fallas) pueden generar aportes importantes como barreras positivas o negativas en el almacenamiento del agua subterránea.

Se recomienda realizar análisis de isótopos estables, e incluir más parámetros químicos, así como el uso de trazadores, para tener un mejor entendimiento sobre el comportamiento del flujo de agua subterránea y la interconexión del agua por los sistemas de fracturas geológicas. Con el objetivo de realizar investigaciones geológicas más puntuales en los sitios sugeridos de la Figura 62, se recomiendan ejecutar además de los Sondeos Eléctricos Verticales, otros métodos geofísicos, tales como Radar, y magnetometría, para posteriormente realizar perforaciones exploratorias (piezómetros) que depuren el modelo hidrogeológico conceptual aquí planteado.

Es de vital importancia comunicar el resultado de este estudio, a los tomadores de decisiones en la zona, tales como la municipalidad de Nicoya y la asociación de desarrollo de la comunidad de Nambí.

8. LIMITACIONES Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación tuvo como limitante principal el financiamiento de la misma, ya que prácticamente todo el trabajo se realizó con fondos propios, sin embargo, esto incentivó el espíritu de investigación y creatividad del suscrito. Al no tener un financiamiento adecuado, las limitaciones más importantes de esta investigación se basan en la carencia de análisis hidrogeoquímicos más profundos tales como: análisis de isótopos, trazadores químicos, así como mayor cantidad de análisis físicoquímicos de las aguas subterráneas existentes, con el fin de darle mayor fortaleza al modelo hidrogeológico conceptual, tareas que quedarán pendientes para futuras investigaciones en la zona de estudio. Los alcances de mayor relevancia de esta investigación, se basan en la propuesta de una metodología técnica para el estudio de acuíferos en rocas fracturadas, mediante la utilización de conceptos geológicos básicos, como el establecimiento de unidades hidro-geomorfológicas, el estudio de rasgos geoestructurales, rasgos hidrológicos, geológicos, geofísicos e hidrogeológicos de la zona de estudio, complementados con la utilización de Sistemas de Información Geográfica, para generar modelos conceptuales, que permitan obtener resultados hidrogeológicos importantes, en zonas geológicamente complejas.

9. BIBLIOGRAFÍA

Angelone, S., Garibay, T., & Cauhapé, M., 2006: Geología y Geotecnia, permeabilidad de suelos. – 39 págs. Univ. de Rosario, Argentina [Inf. Interno].

Araneda, M., Avendaño, C. & Del Río, G., 2010: Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología.- *Rev. Geofísica*, 62: 29-48.

Arias, M., 2008: Influencia del tectonismo en el modelo hidrogeológico conceptual y aplicaciones de la geofísica en la determinación de la intrusión salina en Samara Costa Rica. – *Rev. Latino-Americana de hidrogeología*, Vol 6: 25-33.

Banks, E., Simmons, C., Love, A., Cranswick, R., Wener, A., Bestland, E., Wood, M. & Wilson, T., 2009: Fracture and saprolite hydrogeologic control sor Groundwater/Surface-water interaction: a conceptual model (Australia). - *Hidrogeology Journal* (2009) 17: 1969-1989.

Bortolin, T., Reginato, A., Leão, M. & Schneider, V., 2014: Hidrogeología e hidroquímica dos aquíferos fracturados asociados a rocas volcánicas ácidas en el municipio de Carlos Barbosa (RS). - *Rev. Ambiente & Agua*, 9: 55-67.

Cardenal, J., Benavente, J., Cruz-San Julián, J., Sanroma, A., 1994: Implicaciones del funcionamiento de un acuífero fisurado Complejo (Sierra de Lujar, Granada) en la variabilidad hidrogeoquímica de su descarga natural. – *Rev. Hidrogeología y Recursos Hídricos*, 50: 201-214.

Centro Científico Tropical, 1993: Mapa Ecológico de Costa Rica, según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge, Hoja cartográfica Nicoya.- Escala 1:200 000, C.C.T, San José.

Custodio, E., & Llamas M.R., 1983: Hidrología Subterránea – Tomo I.- 1157 págs. Ed. Omega, Madrid.

Dengo, G., 1962: Estudio Geológico de la Región de Guanacaste. Costa Rica. – 112 págs. IGN, San José.

Denyer, P., 2010: Los Complejos Oceánicos de Costa Rica: con énfasis en las penínsulas de Nicoya y Santa Elena. – 121 págs. Univ. Costa Rica, San José, (Tesis de Doctorado).

Denyer, P., Aguilar, T., & Montero, W., 2013: Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica: estratigrafía y tectónica. – 207 págs 1. Ed. UCR, San José.

Denyer, P., Aguilar, T., & Montero, W., 2013: Mapa geológico de la Hoja Diría, Guanacaste, Costa Rica.- Escala 1:50 000, U.C.R-MINAE, San José.

Denyer, P., Aguilar, T., & Montero, W., 2013: Mapa geológico de la Hoja Talolinga, Guanacaste, Costa Rica.- Escala 1:50 000, U.C.R-MINAE, San José.

Flores, K., 2003: Propuesta Tectonoestratigráfica de la Región septentrional del Golfo de Nicoya, Costa Rica. – 176 págs. Univ. Costa Rica. San José (tesis Lic.).

Flores, K., Denyer, P., & Aguilar, T., 2003: Geología de la Hoja Matambú y Talolinga, Guanacaste, Costa Rica. – Rev.Geol. Amér. Central, 28: 131-138.

García, S., Cruz, J., & Benavente J., 1994: Identificación de tipos de acuíferos carbonatados en la cadena de Rif (N de Marruecos). – Rev. Soc. Geol. España, 7: 319-326.

Gonzales, A., 2005: Hidráulica del macizo rocoso, proyecto CYTED XIII-3- Junio del 2005, Córdoba Argentina. – 79 págs. Universidad de Huelva, España.

Gonzales, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2004: Ingeniería Geológica. - 744 págs. Ed. Prentice Hall, Madrid.

González, R., [2006?]: Investigación en los sondeos de agua subterráneas del tercio del sur de la cuenca del Duero.- <http://www.ebrary.com> [consulta: 22 de julio del 2015].

González, R., [2006?]: Investigación en los sondeos de agua subterráneas del tercio del sur de la cuenca del Duero.- <http://www.ebrary.com> [consulta: 22 de julio del 2015].

Google Eart, 2013: Imagen land sat/copernicus. – Google Eart [software].

Gursky, M., 1988: Análisis tectónico de la península de Nicoya (Costa Rica) y su significado para el desarrollo estructural – geodinámico de América central. – Rev.Geol. Amér. Central, 8: 19-75.

Gutiérrez, M., 2008: Geomorfología. - 920 págs. Ed. Prentice Hall, Madrid.

IMN, 2012: Datos meteorológicos de lluvia, temperatura, humedad relativa, brillo solar, radiación solar y velocidad del viento, 49 años de registro de la estación meteorológica Nicoya extensión agrícola. – 10 págs. I.M.N., San José.

INEC, 2008: Últimos datos estadísticos entre el 2002 al 2008. – www.inec.go.cr.

INEC, 2015: Tabla C1. Censo 2011, Costa Rica, población total por sexo, total de viviendas por ocupación y promedio de ocupantes según provincia, cantón y distrito. – www.inec.go.cr.

Krásný, J., & Sharp, J., 2003: Goundwater in Fractured Rocks. - 645 págs. Ed. Taylor & Francis, London.

Molinero, J., 2005: Doc. Clase: hidrogeología: tipos de acuíferos. – <http://www.es.slideshare.net/EdwinloisZutaGabriel/tipo-acuíferos>.

Montero, W. & Denyer, P., 2011: Fallamiento Neotectónico de la península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco-Centroamericano. – Rev.Geol. Amér. Central, 45: 9-52.

Pérez, E., s.f.: Relaciones de dependencia entre parámetros geofísicos medios regionalizados e hidrodinámicos en acuíferos cársicos, estudio de caso. - <http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EkpkivAKKVPYxzGzAj.php> [consulta: 23 de abril del 2015].

Pérez, J., Agudelo, A., 2005: Diagnostico del potencial de explotación y rendimiento seguro del acuífero de la parte alta de la sub-cuenca del Río Nimboyores, Santa Cruz, Guanacaste.- 42 págs. SENARA, San José [Informe Técnico].

Ríos, M., 2009: Exposición magistral del tema Hidrogeología de acuíferos fracturados, Quito, Ecuador. – 34 págs. Michigan.

Rodríguez, M., Carrillo, G. & De Pablo, M., 2008: Relieve y agua en regiones graníticas un modelo cuantitativo con aplicaciones en gestión del agua y la geodiversidad.- Rev. Electrónica de Medio Ambiente, 5:26-40.

Schosinsky, G., 2002: Pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro. – Rev.Geol. Amér. Central, 27: 85-95.

Schosinsky, G., 2006: Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos.- Rev. Geol. Amér. Central, 34-35: 13-30.

SENARA, 1982: Mapa hidrogeológico de la Península de Nicoya.- Escala 1:250 000, SENARA, San José.

SENARA, 2015: Inventario de concesiones para la exploración y explotación de aguas subterráneas. SENARA, San José [Informes técnicos contenidos en expedientes de concesión de exploración y explotación].

Tristan, M., 2005: Estudio hidrogeológico integral de la cuenca hidrográfica de los poblados del Coco y Ocotol, Carrillo, Guanacaste. – 168 págs. Univ. Costa Rica, San José [Tesis de Maestría].

Turbuck, E. & Lutgens, F., 2010: Ciencias de la Tierra (Tomo 1). - 400 págs. Ed. Person Educación S.A, Madrid.

Villón, M., 2004: Hidrología. - 474 págs. Ed. Tecnológica de Costa Rica, Cartago.

Xavier, J., Da Rosa Filho, E., Chemas, E., 2002: Evaluación de la vulnerabilidad en sistemas fisurados. – Rev. Latino Americana de hidrogeología 2: 53-62.

10. APÉNDICES

Apéndice 1: Fotografías aéreas utilizadas en el proceso de análisis geomorfológico dentro de la zona estudiada.

Apéndice 2: Plantilla para la clasificación de macizos rocosos aplicada en campo, Clasificación RMR, tomado de (González, 2002), Datos de levantamiento de diaclasas en la zona de estudio, dirección de buzamiento de los planos de fracturas.

Apéndice 3: Sondeos Eléctricos Verticales, Cuadro de cálculo de los parámetros físicos de la roca a partir de los datos de resistividad.

Apéndice 4: Resultados de laboratorio de Geotecnia de la Escuela Centroamericana de Geología.

Apéndice 5: Datos meteorológicos, suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

Apéndice 6: Aforos diferenciales de caudal para aguas superficiales, tomados en distintos puntos del área de estudio.

Apéndice 7: Pruebas de infiltración, Resultados de laboratorio del PM, CC y densidad aparente de los suelos, Hojas de cálculo del balance hídrico de suelos para las tres zonas de recarga.

Apéndice 8: Cuadro resumen de la información hidrogeológica existente (pozos), Análisis de pruebas de bombeo.

Apéndice 9: Resultados de pruebas de laboratorio del muestreo geoquímico, Cuadro Estadístico del muestreo geoquímico.

APENDICE 1

1. Fotografías aéreas utilizadas en el análisis geomorfológico

L-7-H-16



13 L-2-H-16



474

L-7 H-16

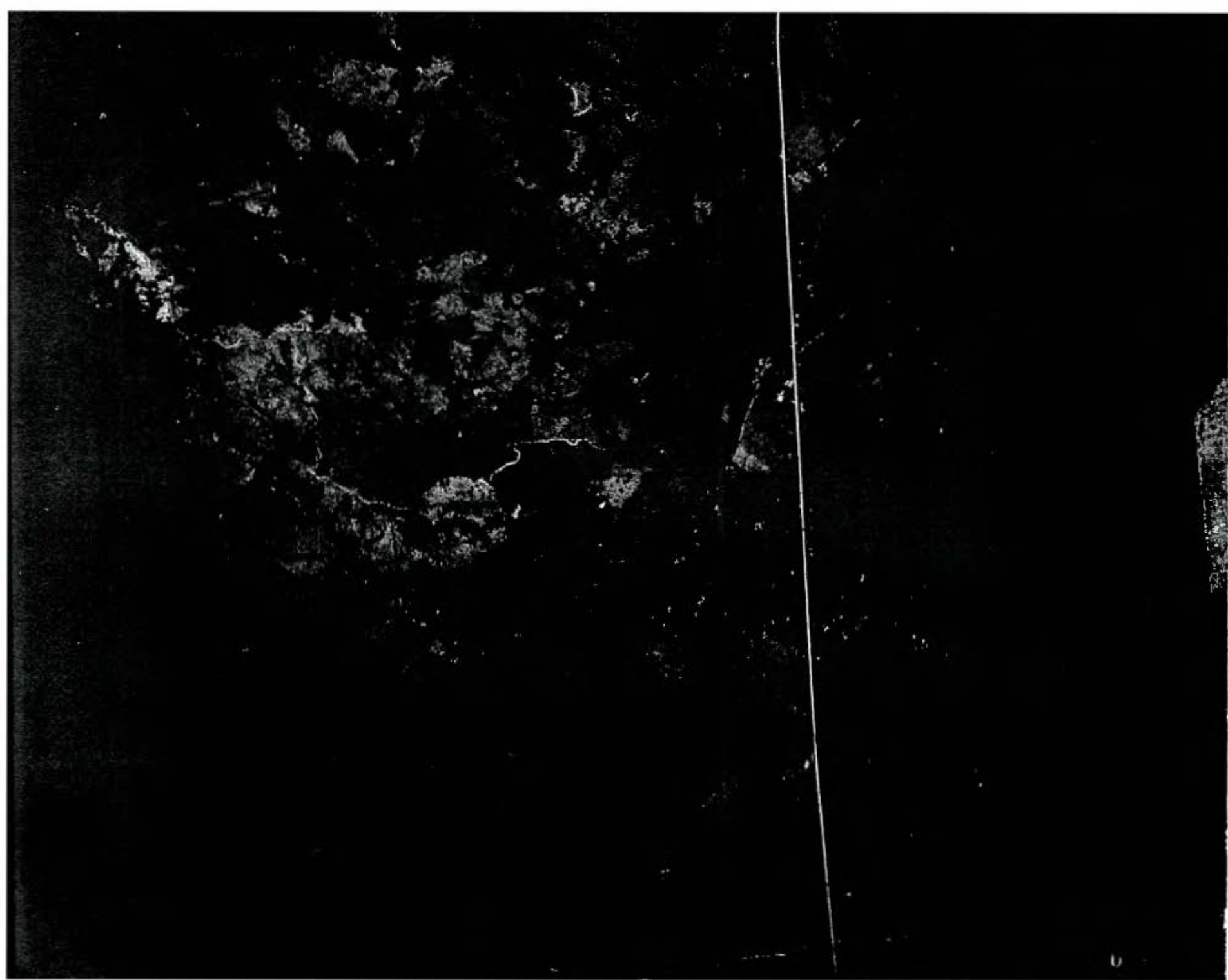
100
100
100

100
100
100

100
100
100

100
100
100







APENDICE 2

1. Plantilla para la clasificación de macizos rocosos aplicada en campo, Clasificación RMR, tomada de (González, 2002).
2. Datos de levantamiento de diaclasas en la zona de estudio, direcciones de buzamiento en planos de fracturas.

Plantilla para la clasificación de macizos rocosos aplicada en campo
 Clasificación RMR. Tomada de (González, 2002)

CUADRO 3.26

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)			
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1	
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%			
	Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min			
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5			
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
		Puntuación		15	10	7	4	0		

Corrección por la orientación de las discontinuidades

Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Datos de levantamiento de diaclasas en la zona de estudio, direcciones de buzamiento de planos de fracturas

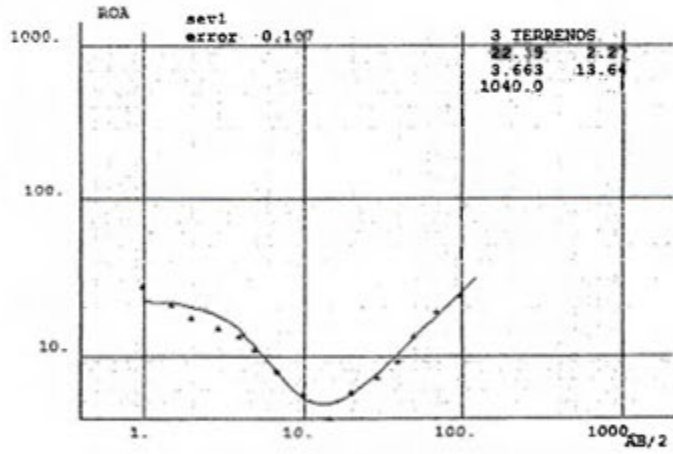
Borehole	Depth	Easting	Northing	Elevation	Direction	Dip-Angle
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	24	52
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	28	50
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	34	64
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	30	76
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	67	74
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	84	70
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	86	72
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	22	62
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	50	60
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	90	60
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	324	88
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	66	74
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	10	42
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	68	84
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	60	74
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	66	84
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	354	84
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	40	80
10-5-12-1	1	369,970	245,050	160	58	64
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	142	48
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	104	82
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	106	78
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	316	63
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	288	78
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	68	80
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	70	84
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	14	86
10-5-12-2	1	372,371	244,806	184	306	75
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	205	84
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	90	80
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	62	86
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	80	72
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	234	40
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	70	88
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	90	84
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	314	78
10-5-12-3	1	371,593	242,546	208	260	76
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	54	90
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	120	80
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	110	90
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	112	80
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	222	70
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	138	52
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	208	90
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	112	60
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	148	70
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	155	32
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	104	86
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	222	76
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	214	70

10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	238	86
10-5-12-4	1	370,194	241,719	419	238	84
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	332	90
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	80	90
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	60	90
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	60	80
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	0	70
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	172	90
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	0	84
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	72	90
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	20	72
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	65	88
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	360	70
19-07-12-2	1	373,204	242,689	182	55	85
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	220	60
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	110	90
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	116	74
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	120	68
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	70	18
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	70	25
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	340	80
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	335	60
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	312	65
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	92	18
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	270	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	320	80
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	100	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	330	80
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	328	84
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	260	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	312	88
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	270	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	320	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	50	20
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	322	70
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	260	65
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	282	88
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	328	80
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	10	20
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	48	40
19-07-12-3	1	375,129	244,253	145	78	25

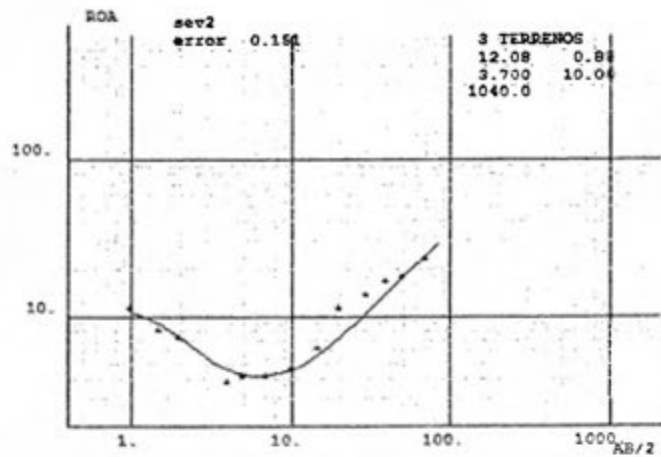
APENDICE 3

1. Sondeos Eléctricos Verticales
2. Cuadro de Cálculos de parámetros físicos de la roca a partir de los datos de resistividad obtenidos.

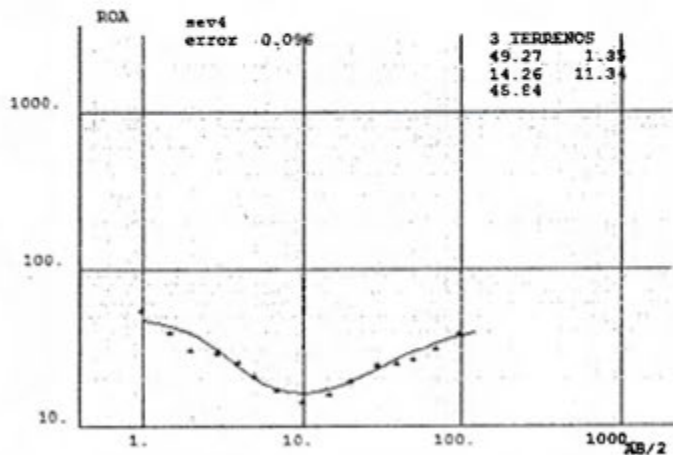
Sondeos eléctricos verticales 1



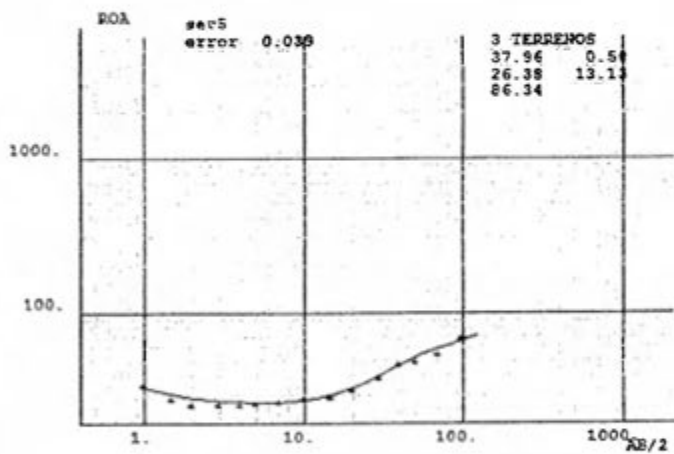
Sondeos eléctricos verticales 2



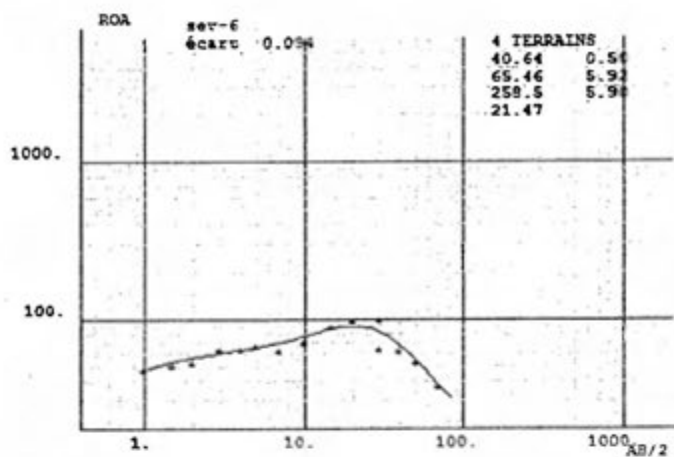
Sondeos eléctricos verticales 4



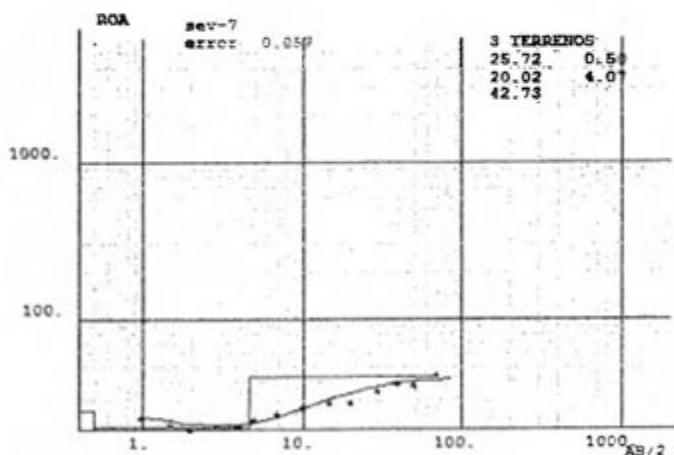
Sondeos eléctricos verticales 5



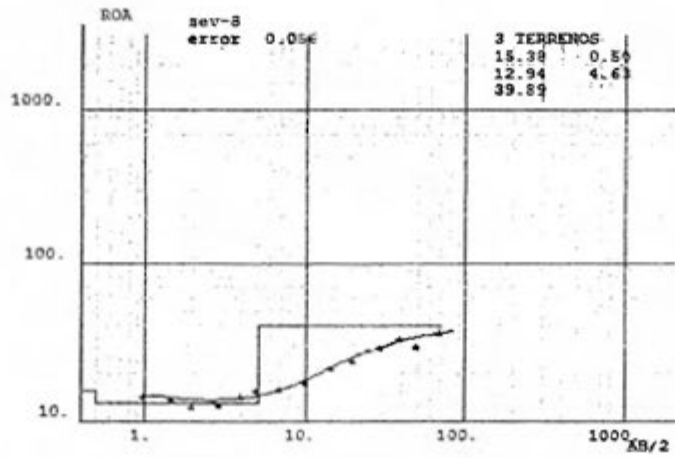
Sondeos eléctricos verticales 6



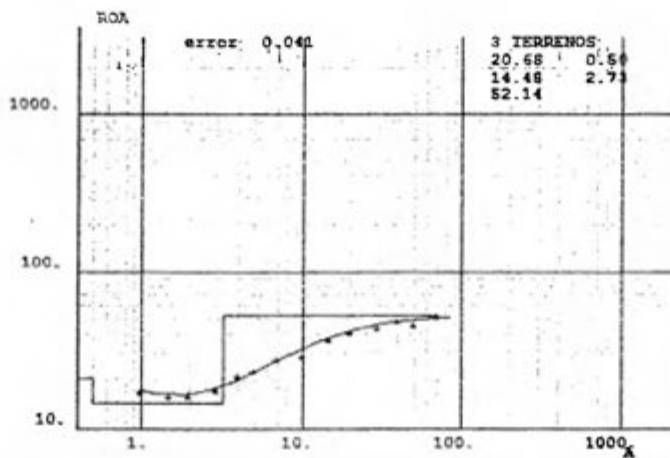
Sondeos eléctricos verticales 7



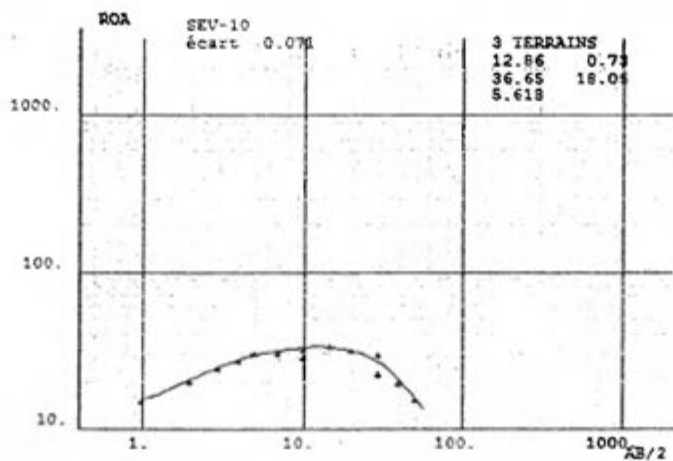
Sondeos eléctricos verticales 8



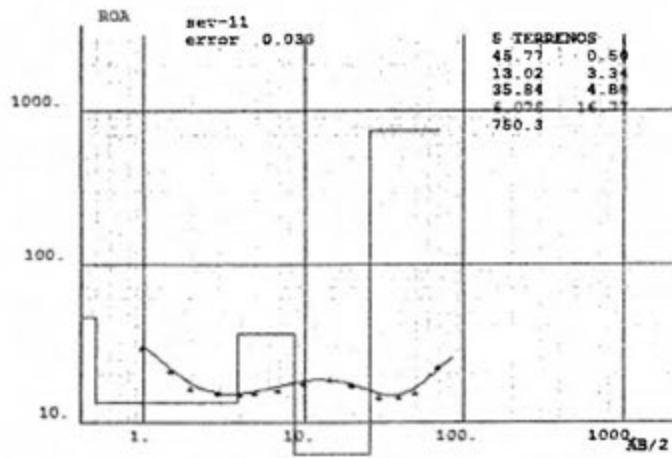
Sondeos eléctricos verticales 9



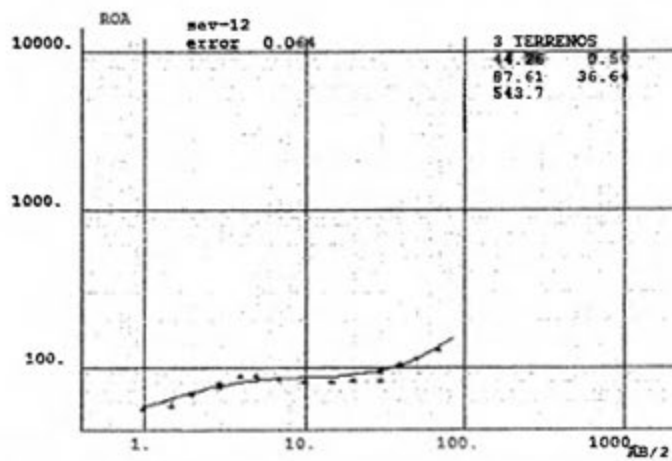
Sondeos eléctricos verticales 10



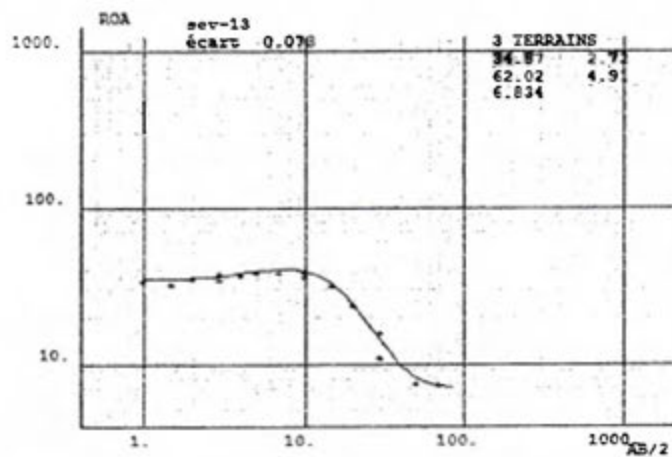
Sondeos eléctricos verticales 11



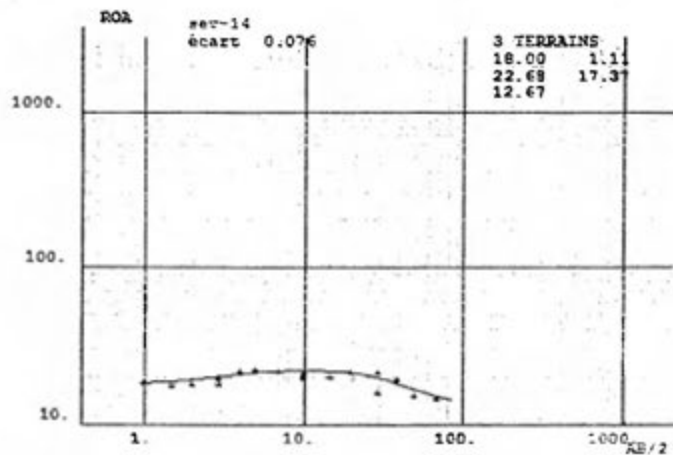
Sondeos eléctricos verticales 12



Sondeos eléctricos verticales 13



Sondeos eléctricos verticales 14



Cuadro de Cálculos de parámetros físicos de la roca a partir de los datos de resistividad obtenidos.

SEV	Espesor ZS (m)	Resistividad de la SZ (omh)	Resistencia Transversal RT (m.omh)	Factor de Formación F	porosidad efec (%)	Nivel Freático (m)	Formacion Geol.
1	13.640	3.663	49.963	0.305	5.706	2.27	Dep.Coluvio_aluv
2	10.000	3.700	37.000	0.308	5.607	0.88	Dep.Coluvio_aluv
4	11.340	14.260	161.708	1.188	0.945	1.35	Dep.Coluvio_aluv
5	13.130	26.380	346.369	2.198	0.483	0.50	FM. Nambí
6						0.50	FM. Nambí
7	4.070	20.020	81.481	1.668	0.650	0.50	FM. Nambí
8	4.630	12.940	59.912	1.078	1.054	0.50	FM. Nambí
9	2.730	14.490	39.558	1.208	0.928	0.50	FM. Nambí
10						0.73	FM. Nambí
11	16.770	6.078	101.928	0.507	2.656	5.72	FM. Nambí
12							Complejo NC
13						7.63	Dep.Coluvio_aluv
14	17.370	22.680	393.952	1.890	0.558	1.11	FM. Nambí
promedios	10.409						

resist agua Rw (omh)	12.000
----------------------	--------

APENDICE 4

1. Resultados de Laboratorio de Geotecnia de la Escuela Centroamericana de Geología.

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Muestra : M-5
 Proyecto Tesis
 Técnico: JAS, & RMCH
 Secado: Aire

Perfor.:
 Sitio: Nicoya, Guanacaste
 Prof.:
 Fecha: :10/11/03

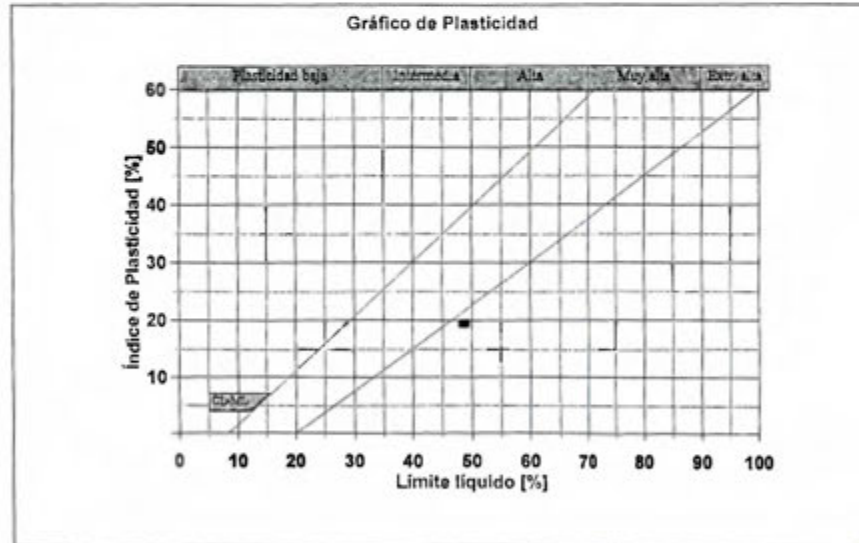
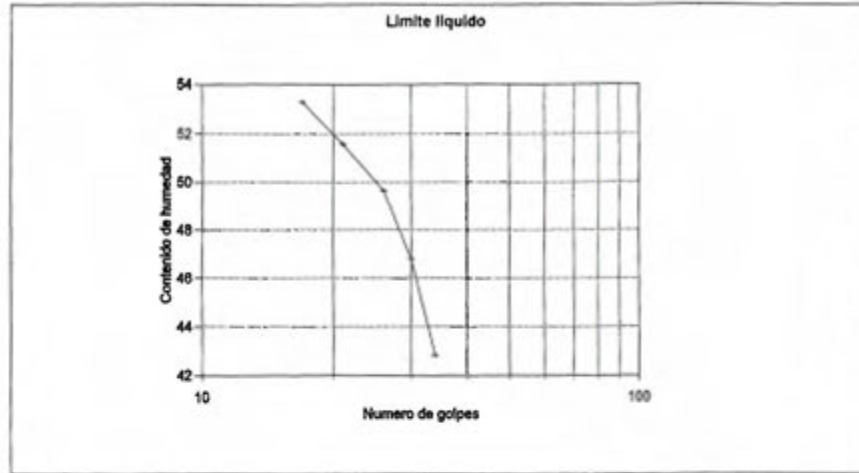
LIMITE LIQUIDO [%]: 48.7

No. de lata	20	21	22	23	24
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	33.25	31.27	36.00	36.55	42.41
Peso del suelo seco + lata [g] :	27.33	25.24	28.49	28.46	32.14
Peso de la lata [g] :	13.51	12.35	13.36	12.78	12.87
Peso del suelo seco [g]:	13.82	12.89	15.13	15.68	19.27
Peso del agua [g] :	5.92	6.03	7.51	8.09	10.27
Contenido de Humedad % :	42.8	46.8	49.6	51.6	53.3
Número de golpes :	34	30	26	21	17

LIMITE PLASTICO [%] : 29.2

No. de lata :	17	18	19
Peso del suelo húmedo + lata [g] :	7.80	7.30	6.81
Peso del suelo seco + lata [g] :	6.97	6.61	6.39
Peso de la lata [g] :	4.11	4.24	4.97
Peso del suelo seco [g]:	2.86	2.37	1.42
Peso del agua [g] :	0.83	0.69	0.42
Contenido de humedad [g]:	29.0	29.1	29.6

INDICE DE PLASTICIDAD [%] : 19.5
 CLASIFICACION (BSI) : Limo de plasticidad Intermedia (MI)



ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis
Localización: Nicoya, Guanacaste
Descripción: Limo de plasticidad Alta (MH)

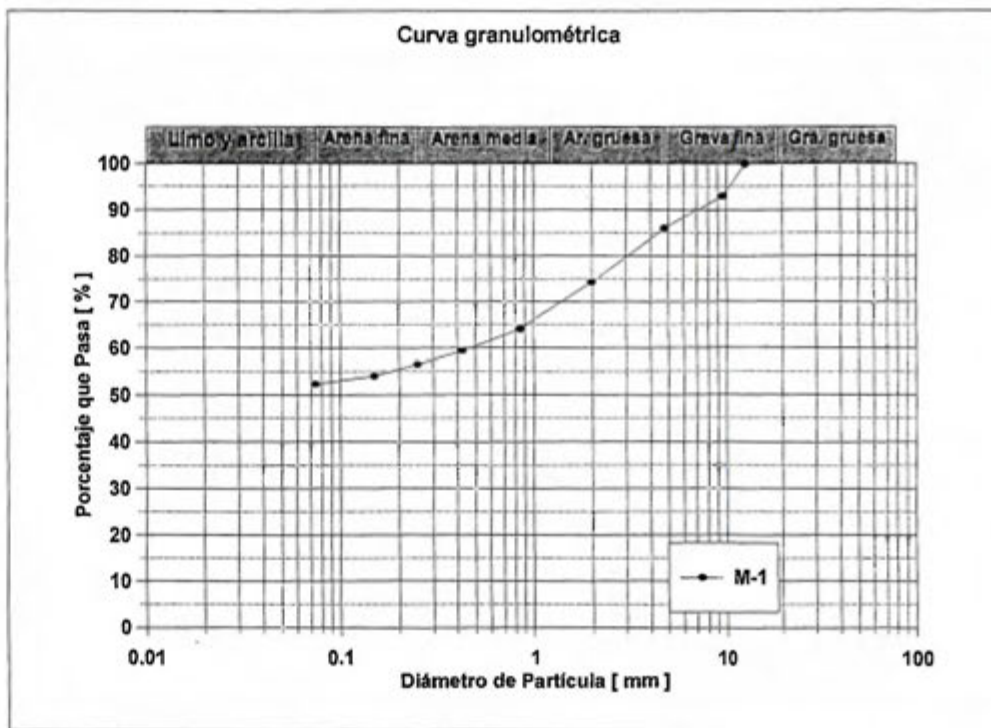
Perforación:
Muestra: M-1
Profundidad:
Fecha : 10/11/03
Peso inic. [g]: 349.54

Realizado por: JAS & RMCH
Observación:

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500	24.37	6.97	93.03
4	4.750	24.40	6.98	86.05
10	2.000	40.82	11.68	74.37
20	0.850	35.48	10.15	64.22
30	0.600		0.00	64.22
40	0.425	16.80	4.81	59.41
50	0.300		0.00	59.41
60	0.250	9.59	2.74	56.67
80	0.180		0.00	56.67
100	0.150	8.88	2.54	54.13
200	0.075	5.59	1.60	52.53
270	0.053		0.00	52.53
325	0.045		0.00	52.53
FONDO		183.61	52.53	
	total:	349.54	100.00	

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
 Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
 D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 13.95 Coef. de uniformidad, Cu : ERR
 Porcentaje de arena gruesa: 11.68 Coef. de concavidad, Cc : ERR
 Porcentaje de arena media: 14.96
 Porcentaje de arena fina: 6.88 Límite líquido (wl%): 56.4
 Porcentaje de finos: 52.53 Límite plástico (wp%): 30.9
 Índice de plasticidad: 25.5



Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico arenoso (MH) de plasticidad Alta

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis
Localización: Nicoya, Guanacaste
Descripción: Limo de plasticidad Alta (MH)

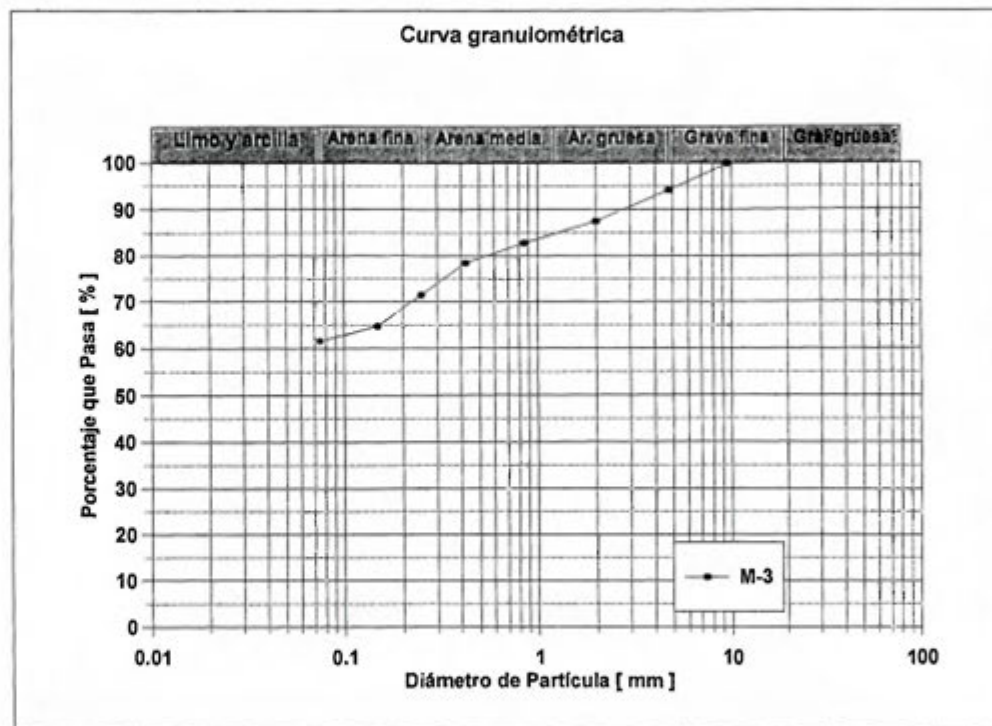
Perforación:
Muestra: M-3
Profundidad:
Fecha : :10/11/03
Peso inic. [g]: 310.79

Realizado por: JAS & RMCH
Observación:

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750	17.93	5.77	94.23
10	2.000	20.93	6.73	87.50
20	0.850	14.18	4.56	82.93
30	0.600		0.00	82.93
40	0.425	13.52	4.35	78.58
50	0.300		0.00	78.58
60	0.250	21.89	7.04	71.54
80	0.180		0.00	71.54
100	0.150	20.68	6.65	64.89
200	0.075	9.96	3.20	61.68
270	0.053		0.00	61.68
325	0.045		0.00	61.68
FONDO		191.70	61.68	
	total:	310.79	100.00	

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
 Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
 D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 5.77 Coef. de uniformidad, Cu : ERR
 Porcentaje de arena gruesa: 6.73 Coef. de concavidad, Cc : ERR
 Porcentaje de arena media: 8.91
 Porcentaje de arena fina: 16.90 Límite líquido (wl%): 57.8
 Porcentaje de finos: 61.68 Límite plástico (wp%): 36.7
 Índice de plasticidad: 21.1



Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo elástico arenoso (MH) de plasticidad Alta

ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis
Localización: Nicoya, Guanacaste
Descripción: Limo de plasticidad Intermedia (MI)

Perforación:
Muestra: M-4
Profundidad:
Fecha: :10/11/03
Peso inic. [g]: 328.93

Realizado por: JAS & RMCH
Observación:

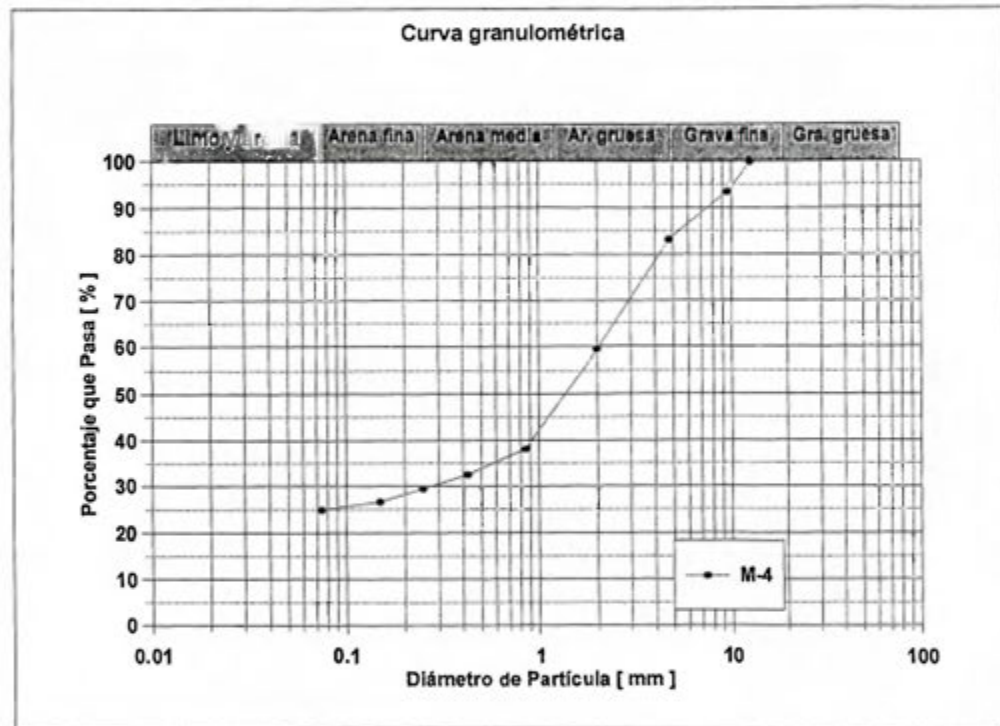
Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500	21.36	6.49	93.51
4	4.750	33.60	10.21	83.29
10	2.000	78.36	23.82	59.47
20	0.850	69.92	21.26	38.21
30	0.600		0.00	38.21
40	0.425	18.55	5.64	32.57
50	0.300		0.00	32.57
60	0.250	10.12	3.08	29.50
80	0.180		0.00	29.50
100	0.150	9.04	2.75	26.75
200	0.075	5.76	1.75	25.00
270	0.053		0.00	25.00
325	0.045		0.00	25.00
FONDO		82.22	25.00	
	total:	328.93	100.00	

Pérdida de material [g]: 0.00 D60 [mm]:
 Pérdida de material [%]: 0.00 D30 [mm]:
 D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 16.71 Coef. de uniformidad, Cu: ERR
 Porcentaje de arena gruesa: 23.82 Coef. de concavidad, Cc: ERR
 Porcentaje de arena media: 26.90
 Porcentaje de arena fina: 7.58 Límite líquido (wl%): 46.3
 Porcentaje de finos: 25.00 Límite plástico (wp%): 28.4
 Índice de plasticidad: 17.9

Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos:

Limo elastico arenoso con grava (MI) de plasticidad Intermedia



ANALISIS GRANULOMETRICO-MECANICO (diseño R. Mora)
LABORATORIO DE GEOTECNIA
ESCUELA CENTROAMERICANA DE GEOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Proyecto: Tesis
Localización: Nicoya, Guanacaste
Descripción: Limo de plasticidad Intermedia (MI)

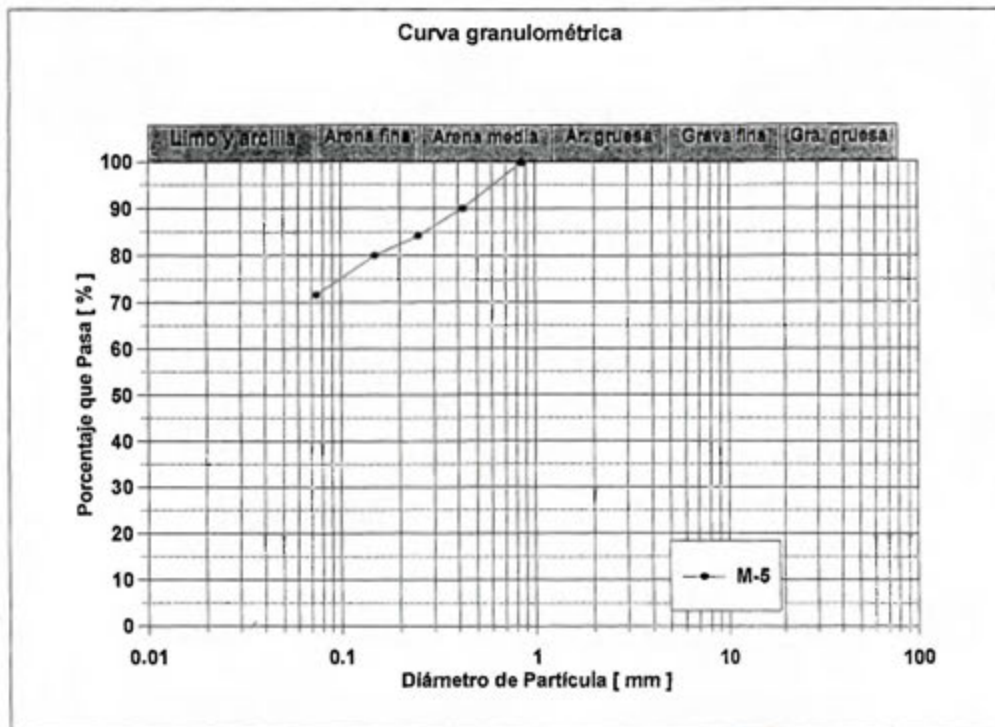
Perforación:
Muestra: M-5
Profundidad:
Fecha: :10/11/03
Peso inic. [g]: 302.47

Realizado por: JAS & RMCH
Observación:

Tamiz No	Diámetro [mm]	Peso retenido [g]	% retenido	% que pasa
2"	50.800		0.00	100.00
1 1/2"	38.100		0.00	100.00
1 1/4"	31.500		0.00	100.00
1"	25.400		0.00	100.00
3/4"	19.000		0.00	100.00
1/2"	12.700		0.00	100.00
3/8"	9.500		0.00	100.00
4	4.750		0.00	100.00
10	2.000		0.00	100.00
20	0.850		0.00	100.00
30	0.600		0.00	100.00
40	0.425	29.90	9.89	90.11
50	0.300		0.00	90.11
60	0.250	17.76	5.87	84.24
80	0.180		0.00	84.24
100	0.150	12.36	4.09	80.16
200	0.075	25.76	8.52	71.64
270	0.053		0.00	71.64
325	0.045		0.00	71.64
FONDO		216.69	71.64	
	total:	302.47	100.00	

Pérdida de material [g] : 0.00 D60 [mm]:
 Pérdida de material [%] : 0.00 D30 [mm]:
 D10 [mm]:

Porcentaje de grava: 0.00 Coef. de uniformidad, Cu : ERR
 Porcentaje de arena gruesa: 0.00 Coef. de concavidad, Cc : ERR
 Porcentaje de arena media: 9.89
 Porcentaje de arena fina: 18.47 Límite líquido (wI%): 48.7
 Porcentaje de finos: 71.64 Límite plástico (wp%): 29.2
 Índice de plasticidad: 19.5



Clasificación según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos :

Limo con arena (MI) de plasticidad intermedia

APENDICE 5

1. Datos meteorológicos, suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional.

24 de abril del 2012
DI1000412

Señora
Ingrid Vargas Azofeifa
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
PRESENTE

Estimada Señora:

Le remito la información que usted solicitara a esta oficina por medio de su contrato con fecha 27 de marzo del 2012.

Las estaciones que le pueden servir de referencia son las solicitadas por usted en su contrato.

Los datos recabados son: valores mensuales de lluvia (mm) un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado, de temperatura (°C), de humedad relativa (%), brillo solar (horas y décimas de hora), radiación (mJ/metro cuadrado), velocidades de viento (km/h)

Es nuestro deseo haber satisfecho su solicitud y a la espera de recibir la respectiva copia de su investigación, según compromiso adquirido por Usted a través de la firma del contrato, así establece el artículo noveno donde indica: **“Que la parte contratante se compromete a suministrar al IMN una copia del trabajo o investigación donde fueron utilizado los datos o la información facilitada.”**

Esperando que la información le sea de gran ayuda y que los resultados en su análisis sean satisfactorios, se suscribe de Usted.

Atentamente,



Alfonso Liao Lee
DEPARTAMENTO DE INFORMACION

/jaml

Instituto Meteorológico Nacional

Resumen Mensual de Precipitación

April 19, 2012 1:16 PM

usuario: JABEL

072 1015 NICOYA EXTENSION AGRICOLA Latitud: 10 ° 08 ' N Longitud: 85 ° 27 ' O Altitud. 120 m.

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total.
1949						414.5	248.5	199	350.6	261.8	99.8	24.8	1599.0
1950	0	0	19.9	10.2	247.1	445.7	185.2	336.1	328.5	491.1	160.8	13.7	2238.3
1951	0	0	6.4	64.6	241.2	212.5	234.2	375.6	463.8	270.9	51.6	1.3	1922.1
1952	0	0	71	38	223.2	367.5	581	237	455	345	175	26	2518.7
1953	0				293.3	254.9	149.8	151	280.6	233.7	66	0	1429.3
1954	0	0	0	161.3	452.9	485.5	306.8	417.6	383.2	595.1	15.7	0	2818.1
1955	0	0	0	48.3	209.7	294.2	475.4	389	408.2	877.3	95.5	124.5	2922.1
1956	19.1	44.4	0	35.5	275.2	362.8	117.5	290	569	522.7	254		2490.2
1957	0	0	18	20	351	152.5	164.5		282	330.5	92	0	1410.5
1958	4	0	50	24	333	470	281.5	288	515.5	275	176		2417.0
1959	10	0	0	8	238		163	395	413.5	463	98		1788.5
1960	10	58.5	92.5	87	207	407	267	518	297	835.5	82.5	0	2862.0
1961	0	0	30	54.5	163	283.5	478	182	338	495	192	82	2298.0
1962	0	0	11	199.2	354	288	154.5	299.5	201.5	376	34	25	1942.7
1963	0	51.5	3.5	91.3	177.5	322.5	342	294.5	462	284.5	131	0	2160.3
1964	0	7	33	104	74	543.5	451	577	292	453.5	66.5	9	2610.5
1965	0	0	0	0	268	270.5	160	287.5	390.5	198	79	0	1653.5
1966	0	3	33.5	110.5	609	384	434.5	237.5	302.5	436	36	51	2637.5
1967	0	31	2.5	93.5	118.4	288.4	168	329.5	569.1	261.3	112.7	97.5	2071.9
1968	0	51.3	0	17	497.4	410.4	296.5	188.8	280.7	379	242.1	75	2438.2
1969	4	0	118	99	237.9	289.4	135	450.4	497.6	1013.9	92	75	3012.2
1970	27.5	0	140.5	46.6	55	119	483	296.1		250.4	144	8.3	1570.4
1971	26.4	4.9	2	82	229.9	255.4	125.3	351.4	598.3	585.9	75.1	.2	2336.8
1972	34.1	0	.4	55.5	280.5	175.3	109.1	248.8	313.8	265.1	165.4	18.2	1666.2
1973	0	7.4	9.5	40.8	273.4	490.3	320.2	565.9	549.1	457.2	213.2	2.8	2929.8
1974	10	0	14.3	60.3	375	328.6	168.8	329.5	583	239.9	3.2	1	2113.6
1975	0	0	12.6	1.3	348.7	277	251.4	222.8	539.1	422.8	362.6	2.9	2441.2
1976	0	0	0	70.3	203.5	400.3	64.4	191.2	134.4	243.4	78.8	0	1386.3
1977	0	0	0	48	66.3	185.6	65.3	251.1	370	316.8	74.7	31.5	1409.3
1978	0	3.5	62.2	67.2	340.5	120.7	235	191.6	547.3	204.7	71.8	78.5	1923.0
1979	10.5	3.5	0	312.6	135	409.4	253.2	334.4	477.7	285.5	60.3	26.9	2309.0
1980	2.5	25.6	0	17.4	261	221.9	247.2	160.9	339.5	508.1	247.1	8.3	2039.5
1981	0	0	19.1	81.6	540.4	450.5	178.3	416	343.6	562.1	49.7	37.6	2678.9
1982	6.9	.6	26.7	79.4	698.8	211.9	102.4	51.8	324.7	184.4	15.3	4.1	1707.0
1983	0	54.4	17.2	5.5	115.2	310.1	274.6	329	356.2	428.9	193.3	33.2	2117.6
1984	0	31.4	53.5	32	113.9	277.7		256.2	392.6	352.1	103.8	0	1613.2
1985	.5	0	0	112.9	174.3	323.1	203.9	267.8	399.5	363	78.9	5.2	1929.1
1986	0	0	27.4	23.6	304.8	337.9	70.9	194.6	227.2	406.6	98.4	12.9	1704.3
1987	0	0	35.5	0	254.9	279.8	422.3	309	461.2	135.5	8.5	0	1906.7
1988	0	0	0	2.1	319.1	563.1	279.6	798.3	687.3	430.3	68.4	0	3148.2
1989	0	0	0	0	117.1	617.2	336.5	386.1	428.1	267	198.5	20	2370.5
1990	0	0		79.9	194.1	117.6	180.8	274.2	324.2	401.1	209	0	1780.9
1991	0	0	0		466.6	167.1	230.6	118.3	256.3	403	42.5	0	1684.4
1992	0	7.4	0	12.7	81.7	236.8	314	168.1	201.2	127.8	165.1	32.1	1346.9
1993	0	0	53.7	76.7	340.4	214.3	131.3	519.4	261.6	302.3		0	1899.7
1994	0	0	0	33.5	194.4	140.5	215.7	282.1	320.3	276.9	180.5		1643.9

Instituto Meteorológico Nacional
Resumen Mensual de Precipitación

April 19, 2012 1:16 PM

usuario: JABEL

072 101	NICOYA EXTENSION AGRICOLA												Latitud: 10 ° 08 ' N	Longitud: 85 ° 27 ' O	Altitud. 120 m.
Año															
1995	0	0	130.9	185.3	179	298.5	407.4	358.1	413.7	599.3	40.2	60.4	2672.8		
1996	1	1.2	0	73.2	486.6	438.5	361.3	361.5	493.9	418.4	225.4	3.6	2864.6		
1997	23.2	2.6	.6	110.9	122.6	310.7	128.9	155.8	216.8	188.8	304.4	15.7	1581.0		
1998	21.7	3.9	10	.4	133.3	310.9	296.2	404.6	496.4	508.2	133.2	50.7	2369.5		
1999	11.6		0	183.3	188.9	230.6	171.7	358.4	536.2	334.7	169.7	9.2	2194.3		
2000										135.1		0	135.1		
2001	0	0	27.4	1	394.8	93.9	128.9	147.3	314.5	774.9	67.7		1950.4		
2002	0	0	0	0	133.4	174.1	287.8	243.2	272.1	211.5	97.3	0	1419.4		
2003	0	0	12	4.5	129.9	415.9	249.5	224.1	368.6	531.1	184.9	0	2120.5		
2004	16.4	0	18.3	33.2	575.6	223.1	231.1	231.5	492.4	166.6	40.7	0	2028.9		
2005	0	0	83.9	0	230	565.9	181.7	260.5	520.2	656.3	52.5	26.5	2577.5		
2006	8.8	0	0	19.1	76.2	202.4	265.5	220.2	198.6	267.4	88.3	37	1383.5		
2007	0	0	35	93.6	376.6	340.4	239	584.5	294.3	800.2	59.8	0	2823.4		
2008	0	15.5	49.4	203.9	294.2	177	187.8	590.8	429	622.7	54.4	0	2624.7		
2009	0	0	0	6.5	165.2	260	136.3	144.9	202.9	279.1	86	28.8	1309.7		
2010	0	7.7	0	286.8	353.4	466.3	420.5	517.2	518.3	166.1	498.2	0	3234.5		
2011	0	23.3	7.7	47.6	286.7	280.2	311.1	274.8	380.8	599.3	47	0	2258.5		
Prom.	4.1	7.5	22.7	65.4	265.3	310.9	246.9	312.0	388.0	398.1	121.5	20.0	2162.3*		
D. S.	8.1	15.6	33.8	68.8	141.2	122.7	116.3	138.0	120.8	193.4	90.8	28.6	1078.0*		
Min.	0	0	0	0	55	93.9	64.4	51.8	134.4	127.8	3.2	0			
Max.	34.1	58.5	140.5	312.6	698.8	617.2	581	798.3	687.3	1013.9	498.2	124.5			

Espacio en blanco = ausencia de dato

* = suma de promedios

Extremas Absolutas Mensual de los Termómetros (°C)

72 101 NICOYA EXTENSION AGRICOLA Lat. 10 ° 8 '44'' N Long. 85 ° 27 '8 '' O Alt. 120

Mes	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SET		OCT		NOV		DIC				
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min			
938																33.0	28.0	32.0	23.0	32.1	22.0	32.1	2				
939	23.0	20.0	24.0	19.0	36.1	33.0			37.0	34.0	36.0	31.0			35.1	32.0								33.0	3		
949											35.0	22.0	38.0	17.0	37.0	20.0	36.5	21.5	33.0	19.0	31.5	20.0	31.0	1			
951	33.0	16.0	33.0	19.0	34.5	20.0	35.0	20.0	35.5	22.0	33.0	21.0	32.5	21.0	34.0	22.0	32.0	22.0	32.0	20.0	31.5	20.0	34.0	1			
952	34.0	18.0	36.5	19.0	38.0	18.0	39.5	18.0	35.0	30.0	34.0	28.0	34.0	29.0	34.0	28.0	35.0	29.0	34.0	28.0				35.0	2		
954	34.0	30.5	36.0	29.5	36.5	33.5	36.1	34.0	36.0	29.0	35.0	29.0	33.0	26.5				31.5	28.0	32.0	29.0						
955	34.1	31.0	36.0	34.0			36.1	34.0			33.1	29.0	33.0	28.0			33.1	30.0	33.1	27.0	32.1	26.0	33.0	2			
956	34.0	20.0	36.1	20.0	36.1	32.0			33.0	20.5	35.5	30.0	32.5	20.0			33.0	25.5	32.5	19.5	31.5	18.0					
957	20.5	16.0							23.6	18.0	35.0	30.5	35.0	21.0			35.5	21.0	35.0	19.0	34.6	19.0	33.0	1			
958	37.0	17.0	36.0	18.0					36.0	22.0			34.1	24.0	35.0	31.0	34.0	34.0	34.1	30.0							
959	35.1	18.0	36.1	30.0	37.0	32.0	37.0	34.0	37.0	34.0							36.0	20.0	34.5	20.0	34.5	31.0	34.0	1			
960	35.5	18.0	36.0	17.5	38.0	18.5	37.6	20.0	36.0	20.0	35.5	20.0	35.0	19.0	34.5	20.0	35.0	18.0	33.5	20.0	34.5	18.0	35.5	1			
961	35.0	18.0	36.1	34.0	38.0	18.0	38.1	35.0	36.1	34.0	35.1	18.0	36.0	19.0			36.0	18.0	36.0	18.0	35.0	18.0	36.0	1			
962	36.0	14.0	23.0	19.0	22.6	18.5	39.0	18.0	36.1	19.0	36.0	19.0	36.0	18.0	20.5	18.0	36.0	18.0	38.0	18.0	35.0	15.5	35.0	1			
963	36.0	15.0	37.1	15.0	39.0	17.0	37.0	17.0	37.0	18.0	36.5	15.5			36.0	17.5	35.0	18.5	35.0	18.0	34.0	16.5	36.5	1			
964	35.5	12.0	39.0	16.0	39.0	15.0	38.0	16.0	37.0	18.0	34.5	17.5	34.0	18.0	35.1	16.5	34.5	18.0	35.5	16.0	35.0	16.0	35.0	1			
965	34.0	14.5	38.0	16.0	38.0	16.0	39.0	15.0	38.0	18.0	38.0	18.5			35.5	18.0	36.0	19.0	35.0	19.0	35.0	19.0	35.0	3			
966	36.0	18.0	37.5	19.0	39.0	17.0	39.0	16.5	38.0	15.0	34.0	17.0	34.5	30.0	35.1	18.0	36.0	19.0	35.0	19.0	34.5	28.0	35.0	1			
967	36.0	15.0	38.5	15.0	39.1	15.0	38.5	17.5	38.0	18.0	36.1	18.0			36.0	17.0	36.0	18.0	35.5	29.0	35.1	20.0	35.1	1			
968	35.0	29.0	38.0	29.0	38.0	17.0	38.5	17.0	38.5	18.0	34.0	17.5	35.1	17.5	35.0	19.0	34.1	30.0	34.0	28.0	34.0	30.0	34.1	1			
1970																								33.5	16.2	34.3	1
1971	35.5	16.0	37.7	15.8	37.7	16.2	38.5	18.8	36.5	18.0	33.6	19.5	39.7	19.5	33.7	19.4	33.5	19.7	33.8	20.0	33.5	18.0	34.5	1			
1972	35.3	16.9	35.5	17.0	38.5	17.0	38.6	20.1	38.2	21.5	34.2	20.5	35.8	20.8	36.7	19.9	34.7	19.9	33.8	17.9	33.9	18.8	34.5	1			
1973	36.5	15.4	37.0	17.2	39.0	19.3	38.4	20.8	38.2	21.2	33.9	20.6	33.6	20.2	33.6	19.4	33.3	19.1	33.6	19.5	34.0	19.2	33.6	1			
1974	35.5	14.4	36.4	16.2	37.9	17.5	37.7	19.7	37.4	20.0	34.0	21.0	34.5	20.0	35.2	19.6	33.0	19.3	33.7	19.3	32.8	17.7	36.0	1			
1975	36.4	14.0	37.5	16.1	38.3	15.8	38.0	20.2	37.5	20.2	34.4	19.9	33.2	19.6	34.0	19.6	32.9	20.4	32.7	19.0	32.0	18.8	33.2	1			
1976	34.5	15.7	35.0	16.8	37.3	18.1	38.4	19.7	37.0	21.0	34.0	20.8	35.0	20.7	35.0	19.5	34.7	20.4	33.7	19.8	33.4	18.8	35.5	1			
1977	36.3	16.2	36.5	19.8	37.8	20.1	38.5	19.1	37.1	19.4	34.0	19.1	35.3	19.9	34.1	20.3	34.7	20.0	34.2	20.2	33.5	19.0	34.4	1			
1978	36.3	15.8	37.5	18.2	37.8	18.4	37.8	20.0	36.3	21.3	34.8	20.9	34.8	20.0	35.5	20.3	33.8	20.4	33.5	20.0	34.2	18.3	34.5	1			
1979	36.0	14.0	36.1	19.9	38.0	16.1	36.7	20.4	35.2	21.1	35.2	19.0	34.5	19.1	34.5	20.4	32.2	21.0	31.8	20.0	31.7	17.2	32.7	1			
1980	34.5	17.7	35.0	18.8	37.0	18.7	37.1	19.3	37.0	20.6	33.9	19.2	33.6	20.5	33.3	21.0	33.5	20.8	32.9	21.0	32.2	19.7	32.9	1			
1981	34.3	17.5	35.4	17.7	36.6	19.0	36.4	21.5	33.5	20.6	32.7	22.0	33.5	21.1	32.8	20.5	34.0	20.7	33.2	21.3	33.5	19.8	33.3	1			
1982	34.7	17.5	36.3	18.2	36.7	19.3	36.8	19.0	34.7	21.4	33.0	21.7	34.2	21.3	35.0	20.7	35.3	20.6	32.4	19.7	33.7	17.6	34.7	1			
1983	36.6	19.3	37.0	19.0	38.1	20.2	38.6	20.4	38.3	21.6	34.2	22.0	33.9	21.8	34.6	21.3	34.1	21.3	32.4	20.2	32.1	18.6	33.0	1			
1984	34.3	16.8	35.2	18.2	35.9	18.0																					
1987	32.0	17.5	32.5	24.0	34.5	28.5	32.6	19.0	33.5	20.5	34.0	21.5	32.0	20.0	32.5	20.0	33.0	21.0	33.0	21.0	32.5	18.5	32.5				
	34.3	17.7	35.5	20.1	37.0	20.1	37.6	21.1	36.1	21.8	34.6	21.6	34.5	21.2	34.2	20.7	34.4	21.6	33.8	21.1	33.4	20.1	34.1				

Máxima del periodo

30-07-71 39.7

Mínima del periodo

24-01-64 12

Espacio en blanco = Ausencia de dato

72	101	NICOYA EXTENSION AGRICOLA						Lat. 10 ° 8 '44'' N			Long. 85 ° 27 '8 '' O			Alt. 1
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pro.	
1970									90	89			89	
1971	74	67	62	67	76	83	79	81	86	87	81	70	76	
1972	68	62	59	65	79	84	76	76	82	85	83	74	74	
1973	66	61	62	66	77	86	85	89	91	89	81	72	77	
1974	69	61	63	59	82	86	81	81	88	85	75	68	75	
1975	62	59	59	57	75	81	83	84	88	88	85	69	74	
1976	62	59	56	61	71	83	76	78	81	83	77	73	72	
1977	66	65	58	60	77	84	73	82	85	84	83	76	74	
1978	66	64	65	67	82	84	84	85	89	89	84	80	78	
1979	70	61	62	73	83	86	85	85	92	91	85	79	79	
1980	78	69	62	68	83	86	85	87	90	90	87	74	80	
1981	70	65	67	64	86	91	86	88	87	89	80	76	79	
1982	71	66	61	70	87	87	80	77	86	84	75	68	76	
1983	63	64	66	62	67	85	82	84	88	89	86	78	76	
1984	67	66	67	69									67	
Pro.	68	63	62	65	79	85	81	83	87	87	82	74		

NOTA: ESPACIO EN BLANCO = NO EXISTEN DAT

Usuario: JABEL

Promedio diario mensual (expresados en Horas y Décimas)

72 101 NICOYA EXTENSION AGRICOLA Latitud: 10 ° 08 ' N Longitud: 85 ° 27 ' O Altitud. 120 m.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pr
1970									4.4	5.4	5.7	6.9	5
1971		9.0	7.6	8.2	7.1	5.1	5.4	5.8	4.2	4.7	5.9	8.2	6
1972	6.7	9.6	8.8	8.9	5.4	5.6	5.8	6.3	5.3	6.3	6.2	7.5	6
1973	9.6	9.2	8.1	7.5	5.3	4.8	5.1	5.6	4.9	3.2	5.9	8.1	6
1974	8.7	9.5	8.2	9.0	5.7	4.5	5.6	6.5	4.3	4.8	7.8	8.1	6
1975	7.9	8.8	9.3	9.2	7.0	6.4	5.7	5.1	4.5	4.8	4.3	7.6	6
1976	8.7	9.7	9.9	7.9	7.6	6.1	7.3	7.3	5.9	6.1	7.0	9.0	7
1977	9.8	9.8	9.3	9.0	6.1	4.2	7.0	6.2	5.5	6.2	6.1	8.6	7
1978	9.4	8.9	8.4		4.6	4.1	5.2	5.0	4.9	5.1	6.9	7.9	6
1979	8.9	9.6	8.9	6.8	6.1	4.7	5.1	5.8	3.5	4.1	5.7	7.5	6
1980	7.5	9.5	9.0	7.9	6.4	4.9	5.7	5.8	4.1	4.3	5.4	7.1	6
1981	9.7	9.7	7.0	7.6	5.3	3.2	5.8	4.3	5.7	5.0	5.0	7.8	6
1982	8.7	8.9	8.1	7.7	4.1	4.3	5.0	6.1	4.1	4.5	7.6	8.6	6
1983	9.0	7.7	7.6	7.5	7.2	5.0	6.5	5.9	5.1	4.3	4.8	7.1	6
1984	8.8	7.4	8.0	5.9									
Prom.	8.7	9.1	8.4	7.9	6.0	4.8	5.8	5.8	4.7	4.9	6.0	7.9	

Espacio en blanco = no existen datos

Promedio Mensual de Radiación (MJ/m2)

72 101 NICOYA EXTENSION AGRICOLA Lat. : 10 ° 08 'N Long. : 85 ° 27 'O Altitud 120 m

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P
1970												16.830	1
1971	18.757	20.857	20.655	20.910	18.903	17.270	16.206	17.745	13.737	14.206	15.080	16.055	1
1972	14.784	19.045	19.587	19.570	16.145	17.260	17.187	18.087	16.940	16.857	15.111	15.474	1
1973	18.365	19.321	18.955	18.557	16.055	15.970	16.135	16.287	15.656	12.381	15.387	16.152	1
1974	17.665	20.121	19.826	21.527	16.816	15.779	17.293	17.914	14.404	15.687	17.467	16.497	1
1975	17.050	17.871	19.352	20.360	18.177	16.924	15.845	15.684	13.253	14.227	11.500	15.848	1
1976	17.774	19.497	21.073	18.557	18.770	15.941	17.961	17.463	16.377	15.245	15.419	16.042	1
1977	17.619	19.457	20.368	19.373	16.148	14.293	17.381	16.548	14.153	15.761	13.930	15.577	1
1978	17.597	19.643	19.874	20.720	16.677	15.072	13.532	13.996	20.493	20.387	20.097	20.803	1
1979	25.290	23.708	25.842	21.687	22.213	18.957	20.603	20.839	15.197	14.761	18.190	16.783	2
1980	20.443	23.703	22.397	23.630	21.477	20.840	19.703	20.633	18.893	17.977	16.780	17.506	2
1981	19.565	19.694	18.563	19.807	14.892	13.222	18.128	16.103	15.858	14.246	14.612	16.010	1
1982	18.050	18.741	21.245	20.674	15.193	17.482	16.949	18.547	14.984	16.567	17.408	17.705	1
1983					24.419	22.796	24.971	24.254	24.599	22.929	22.909	23.574	1
1984	24.156	24.393	24.094	25.823									1
Prom.	19.009	20.466	20.910	20.861	18.145	17.062	17.838	18.008	16.503	16.249	16.453	17.204	
D.S.	2.87	2.10	2.10	2.03	2.94	2.61	2.77	2.66	3.17	2.83	2.89	2.28	
Máximo	25.290	24.393	25.842	25.823	24.419	22.796	24.971	24.254	24.599	22.929	22.909	23.574	
Mínimo	14.784	17.871	18.563	18.557	14.892	13.222	13.532	13.996	13.253	12.381	11.500	15.474	

Espacio en blanco = Ausencia de dato o mes es -9

D.S. = Desviación estándar

Promedio Mensual de Velocidades del Viento, ≥ 0 kmh.

April 19, 2012 1:19 PM

usuario: JABEL

Numero	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
72 101	NICOYA EXTENSION AGRICOLA	10° 8' N.	85° 27' O.	120 mS

Año	Mes	Promedio Mensual	Valor Máximo	Valor Mínimo
1970	11	6.1	19	0
1970	12	8.3	52.2	0
1971	01	8.7	31.5	0
1971	02	9.4	30.2	0
1971	03	10.5	28.5	0
1971	04	8.8	31	0
1971	05	4.6	17	0
1971	06	3.6	15.5	0
1971	07	4.5	23.4	0
1971	08	3.4	15	0
1971	09	3.2	14.5	0
1971	10	3.2	13	0
1971	11	4.1	21	0
1971	12	6.9	22.5	.5
1972	01	8.1	26	.5
1972	02	11.9	38.5	0
1972	03	9.3	30	0
1972	04	8.5	24	.5
1972	05	4.8	18.5	0
1972	06	4.8	21	0
1972	07	6.3	20	.5
1972	08	5.7	19.5	.5
1972	09	4.2	17.5	.5
1972	10	3.9	16	0
1972	11	4.1	22.5	0
1972	12	7.9	28	0
1973	01	12.0	36.5	0
1973	02	13.6	30	.5
1973	03	7.7	22.5	.5
1973	04	7.8	23	.5
1973	05	6.0	24	0
1973	06	3.7	16	0
1973	07	4.0	16	0
1973	08	3.7	13.5	0
1973	09	3.3	14	0
1973	10	2.9	16	0
1973	11	5.5	22.5	.5
1973	12	7.3	26.5	.5
1974	01	8.4	24	.5
1974	02	11.5	30	0
1974	03	7.9	26	0
1974	04	10.7	22.5	.5
1974	05	4.0	15.5	0
1974	06	3.2	12	0
1974	07	4.4	18	0
1974	08	4.3	18	0
1974	09	3.2	14.4	0

Promedio Mensual de Velocidades del Viento, ≥ 0 kmh.

usuario: JABEL

Numero	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
72 101	NICOYA EXTENSION AGRICOLA	10° 8' N.	85° 27' O.	120 mS

Año	Mes	Promedio Mensual	Valor Máximo	Valor Mínimo
1974	10	3.4	15.3	0
1974	11	6.2	21.8	.1
1974	12	8.3	24	.3
1975	01	10.0	27.6	.2
1975	02	8.6	25.8	.2
1975	03	8.9	22.8	.3
1975	04	10.1	28.3	.4
1975	05	4.5	14.8	0
1975	06	3.7	14.5	0
1975	07	3.5	15.1	0
1975	08	3.0	15.8	0
1975	09	2.6	12	0
1975	10	2.5	12.1	0
1975	11	3.5	19.1	0
1975	12	8.4	23.6	0
1976	01	12.1	28.3	.1
1976	02	13.7	29.1	.3
1976	03	11.2	24.5	.8
1976	04	7.6	21.5	.2
1976	05	6.4	23.5	0
1976	06	3.6	15	.1
1976	07	7.2	21.5	.1
1976	08	5.1	17.5	.3
1976	09	4.2	18.4	0
1976	10	3.7	16.9	.3
1976	11	6.2	24.9	.1
1976	12	7.4	26.5	.4
1977	01	12.3	28	.1
1977	02	12.4	28	.8
1977	03	12.0	31.2	.5
1977	04	9.9	26.8	.8
1977	05	4.6	17.7	.3
1977	06	4.2	20.6	.2
1977	07	7.6	20.1	.3
1977	08	4.1	16.8	.2
1977	09	3.9	16.9	.1
1977	10	4.0	15.7	.2
1977	11	4.2	20	0
1977	12	5.9	24	.3
1978	01	10.2	28	.2
1978	02	10.7	29.5	.2
1978	03	9.2	33.8	0
1978	04	6.9	21.4	.3
1978	05	4.4	22.1	.2
1978	06	3.7	14	.1
1978	07	4.0	16.8	.2
1978	08	3.8	16.2	.3

Promedio Mensual de Velocidades del Viento, >= 0 kmh.

usuario: JABEL

Numero 72 101*	Nombre NICOYA EXTENSION AGRICOLA	Latitud 10° 8' N.	Longitud 85° 27' O.	Altitud 120 ms
--------------------------	--	-----------------------------	-------------------------------	--------------------------

Año	Mes	Promedio Mensual	Valor Máximo	Valor Mínimo
1978	09	3.2	13.3	.1
1978	10	3.3	16	0
1978	11	4.7	23.1	.1
1978	12	6.5	28.2	.2
1979	01	9.1	29	.1
1979	02	12.8	26.5	.6
1979	03	10.9	32	0
1979	04	6.8	29	0
1979	05	3.3	14.3	0
1979	06	3.1	13.7	0
1979	07	3.3	15.1	0
1979	08	4.0	20.8	0
1979	09	2.8	13	0
1979	10	2.7	14.7	0
1979	11	4.0	18.6	0
1979	12	6.6	21.3	0
1980	01	8.3	27.9	0
1980	02	11.4	32.8	0
1980	03	10.5	24	.1
1980	04	8.3	28	0
1980	05	4.2	18.5	0
1980	06	3.8	18.9	0
1980	07	3.9	17.2	0
1980	08	3.4	16.1	0
1980	09	2.8	14.5	0
1980	10	3.2	14.3	0
1980	11	4.0	21.3	0
1980	12	8.6	22.9	.2
1981	01	12.0	32	0
1981	02	12.3	30.7	.3
1981	03	8.0	29.2	0
1981	04	10.3	29.2	0
1981	05	3.7	14.9	0
1981	06	2.7	13.1	0
1981	07	3.6	17.3	0
1981	08	3.3	18	0
1981	09	3.1	13.3	0
1981	10	2.6	17.3	0
1981	11	5.3	20.4	0
1981	12	6.2	24.5	0
1982	01	8.1	26.7	0
1982	02	8.9	23.2	0
1982	03	8.3	25.8	0
1982	04	5.8	21	.1
1982	05	3.3	15	0
1982	06	3.1	15.4	0
1982	07	4.7	18.8	0

Promedio Mensual de Velocidades del Viento, ≥ 0 kmh.

usuario: JABEL

Numero	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
72 10	NICOYA EXTENSION AGRICOLA	10° 8' N.	85° 27' O.	120 ms

Año	Mes	Promedio Mensual	Valor Máximo	Valor Mínimo
1982	08	5.6	20	.2
1982	09	3.1	17	0
1982	10	3.8	17.5	0
1982	11	7.3	21.8	.1
1982	12	9.7	26.8	0
1983	01	11.9	33	0
1983	02	8.1	25.8	0
1983	03	7.1	24.5	0
1983	04	5.9	21.2	0
1983	05	6.9	20.7	0
1983	06	3.2	16.1	0
1983	07	4.7	18.7	0
1983	08	4.0	17.5	0
1983	09	2.8	13	0
1983	10	2.8	15.7	0
1983	11	2.8	13	0
1984	01	8.6	25.2	0
1984	02	8.1	29.3	0
1984	04	5.5	23.2	0
Maximum:		13.7	52.2	

APENDICE 6

1. Aforos diferenciales, tomados en distintos puntos del área de estudio.

Aforos diferenciales efectuados el 21/10/010

Lugar:	<input type="text" value="Q. Ponedero_1-21/10/010"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis de Maestria"/>
Tramo:	<input type="text" value="C.Ponedero_1"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Natural"/>

Datos:

Tranque (y):	<input type="text" value="0.2"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.7"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.083"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="1.0723"/>	m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="2.9786"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.3600"/>	m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.7395"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1314"/>	m	Foco de la parábola (k):	<input type="text" value="4.5563"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="2.6044"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.6522"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

Cuidado velocidad erosiva

Lugar:	<input type="text" value="Q. Ponedero_2-21/10/010"/>	Proyecto:	<input type="text" value="36-93"/>
Tramo:	<input type="text" value="C.Ponedero_2"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="natural"/>

Datos:

Tranque (y):	<input type="text" value="0.3"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="3"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.024"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="1.2494"/>	m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="2.0824"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.6000"/>	m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="3.0800"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.1948"/>	m	Foco de la parábola (k):	<input type="text" value="3.7500"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.4867"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.5210"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>				

Cuidado velocidad erosiva

Lugar:	<input type="text" value="Q. Honda -21/10/010"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis de Maestria"/>
Tramo:	<input type="text" value="C.Q.Honda"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Natural"/>

Datos:

Tirante (y):	<input type="text" value="0.13"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.8"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.033"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.022"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.2128"/>	m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.8769"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.2427"/>	m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="2.8161"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0862"/>	m	Foco de la parábola (k):	<input type="text" value="7.5385"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.9510"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1692"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Lugar:	<input type="text" value="R.Grande_1 -21/10/010"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Tesis de Maestria"/>
Tramo:	<input type="text" value="C.R.Grande_1"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Natural"/>

Datos:

Tirante (y):	<input type="text" value="0.14"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="5.57"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.033"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.010"/>	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.3238"/>	m ³ /s	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.6228"/>	m/s
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.5199"/>	m ²	Perímetro (p):	<input type="text" value="5.5794"/>	m
Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0932"/>	m	Foco de la parábola (k):	<input type="text" value="27.7008"/>	m
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.6509"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1598"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Caudal de seccion transversal Río Grande punto de Aforo 2, Cierre de cuenca,
punto C.Grande_2

Ingreso de datos:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Datos:

Pendiente (S): m/m

Coefficiente de rugosidad (n):

Profundidad en el margen (h0): m

Tramo	L (m)	h (m)
4	1.1	0.23
5	1.5	0.3
6	2.0	0.35
7	2.5	0.27
8	3.0	0.24
9	3.4	0.14
10	3.8	0.17
11	4.2	0.16
12	4.6	0.15
13	5.0	0.13
14	5.5	0.0

Esquema de ingreso de datos:



Resultados:

Caudal total (Q): m³/s Velocidad (v): m/s

Área hidráulica (A): m² Espejo de agua (T): m

Perímetro mojado (p): m Número de Froude (F):

Radio hidráulico (R): Tipo de flujo:

Caudal de seccion transversal Río Grande punto de Aforo 3, Cierre de cuenca,
punto C.Grande_3

Ingreso de datos:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Datos:

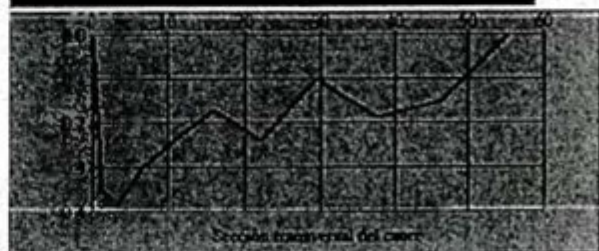
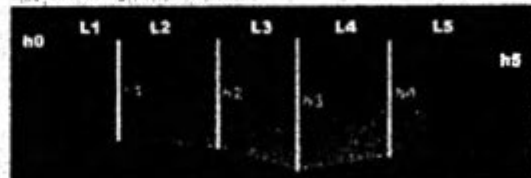
Pendiente (S): m/m

Coefficiente de rugosidad (n):

Profundidad en el margen (h0): m

Tramo	L (m)	h (m)
1	0.0	0.0
2	1.2	0.35
3	2.2	0.38
4	3.2	0.3
5	4.2	0.24
6	5.2	0.17
7	6.2	0.24
8	7.2	0.1
9	8.2	0.19
10	8.6	0.15
11	9.0	0.0

Esquema de ingreso de datos:



Resultados:

Caudal total (Q): m³/s Velocidad (v): m/s

Área hidráulica (A): m² Espejo de agua (T): m

Perímetro mojado (p): m Número de Froude (F):

Radio hidráulico (R): Tipo de flujo:

Caudal de seccion transversal Río Grande punto aguas arriba del manantial 3

Lugar:	Manantial 3 aguas arriba	Proyecto:	Tesis de maestria
Tramo:	10-5-012	Revestimiento:	Natural

Datos:

Tirante (y):	0.02	m
Espejo de agua (T):	0.13	m
Rugosidad (n):	0.033	
Pendiente (S):	0.01	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	0.0003	m ³ /s	Velocidad (v):	0.1636	m/s
Area hidráulica (A):	0.0017	m ²	Perímetro (p):	0.1382	m
Radio hidráulico (R):	0.0125	m	Foco de la parábola (k):	0.1056	m
Número de Froude (F):	0.4523		Energía específica (E):	0.0214	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Caudal de seccion transversal Río Grande punto aguas abajo del manantial 3

Lugar:	Manantial 3 aguas arriba	Proyecto:	Tesis de maestria
Tramo:	10-5-012	Revestimiento:	Natural

Datos:

Tirante (y):	0.056	m
Espejo de agua (T):	0.45	m
Rugosidad (n):	0.033	
Pendiente (S):	0.01	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	0.0055	m ³ /s	Velocidad (v):	0.3295	m/s
Area hidráulica (A):	0.0168	m ²	Perímetro (p):	0.4686	m
Radio hidráulico (R):	0.0359	m	Foco de la parábola (k):	0.4520	m
Número de Froude (F):	0.5444		Energía específica (E):	0.0615	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

APENDICE 7

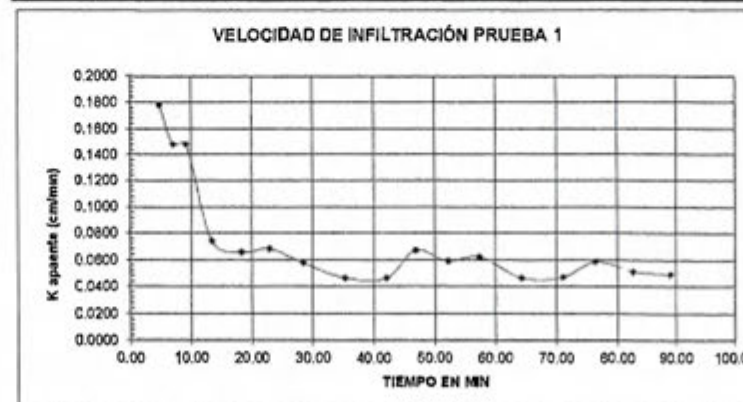
1. Resultados de pruebas de infiltración
2. Resultados de laboratorio de los puntos de marchitez, capacidad de campo y densidad aparente de los suelos encontrados.
3. Hojas electrónicas sobre los resultados de Balance Hídrico de suelos, para el cálculo de la recarga hidrogeológica potencial de la zona estudiada.

PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO,

TIEMPO DE CAMPO MIN. SEG	TIEMPO DECIMAL	AT (T2 - T1)	VOL Int. cm3	RADIO DEL ANILLO (cm2)	ÁREA DE INFIL cm2	ESPESES. DE LÁMIN (cm) e = V/A	INFIL. (cm/min) INFIL = e/AT
0:01:32	1.53	0.000	100	10	314.160	0.3183	0
0:03:00	3.00	1.467	100	10	314.160	0.3183	0.2170
0:04:47	4.78	1.783	100	10	314.160	0.3183	0.1785
0:06:56	6.93	2.150	100	10	314.160	0.3183	0.1481
0:09:05	9.08	2.150	100	10	314.160	0.3183	0.1481
0:13:23	13.38	4.300	100	10	314.160	0.3183	0.0740
0:18:13	18.22	4.833	100	10	314.160	0.3183	0.0659
0:22:53	22.88	4.667	100	10	314.160	0.3183	0.0682
0:28:24	28.40	5.517	100	10	314.160	0.3183	0.0577
0:35:16	35.27	6.867	100	10	314.160	0.3183	0.0464
0:42:08	42.13	6.867	100	10	314.160	0.3183	0.0464
0:46:52	46.87	4.733	100	10	314.160	0.3183	0.0672
0:52:15	52.25	5.383	100	10	314.160	0.3183	0.0591
0:57:21	57.35	5.100	100	10	314.160	0.3183	0.0624
1:04:12	64.20	6.850	100	10	314.160	0.3183	0.0465
1:10:59	70.98	6.783	100	10	314.160	0.3183	0.0469
1:16:24	76.40	5.417	100	10	314.160	0.3183	0.0588
1:22:36	82.60	6.200	100	10	314.160	0.3183	0.0513
1:29:03	89.05	6.450	100	10	314.160	0.3183	0.0494

TIEMPO DECIMAL	INFIL. (cm/min) INFIL = e/AT
3.00	0.2170
4.78	0.1785
6.93	0.1481
9.08	0.1481
13.38	0.0740
18.22	0.0659
22.88	0.0682
28.40	0.0577
35.27	0.0464
42.13	0.0464
46.87	0.0672
52.25	0.0591
57.35	0.0624
64.20	0.0465
70.98	0.0469
76.40	0.0588
82.60	0.0513
89.05	0.0494

Fórmula de Horton			
f ₀ (cm/min)	0.0588	K (cm/min)	0.211
f ₁ (cm/min)	0.0513	C (cm/min ²)	0.05
f ₂ (cm/min)	0.0494	G (cm ²)	6.1506
ΔT (min)	6.5	f ₀ (m ² /cm)	20.51



PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

TIEMPO DE CAMPO	TIEMPO	AT	VOL	RADIO DEL	ÁREA DE INFIL.	ESPESES DE LÁMIN (cm)	INFIL. (cm/min)
MIN. SEG	DECIMAL	(T2 - T1)	Int. cm ³	ANILLO (cm ²)	cm ²	• • VIA	INFIL. • • AT
0:00:54	0.86	0.000	100	10	314.160	0.3183	0
0:02:30	2.50	1.800	100	10	314.160	0.3183	0.1989
0:03:40	3.67	1.167	100	10	314.160	0.3183	0.2728
0:04:30	4.53	0.867	100	10	314.160	0.3183	0.3673
0:05:21	5.35	1.817	100	10	314.160	0.3183	0.1752
0:06:49	6.82	0.467	100	10	314.160	0.3183	0.6821
0:09:24	9.40	2.583	100	10	314.160	0.3183	0.1232
0:09:50	9.83	0.433	100	10	314.160	0.3183	0.7346
0:12:00	12.00	2.167	100	10	314.160	0.3183	0.1499
0:13:36	13.63	1.833	100	10	314.160	0.3183	0.1949
0:15:16	15.27	1.833	100	10	314.160	0.3183	0.1949
0:16:56	16.92	1.850	100	10	314.160	0.3183	0.1929
0:18:11	18.18	1.267	100	10	314.160	0.3183	0.2513
0:21:13	21.22	3.033	100	10	314.160	0.3183	0.1049
0:23:12	23.20	1.983	100	10	314.160	0.3183	0.1606
0:24:46	24.77	1.567	100	10	314.160	0.3183	0.2032
0:26:48	26.80	2.033	100	10	314.160	0.3183	0.1986
0:28:16	28.27	1.467	100	10	314.160	0.3183	0.2170
0:29:45	29.75	1.483	100	10	314.160	0.3183	0.2146
0:31:32	31.85	1.783	100	10	314.160	0.3183	0.1785
0:33:19	33.32	1.783	100	10	314.160	0.3183	0.1785
0:35:02	35.03	1.717	100	10	314.160	0.3183	0.1854
0:36:26	36.43	1.400	100	10	314.160	0.3183	0.2274
0:37:51	37.85	1.417	100	10	314.160	0.3183	0.2247
0:39:26	39.47	1.817	100	10	314.160	0.3183	0.1969
0:41:02	41.03	1.567	100	10	314.160	0.3183	0.2032
0:42:25	42.42	1.383	100	10	314.160	0.3183	0.2301
0:45:54	43.90	1.483	100	10	314.160	0.3183	0.2146

TIEMPO	INFIL. (cm/min)
DECIMAL	INFIL. • • AT
2.50	0.1989
3.67	0.2728
4.53	0.3673
5.35	0.1752
6.82	0.6821
9.40	0.1232
9.83	0.7346
12.00	0.1499
13.63	0.1949
15.27	0.1949
16.92	0.1929
18.18	0.2513
21.22	0.1049
23.20	0.1606
24.77	0.2032
26.80	0.1986
28.27	0.2170
29.75	0.2146
31.85	0.1785
33.32	0.1785
35.03	0.1854
36.43	0.2274
37.85	0.2247
39.47	0.1969
41.03	0.2032
42.42	0.2301
43.90	0.2146

Fórmula de Horton

f_s (cm/min)	0.227
f_s (cm/min)	0.225
ΔT (min)	1.52



PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

TIEMPO DE CAMPO MIN. SEG	TIEMPO DECIMAL	AT (T2 - T1)	VOL Int. cm ³	RADIO DEL ANHILLO (cm ²)	AREA DE INFIL. cm ²	ESPES. DE LAMIN (cm) s = VIA	INFIL. (cm/min) INFIL. = s/AT
0:01.41	1.68	0.500	50	10	314.160	0.1592	0
0:03.34	3.57	1.693	50	10	314.160	0.1592	0.0645
0:05.38	5.63	2.067	50	10	314.160	0.1592	0.0770
0:07.58	6.97	1.333	50	10	314.160	0.1592	0.1194
0:08.47	8.70	1.733	50	10	314.160	0.1592	0.0918
0:10.18	10.30	1.600	50	10	314.160	0.1592	0.0995
0:12.02	12.03	1.733	50	10	314.160	0.1592	0.0918
0:13.18	13.30	1.267	50	10	314.160	0.1592	0.1256
0:15.09	15.15	1.850	50	10	314.160	0.1592	0.0860
0:16.32	16.53	1.383	50	10	314.160	0.1592	0.1151
0:18.14	18.23	1.700	50	10	314.160	0.1592	0.0936
0:19.29	19.48	1.280	50	10	314.160	0.1592	0.1273
0:21.07	21.12	1.633	50	10	314.160	0.1592	0.0974
0:22.44	22.73	1.617	50	10	314.160	0.1592	0.0984
0:23.57	23.85	1.217	50	10	314.160	0.1592	0.1308
0:25.32	25.53	1.583	50	10	314.160	0.1592	0.1005
0:27.12	27.20	1.657	50	10	314.160	0.1592	0.0955
0:28.58	28.87	1.767	50	10	314.160	0.1592	0.0901
0:30.49	30.82	1.850	50	10	314.160	0.1592	0.0860
0:32.33	32.55	1.733	50	10	314.160	0.1592	0.0918
0:34.04	34.07	1.517	50	10	314.160	0.1592	0.1049
0:35.59	35.98	1.917	50	10	314.160	0.1592	0.0830
0:37.38	37.63	1.850	50	10	314.160	0.1592	0.0865
0:39.27	39.45	1.817	50	10	314.160	0.1592	0.0878
0:41.18	41.30	1.850	50	10	314.160	0.1592	0.0860

TIEMPO DECIMAL	INFIL. (cm/min) INFIL. = s/AT
3.57	0.0645
5.63	0.0770
6.97	0.1194
8.70	0.0918
10.30	0.0995
12.03	0.0918
13.30	0.1256
15.15	0.0860
16.53	0.1151
18.23	0.0936
19.48	0.1273
21.12	0.0974
22.73	0.0984
23.85	0.1308
25.53	0.1005
27.20	0.0955
28.87	0.0901
30.82	0.0860
32.55	0.0918
34.07	0.1049
35.98	0.0830
37.63	0.0865
39.45	0.0878
41.30	0.0860

Fórmula de Horton	
f_e (cm/min)	0.097
f_s (cm/min)	0.033
f_z (cm/min)	0.095
ΔT (min)	1.83



PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

TIEMPO DE CAMPO MIN. SGG	TIEMPO DECIMAL	AT (T2 - T1)	VOL int. cm3	RADIO DEL ANILLO (cm2)	ÁREA DE INFIL cm2	ESPEL. DE LÁMIN (cm) e * VIA	INFIL. (cm/min) INFIL * A/AT
0:00:54	0.90	0.000	100	10	314.160	0.3183	0
0:02:40	2.67	1.767	100	10	314.160	0.3183	0.1802
0:03:40	3.67	1.000	100	10	314.160	0.3183	0.3183
0:04:30	4.53	0.867	100	10	314.160	0.3183	0.3673
0:06:21	6.36	1.817	100	10	314.160	0.3183	0.1782
0:06:49	6.82	0.467	100	10	314.160	0.3183	0.8821
0:09:00	9.00	2.183	100	10	314.160	0.3183	0.1458
0:09:50	9.83	0.833	100	10	314.160	0.3183	0.3820
0:12:00	12.00	2.167	100	10	314.160	0.3183	0.1469
0:13:38	13.63	1.633	100	10	314.160	0.3183	0.1949
0:15:16	15.27	1.633	100	10	314.160	0.3183	0.1949
0:16:54	16.97	1.700	100	10	314.160	0.3183	0.1872
0:18:11	18.18	1.217	100	10	314.160	0.3183	0.2616
0:21:13	21.22	3.033	100	10	314.160	0.3183	0.1049
0:23:12	23.20	1.983	100	10	314.160	0.3183	0.1605
0:24:06	24.77	1.567	100	10	314.160	0.3183	0.2032
0:26:50	26.83	2.367	100	10	314.160	0.3183	0.1540
0:28:20	28.33	1.500	100	10	314.160	0.3183	0.2122
0:29:45	29.75	1.417	100	10	314.160	0.3183	0.2247
0:31:52	31.86	1.783	100	10	314.160	0.3183	0.178
0:33:19	33.32	1.783	100	10	314.160	0.3183	0.1786
0:35:02	35.03	1.717	100	10	314.160	0.3183	0.1864
0:36:26	36.43	1.400	100	10	314.160	0.3183	0.2274
0:37:55	37.92	1.483	100	10	314.160	0.3183	0.2148
0:39:30	39.50	1.583	100	10	314.160	0.3183	0.2010
0:41:05	41.08	1.583	100	10	314.160	0.3183	0.2010
0:42:40	42.67	1.583	100	10	314.160	0.3183	0.2010
0:44:15	44.25	1.583	100	10	314.160	0.3183	0.2010

TIEMPO DECIMAL	INFIL. (cm/min) INFIL * e/AT
2.67	0.1802
3.67	0.3183
4.53	0.3673
6.36	0.1782
6.82	0.8821
9.00	0.1458
9.83	0.3820
12.00	0.1469
13.63	0.1949
15.27	0.1949
16.97	0.1872
18.18	0.2616
21.22	0.1049
23.20	0.1605
24.77	0.2032
26.83	0.1540
28.33	0.2122
29.75	0.2247
31.86	0.1786
33.32	0.1786
35.03	0.1864
36.43	0.2274
37.92	0.2148
39.50	0.2010
41.08	0.2010
42.67	0.2010
44.25	0.2010

Fórmula de Horton			
f_0 (cm/min)	0.227	f_1 (cm/min)	0.101
f_2 (cm/min)	0.216	f_3 (cm/min)	0.270
ΔT (min)	1.53	f_4 (cm/min)	3.31



PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

TIEMPO DE CAMPO	TIEMPO	AT	VOL	RADIO DEL	AREA DE INFIL	ESPESES DE LAMINA (cm)	INFIL. (cm/min)
MIN, SGO	DECIMAL	(T2 - T1)	lit, cm3	ANILLO (cm2)	cm2	e * VIA	INFIL. * e/AT
0:00:35	0.58	0.000	50	10	314.160	0.1592	0
0:01:16	1.27	0.683	50	10	314.160	0.1592	0.2329
0:01:55	1.92	0.650	50	10	314.160	0.1592	0.2449
0:02:36	2.60	0.685	50	10	314.160	0.1592	0.2329
0:03:10	3.17	0.597	50	10	314.160	0.1592	0.2809
0:03:47	3.78	0.617	50	10	314.160	0.1592	0.2581
0:04:27	4.45	0.667	50	10	314.160	0.1592	0.2387
0:05:04	5.07	0.617	50	10	314.160	0.1592	0.2581
0:05:46	5.80	0.733	100	10	314.160	0.3183	0.4341
0:07:07	7.12	1.317	100	10	314.160	0.3183	0.2416
0:08:16	8.27	1.150	100	10	314.160	0.3183	0.2768
0:09:28	9.47	1.200	100	10	314.160	0.3183	0.2660
0:10:44	10.73	1.267	100	10	314.160	0.3183	0.2513
0:11:56	11.83	1.200	100	10	314.160	0.3183	0.2653
0:13:12	13.20	1.267	100	10	314.160	0.3183	0.2513
0:14:17	14.28	1.083	100	10	314.160	0.3183	0.2838
0:15:34	15.67	1.263	100	10	314.160	0.3183	0.2480
0:16:43	16.72	1.150	100	10	314.160	0.3183	0.2768
0:18:00	18.00	1.263	100	10	314.160	0.3183	0.2480
0:19:10	19.17	1.167	100	10	314.160	0.3183	0.273
0:20:19	20.32	1.150	100	10	314.160	0.3183	0.2768
0:21:30	21.55	1.233	100	10	314.160	0.3183	0.2581
0:22:53	22.86	1.333	100	10	314.160	0.3183	0.2387
0:24:04	24.07	1.183	100	10	314.160	0.3183	0.2660
0:25:25	25.42	1.350	100	10	314.160	0.3183	0.2358
0:26:24	26.40	0.983	100	10	314.160	0.3183	0.3207
0:27:41	27.68	1.263	100	10	314.160	0.3183	0.2480
0:29:00	29.00	1.317	100	10	314.160	0.3183	0.2416

TIEMPO	INFIL. (cm/min)
DECIMAL	INFIL. * e/AT
1.27	0.2329
1.92	0.2449
2.60	0.2329
3.17	0.2809
3.78	0.2581
4.45	0.2387
5.07	0.2581
5.80	0.4341
7.12	0.2416
8.27	0.2768
9.47	0.2660
10.73	0.2513
11.83	0.2653
13.20	0.2513
14.28	0.2838
15.67	0.2480
16.72	0.2768
18.00	0.2480
19.17	0.273
20.32	0.2768
21.55	0.2581
22.86	0.2387
24.07	0.2660
25.42	0.2358
26.40	0.3207
27.68	0.2480
29.00	0.2416

Fórmula de Horton	
f ₀ (cm/min)	0.324
f ₁ (cm/min)	0.248
f ₂ (cm/min)	0.242
ΔT (min)	1.3

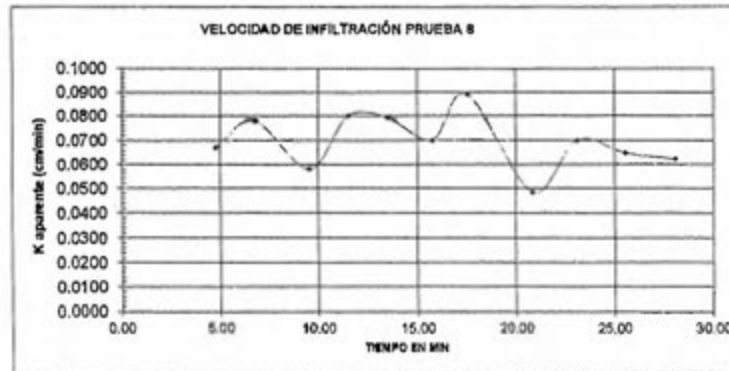


PRUEBA 1. SUELOS SUPERFICIAL ARCILLO LIMOSO DE COLOR CAFÉ OSCURO.

TIEMPO DE CAMPO MIN, SEG	TIEMPO DECIMAL	ΔT (T2 - T1)	VOL Int. cm3	RADIO DEL ANILLO (cm2)	ÁREA DE INFIL cm2	ESPE. DE LÁMIN (cm) e • VIA	INFIL (cm/min) INFIL • e/ΔT
0:02:22	2.37	0.000	50	10	314.160	0.1592	0
0:04:44	4.73	2.367	50	10	314.160	0.1592	0.0672
0:06:46	6.77	2.033	50	10	314.160	0.1592	0.0783
0:09:30	9.50	2.733	50	10	314.160	0.1592	0.0582
0:11:29	11.46	1.963	50	10	314.160	0.1592	0.0702
0:13:26	13.43	2.000	50	10	314.160	0.1592	0.0796
0:15:45	15.75	2.267	50	10	314.160	0.1592	0.0702
0:17:32	17.53	1.783	50	10	314.160	0.1592	0.0692
0:20:49	20.82	3.283	50	10	314.160	0.1592	0.0485
0:23:06	23.06	2.267	50	10	314.160	0.1592	0.0702
0:25:32	25.53	2.450	50	10	314.160	0.1592	0.0686
0:28:05	28.06	2.550	50	10	314.160	0.1592	0.0624

TIEMPO DECIMAL	INFIL (cm/min) INFIL = e/ΔT
4.73	0.0672
6.77	0.0783
9.50	0.0582
11.46	0.0602
13.46	0.0796
15.75	0.0702
17.53	0.0692
20.82	0.0485
23.06	0.0702
25.53	0.0686
28.06	0.0624

Fórmula de Horton	
f ₁ (cm/min)	0.07
f ₂ (cm/min)	0.055
f ₃ (cm/min)	0.0624
ΔT (min)	2.5



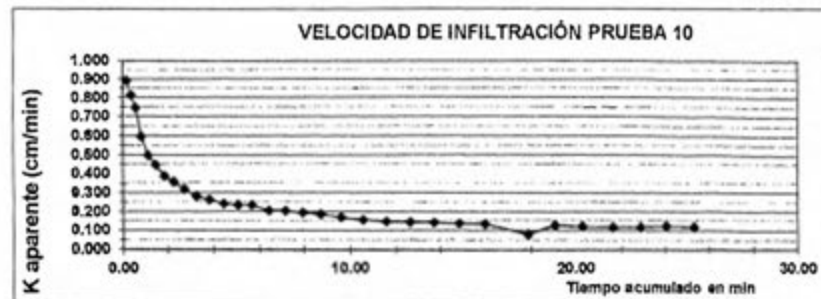
PRUEBA 10	tiempo (min,seg)	tiempo(min,frac)	K (cm/min)
Determinación 1	0:00:10	0,17	0,891
Determinación 2	0:00:11	0,18	0,810
Determinación 3	0:00:12	0,20	0,743
Determinación 4	0:00:15	0,25	0,594
Determinación 5	0:00:18	0,30	0,495
Determinación 6	0:00:20	0,33	0,446
Determinación 7	0:00:23	0,38	0,388
Determinación 8	0:00:25	0,42	0,357
Determinación 9	0:00:28	0,47	0,318
Determinación 10	0:00:32	0,53	0,279
Determinación 11	0:00:34	0,57	0,262
Determinación 12	0:00:37	0,62	0,241
Determinación 13	0:00:38	0,63	0,235
Determinación 14	0:00:38	0,63	0,235
Determinación 15	0:00:44	0,73	0,203
Determinación 16	0:00:44	0,73	0,203
Determinación 17	0:00:46	0,77	0,194
Determinación 18	1:00:48	0,80	0,188
Determinación 19	0:00:53	0,88	0,168
Determinación 20	0:00:58	0,97	0,154
Determinación 21	0:01:01	1,02	0,146
Determinación 22	0:01:03	1,05	0,141
Determinación 23	0:01:04	1,07	0,139
Determinación 24	0:01:07	1,12	0,133
Determinación 25	0:01:08	1,13	0,131
Determinación 26	0:01:54	1,90	0,078
Determinación 27	0:01:11	1,18	0,128
Determinación 28	0:01:15	1,25	0,119
Determinación 29	0:01:17	1,28	0,116
Determinación 30	0:01:16	1,27	0,117
Determinación 31	0:01:13	1,22	0,122
Determinación 32	0:01:16	1,27	0,117

Fórmula de Horton			
f_0 (cm/min)	0,126	k (cm/min)	-0,657
f_1 (cm/min)	0,119	f_2 (cm/min)	0,116
f_2 (cm/min)	0,116	f_0 (cm/min)	0,126
ΔT (min)	1,27	f_0 (min/cm)	8,79

m/día 1,64

Radio (cm)	1,60
Altura inicial (cm)	11,00
Altura final (cm)	9,00

Gráfico	
Tiempo acumulado (min)	K (cm/min)
0,17	0,891
0,35	0,810
0,55	0,743
0,80	0,594
1,10	0,495
1,43	0,446
1,82	0,388
2,23	0,357
2,70	0,318
3,23	0,279
3,80	0,262
4,42	0,241
5,05	0,235
5,68	0,235
6,42	0,203
7,15	0,203
7,92	0,194
8,72	0,188
9,60	0,168
10,57	0,154
11,58	0,146
12,63	0,141
13,70	0,139
14,82	0,133
15,95	0,131
17,95	0,078
19,03	0,126
20,28	0,119
21,57	0,116
22,83	0,117
24,05	0,122
25,32	0,117



PRUEBA 11	tiempo (min,seg)	tiempo(min,frac)	K (cm/min)
Determinación 1	0:00:37	0.62	0.241
Determinación 2	0:00:42	0.70	0.212
Determinación 3	0:01:01	1.02	0.146
Determinación 4	0:01:06	1.10	0.135
Determinación 5	0:01:23	1.38	0.107
Determinación 6	0:01:38	1.63	0.091
Determinación 7	0:01:27	1.45	0.102
Determinación 8	0:01:43	1.72	0.087
Determinación 9	0:01:45	1.75	0.085
Determinación 10	0:02:00	2.00	0.074
Determinación 11	0:02:02	2.03	0.073
Determinación 12	0:02:01	2.02	0.074
Determinación 13	0:02:14	2.23	0.067
Determinación 14	0:02:18	2.30	0.065
Determinación 15	0:02:23	2.38	0.062
Determinación 16	0:02:24	2.40	0.062
Determinación 17	0:02:25	2.42	0.061
Determinación 18	4:02:26	2.43	0.061

Radio (cm)	1.60
Altura inicial (cm)	11.00
Altura final (cm)	9.00

Gráfico	
Tiempo acumulado (min)	K (cm/min)
0.62	0.241
1.32	0.212
2.33	0.146
3.43	0.135
4.82	0.107
6.45	0.091
7.90	0.102
9.62	0.087
11.37	0.085
13.37	0.074
15.40	0.073
17.42	0.074
19.65	0.067
21.95	0.065
24.33	0.062
26.73	0.062
29.15	0.061
31.58	0.061

Fórmula de Horton			
f ₀ (cm/min)	0.067	k (cm/min)	0.173
f ₁ (cm/min)	0.065	f ₀ (cm/min)	0.071
f ₂ (cm/min)	0.062	f ₀ (cm/min)	0.065
ΔT (min)	2.34	f ₀ (m/h/cm)	14.08

m/día

1.02





Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

Laboratorio de Suelos
Tel-Fax: 291-5236

Laboratorio de Suelos Inta

RESULTADOS DE RETENCION DE HUMEDAD

ayarokaroja@gmail.com

Nombre: ALLAN ALAN MORA
GTE-NICOYA-NAMBI

Fecha: 12/02/2012

RESULTADOS DE RETENCION DE HUMEDAD(Atmósferas)

# LAB.	Atmósferas		% A.utli	D. aparen		
	0.33	15.0				
AFL-12	37.15	21.39	15.46	1.18		
AFL-15	36.21	22.33	13.88	1.17		
AFL-18	34.97	21.48	13.48	1.22		
AFL-20	41.74	22.63	19.21	1.22		
AFL-21	16.24	9.92	6.32	1.5		
AFL-22	40.39	22.04	18.35	1.27		
AFL-23	43.19	22.84	20.35	1.26		
AFL-24	37.61	22.34	15.27	1.25		
AFL-25	36.04	21.93	14.11	1.27		
AFL-26	17.01	10.32	6.69	1.5		

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Cuenca alta del río Grande-Nambí de Nicoya - Guanacaste, Zona 1
Fecha: Diciembre del 2016

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

PI: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%] =

DS (g/cm³):

PR (mm)

HSi (mm)

N° de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

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

1115.28
0.06
0.20
0.9787
1
1.23
3000.00
1430.61
11
0.20

por peso

	(%)	(mm)
CC	38.77	1430.61
PM	21.72	801.47
(CC-PM)	17.05	629.15

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.10	7.50	22.70	65.40	263.30	310.90	246.90	312.00	386.00	398.10	121.50	20.00	2160.40
Ret (mm)	4.10	5.00	5.00	13.00	52.66	62.18	49.38	62.40	77.60	79.62	24.30	5.00	440.32
PI (mm)	0.00	2.50	17.70	52.32	210.64	248.72	197.52	249.60	310.40	318.48	97.20	15.00	1720.08
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	174.52	190.09	178.36	170.65	128.50	100.92	121.28	120.22	98.61	101.56	122.43	159.59	1666.69
HSi (mm)	1285.23	1169.65	1077.08	1023.41	1011.43	1144.94	1306.28	1387.18	1430.61	1430.61	1430.61	1407.84	
C1	0.77	0.59	0.47	0.44	0.67	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	
C2	0.56	0.41	0.33	0.32	0.53	0.79	0.92	1.00	1.00	1.00	0.99	0.74	
HD (mm)	483.76	370.68	293.31	274.26	420.60	592.19	702.33	835.29	939.55	947.63	726.34	621.37	
ETR (mm)	115.58	95.07	71.37	64.30	77.13	87.37	116.64	120.22	98.61	101.56	119.97	137.60	1205.44
HSf (mm)	1169.65	1077.08	1023.41	1011.43	1144.94	1306.28	1387.18	1430.61	1430.61	1430.61	1407.84	1285.23	
DCC (mm)	260.96	353.54	407.20	419.18	285.68	124.33	43.48	0.00	0.00	0.00	22.78	145.38	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.92	211.79	216.92	0.00	0.00	514.63
NR (mm)	319.90	448.54	514.20	525.53	337.04	137.88	48.09	0.00	0.00	0.00	25.23	167.34	2523.76

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Cuenca alta del río Grande-Nambi de Nicoya - Guanacaste, Zona 2
Fecha: Diciembre del 2016

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
 I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

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

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

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escomentia Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]

Kp [0.01%]

Kv [0.01%]

Kfc [0.01%]

I [0.01%] =

DS (g/cm³):

PR (mm)

HSi (mm)

N* de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

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

1184.30
0.20
0.18
0.9842
1
1.20
2000.00
922.08
11
0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	38.42	922.08
PM	21.97	527.28
(CC-PM)	16.45	394.80

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.10	7.50	22.70	65.40	263.30	310.90	246.90	312.00	388.00	398.10	121.50	20.00	2160.40
Ret (mm)	4.10	5.00	5.00	7.85	31.60	37.31	29.63	37.44	46.56	47.77	14.58	5.00	271.83
Pi (mm)	0.00	2.50	17.70	57.55	231.70	273.59	217.27	274.56	341.44	350.33	106.92	15.00	1888.57
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	174.52	190.08	178.36	170.65	128.50	100.92	121.28	120.22	98.61	101.55	122.43	159.56	1666.69
HSi (mm)	796.28	703.65	640.76	612.58	621.73	764.56	922.08	922.08	922.08	922.08	922.08	906.97	
C1	0.68	0.45	0.33	0.36	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.38	0.23	0.18	0.21	0.56	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.60	
HD (mm)	269.00	178.87	131.18	142.86	326.16	510.87	612.07	669.36	736.24	745.13	501.72	396.69	
ETR (mm)	92.63	65.39	45.88	48.40	88.88	100.92	121.28	120.22	98.61	101.56	120.03	127.70	1131.49
HSf (mm)	703.65	640.76	612.58	621.73	764.56	922.08	922.08	922.08	922.08	922.08	906.97	796.28	
DCC (mm)	218.43	281.32	309.50	300.35	157.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.11	125.80	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.15	95.99	154.34	242.83	248.77	0.00	0.00	757.08
NR (mm)	300.32	406.01	441.98	422.59	197.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.51	157.67	1941.23

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Cuenca alta del río Grande-Nambí de Nicoya - Guanacaste, Zona 3
Fecha: Diciembre del 2016

Textura de Suelo:

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escorrentía Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSi: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR	HSf: Humedad de Suelo Final.
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
Kp: Factor por pendiente (ver lámina)	Rp: Recarga Potencial
Kv: Factor por vegetación (ver lámina)	NR: Necesidad de Riego.
Kf: Factor estimado con base a la prueba de infiltración	Ret: Retención de lluvia

fc [mm/d]	1996.31
Kp [0.01%]	0.30
Kv [0.01%]	0.09
Kf [0.01%]	1
I [0.01%] =	1
DS (g/cm ³):	1.31
PR (mm)	1000.00
HSi (mm)	433.74
N° de mes con que inicia HSi; 1,2,3...12?	11
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12	0.12

	por peso (%)	(mm)
CC	33.11	433.74
PM	19.33	253.22
(CC-PM)	13.78	180.52

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	4.10	7.50	22.70	65.40	283.30	310.90	246.90	312.00	368.00	395.10	121.50	20.00	2160.40
Ret [mm]	4.10	5.00	5.00	7.85	31.60	37.31	29.63	37.44	48.56	47.77	14.58	5.00	271.83
Pi (mm)	0.00	2.50	17.70	57.55	231.70	273.59	217.27	274.56	341.44	350.33	106.92	15.00	1888.57
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	174.52	180.08	178.36	170.65	126.50	100.92	121.28	120.22	98.61	101.56	122.43	159.56	1666.69
HSi (mm)	347.35	300.34	276.72	273.82	292.42	409.19	433.74	433.74	433.74	433.74	433.74	423.49	
C1	0.52	0.27	0.23	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.02	0.00	0.00	0.02	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.14
HD (mm)	94.13	49.81	41.19	78.15	270.90	429.56	397.79	455.08	521.99	530.85	287.44	185.27	
ETR (mm)	47.01	26.12	20.59	38.96	114.93	100.92	121.28	120.22	98.61	101.56	117.17	91.14	998.52
HSf (mm)	300.34	276.72	273.82	292.42	409.19	433.74	433.74	433.74	433.74	433.74	423.49	347.35	
DCC (mm)	133.40	157.02	159.92	141.33	24.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.25	86.39	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	148.12	95.99	154.34	242.83	248.77	0.00	0.00	890.09
NR (mm)	260.91	320.98	317.68	273.02	38.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.51	154.81	1381.04

APENDICE 8

1. Cuadro resumen de la información hidrogeológica pre-existente en la zona de estudio.
2. Resultados de los análisis de pruebas de bombeo realizadas en campo.

POZO	PROPIETARIO	Coord_N	Coord_E	Altura (m.s.n.m)	NE (m)	ISOFREAT (m)	PROFUND (m)	Caudal (litros/seg)	FM. Geológica	Observaciones
pozo1		241742	373410	175.22	3.97	171.25			FM.Nambi	
pozo2		242030	373085	178.36	5.32	173.04			FM.Sabana Grande	
pozo3		242746	372185	157.30	10.30	147.00			FM.Nambi	
pozo4		242616	372258	156.51	8.76	147.75			FM.Nambi	
pozo5		242532	372150	160.00	7.23	152.77			Coluvios Aluviales	
pozo6*	José Grijalba Baltodano	241500	372500	279.00			13.00		Basaltos (CN)	
pozo7		242822	372699	140.00	8.00	132.00			FM.Nambi	
pozo8		243446	374358	158.71	7.30	151.41			Coluvios Aluviales	
pozo9		249994	371342	146.94	2.88	144.06	8.00		Coluvios Aluviales	
pozo10		243051	371052	158.78	8.77	150.01	15.00		Coluvios Aluviales	
pozo11		243469	371746	140.00	9.89	130.11	15.00		FM.Nambi	
pozo12		243386	371824	140.00	11.66	128.34	15.00		FM.Nambi	
pozo13	Jose M Alan Mora	243294	372416	140.00	11.39	128.61	14.00	1.07	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
pozo14	Alan Alan Mora	243151	372360	140.00	11.68	128.32	14.26	1.16	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
pozo15	Alan Alan Mora	243163	372437	130.00	1.22	128.78	10.00		FM.Nambi	
pozo16		243092	372876	140.00	9.15	130.85			FM.Nambi	
pozo17		243227	372727	140.00	4.26	135.74	6.10		FM.Nambi	
pozo18		243396	373057	140.00	7.00	133.00			FM.Nambi	
pozo19		243413	372919	140.00	6.62	133.38			FM.Nambi	
pozo20		244070	371368	128.00	3.60	124.40	9.00		FM.Nambi	
pozo21		243967	372418	140.00	5.80	134.20	8.60		FM.Nambi	
pozo22		242263	374942	165.00	2.50	162.50	16.00		Coluvios Aluviales	
pozo23	Cecilia Torres Zuñiga	243324	372740	140.00	1.80	138.20	6.00	1.20	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
pozo24	Paula zuñiga	243579	372541	140.00	9.83	130.17	11.40	0.86	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
pozo25	Ivan Goldember	242021	374454	160.00	2.80	157.20	8.12	1.70	Coluvios Aluviales	Con prueba de bombeo
pozo26	José D Baltodano Esp	242638	372490	146.77	6.77	140.00	8.80	1.20	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
pozo27	Ily Alan Mora	243214	372333	140.00	11.39	128.61	14.00	1.00	FM.Nambi	Con prueba de bombeo
TAL-207	Wilberth&Alberto R	241450	375185	158.00	10.00	148.00	30.00	1.00	FM.Nambi	
TAL-342	Rodrigo Gutierrez	243238	372630	140.00	7.00	133.00	30.00	1.75	FM.Nambi	
TAL-348	Victor Cordero	242632	373326	160.00	10.30	149.70	35.00	1.00	FM.Curú	
TAL-357	Cooperativa prod_lec	242447	373664	160.00	4.70	155.30	82.00	1.50	FM.Curú	Con prueba de bombeo
naciente1		243756	373518	155.00	155.00	155.00			Coluvios Aluviales	
naciente2		244623	372651	157.00	157.00	157.00		0.16	FM.Sabana Grande Nambi	
naciente3		243890	372224	135.00	135.00	135.00		2.10	FM.Nambi	
naciente4		245195	371410	150.00	150.00	150.00			FM.Nambi	
naciente5		245524	370193	170.00	170.00	170.00			FM.Sabana Grande	
naciente6		244343	372287	138.00	138.00	138.00		0.23	FM.Nambi	
naciente7	Bladimir goldember	242534	334569	160.00	160.00	160.00			Coluvios Aluviales	
naciente8	Rodolfo Mora Garro	243577	372384	140.00	140.00	140.00			FM.Nambi	
naciente9	Ivan Goldember	242438	374852	156.00	156.00	156.00		0.94	Coluvios Aluviales	
naciente10		243558	372868	135.00	135.00	135.00		1.30	FM.Nambi	
naciente11		244261	373595	250.00	250.00	250.00			FM.Sabana Grande	
SEV-1		241775	373558	168.00	2.27	165.73			Coluvios Aluviales	
SEV-2		242109	374015	160.00	0.88	159.12	11.00		Coluvios Aluviales	
SEV-4		243077	374576	158.00	1.35	156.65	13.00		Coluvios Aluviales	
SEV-5		249932	372353	140.00	0.50	139.50	14.00		FM.Nambi	
SEV-6		243422	372431	141.00	0.50	140.50	12.00		FM.Nambi	
SEV-7		244401	372292	139.00	0.50	138.50	5.00		FM.Nambi	
SEV-8		244379	372210	139.00	0.50	138.50	5.00		FM.Nambi	
SEV-9		249235	372188	137.00	0.50	136.50	3.00		FM.Nambi	
SEV-10		244265	372459	139.00	0.73	138.27	19.00		FM.Nambi	
SEV-11		243421	372366	140.00	5.72	134.28	25.00		FM.Nambi	
SEV-12		241321	371224	280.00			37.00		Basaltos (CN)	
SEV-13		243226	371191	142.00	7.63	134.37	8.00		Coluvios Aluviales	
SEV-14		244640	371302	122	18.48	103.52	18.00		FM.Nambi	
Profundidad promedio de prospección							16.34	1.14		
* Pozo seco sin nivel estático										

Cuadro resumen de la información hidrogeológica existente.

RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo 13
POZO N°	: pozo 13
FECHA DE PRUEBA	: 4-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 19-2-013
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 1.1
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 1.1
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 6.53
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 9.50
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 9.50
MATERIAL DE REJILLA	= roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

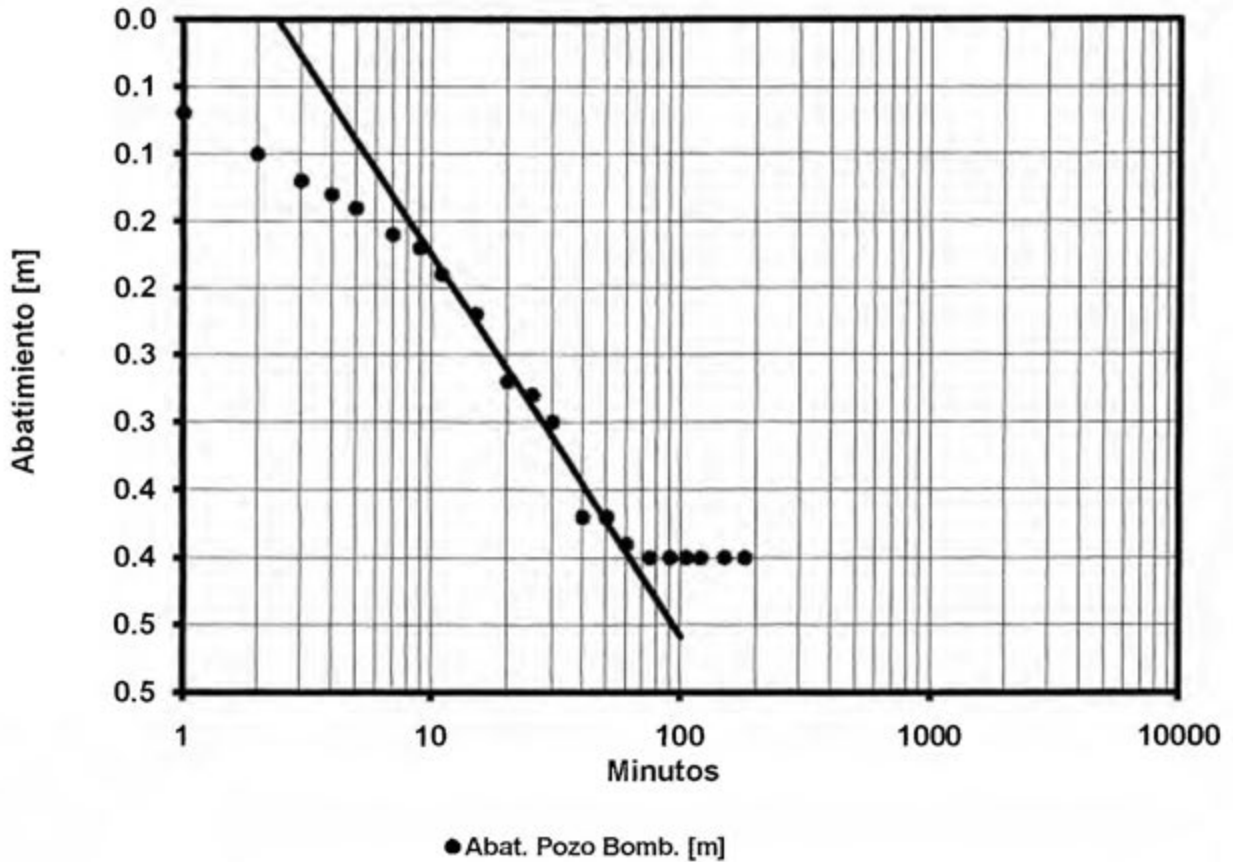
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 6.53
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.07
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 6.93
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 120

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 2.65
ABATIMIENTO [m]	= 2.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambí pozo_13



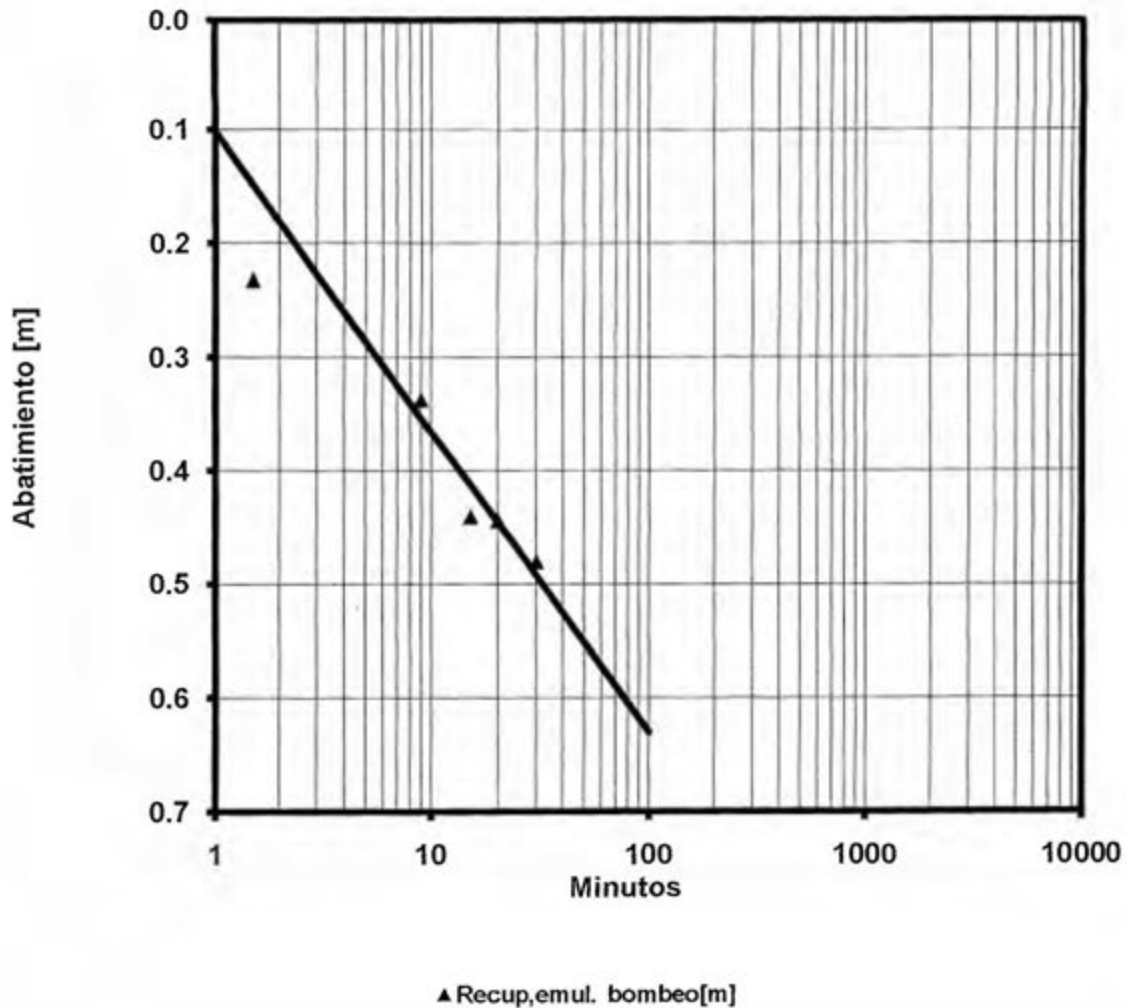
T [m²/día] = 59.78
S =

Nivel Estático [m] = 6.53
Q [lps] = 1.07

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 13



T [m²/día] = 64.03
S =

Recuperación [%]= 120
Q [lps] = 1.07

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambi pozo 13

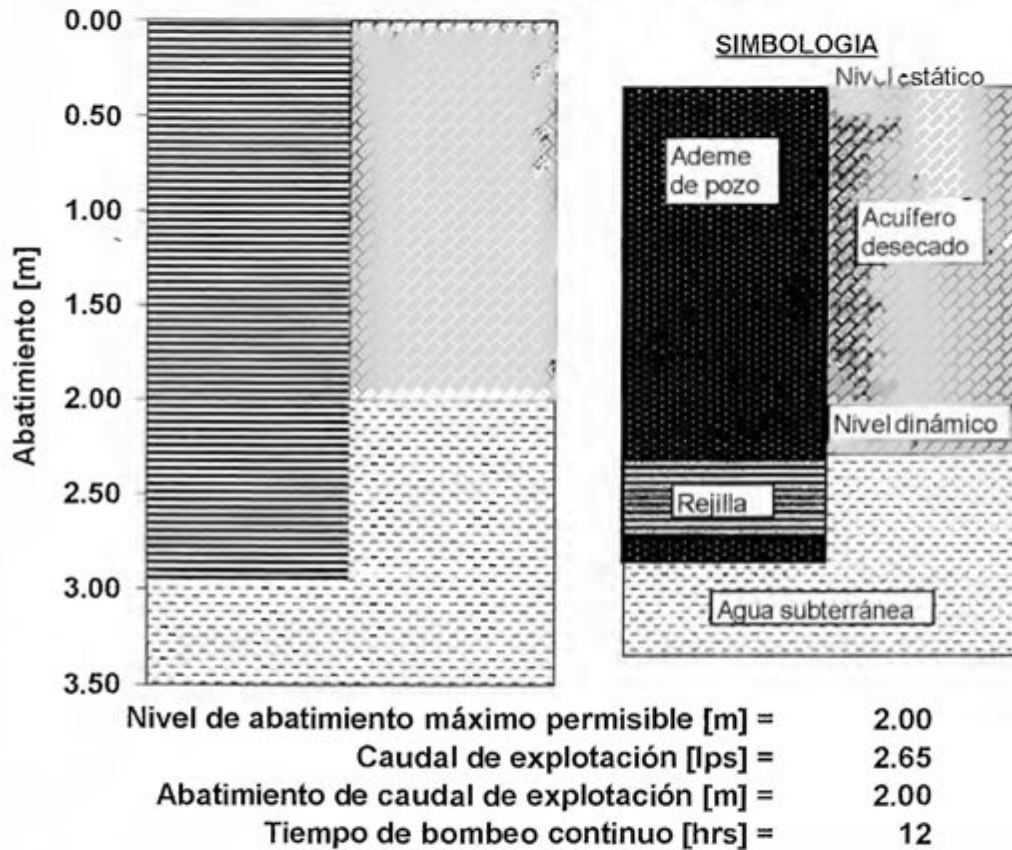
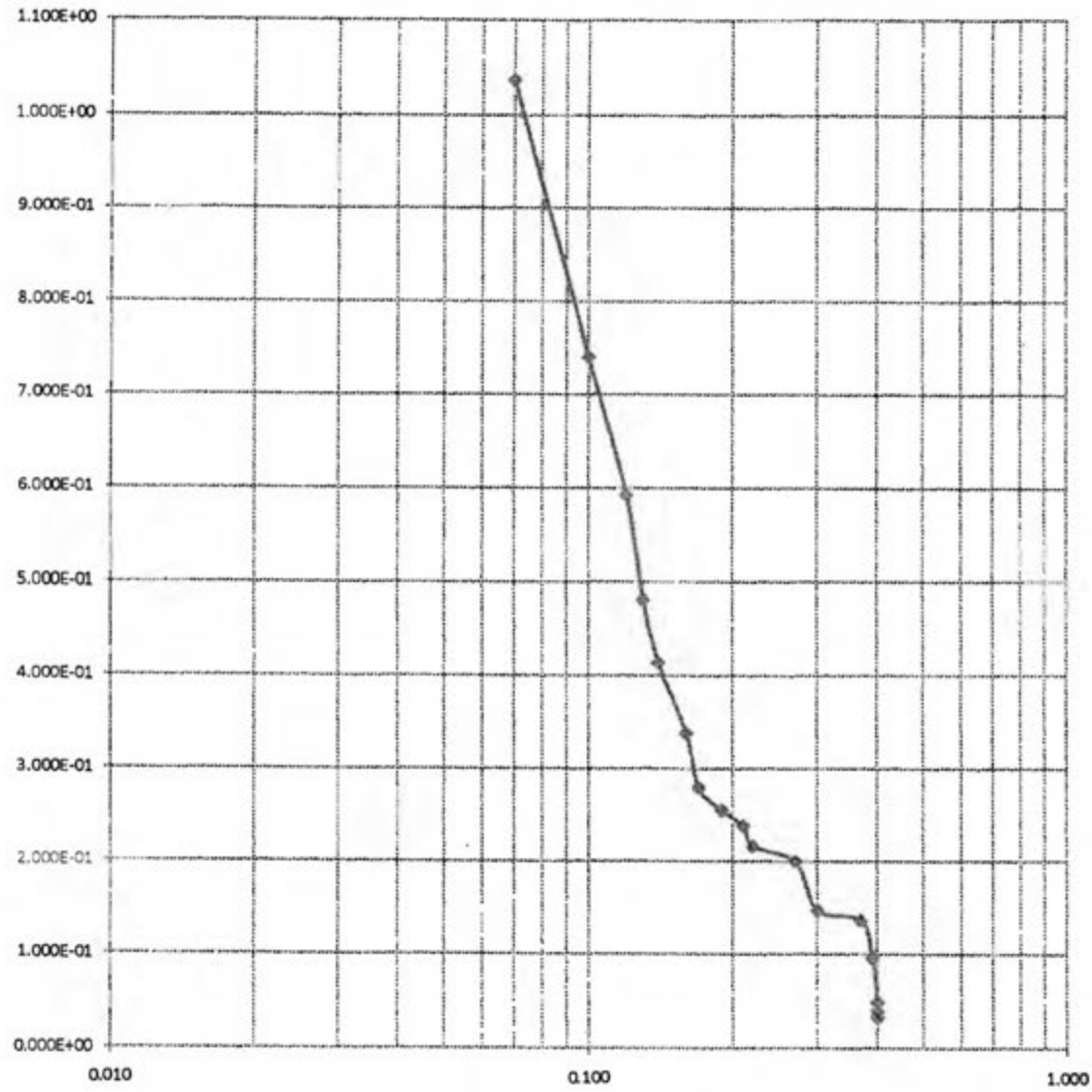


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo # 13



Abatimiento (m)



foli-gram

LOGARITMICO
3 X 5 CICLOS

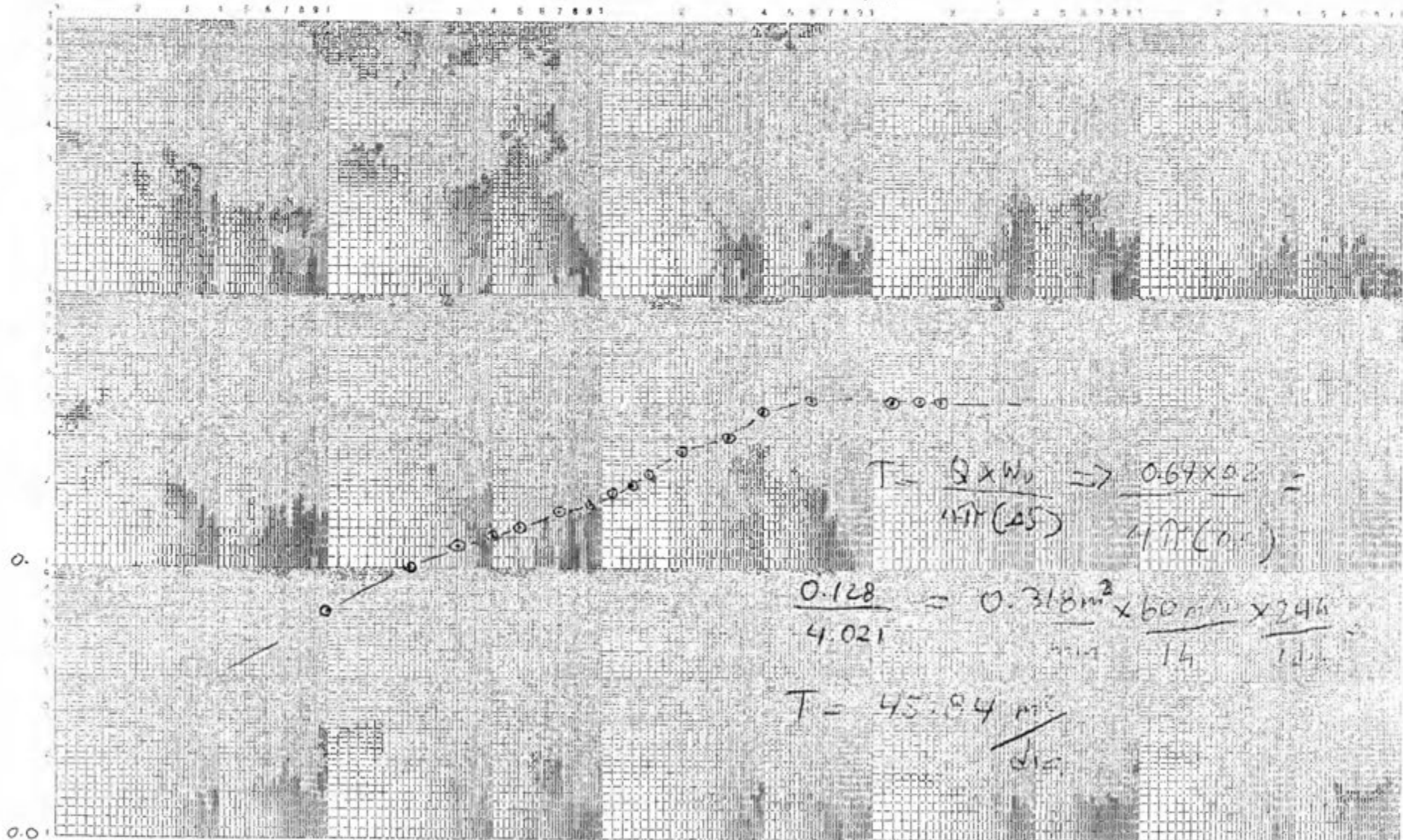
POLICROMIA S.A.
COD. 2375e

tiempo (min) →

1

10

100



$$T = \frac{Q \times W_0}{4\pi r^2 (25)} \Rightarrow \frac{0.67 \times 0.2}{4\pi r^2 (min)}$$

$$\frac{0.128}{4.021} = \frac{0.318 m^2}{min} \times \frac{60 min}{14} \times \frac{246}{100}$$

$$T = \frac{45.84 min}{dia}$$

RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambi pozo 14
POZO N°	: pozo 14
FECHA DE PRUEBA	: 7-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 26-11-013
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 0.85
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 0.85
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 10.8
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 14.20
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 14.20
MATERIAL DE REJILLA	= roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

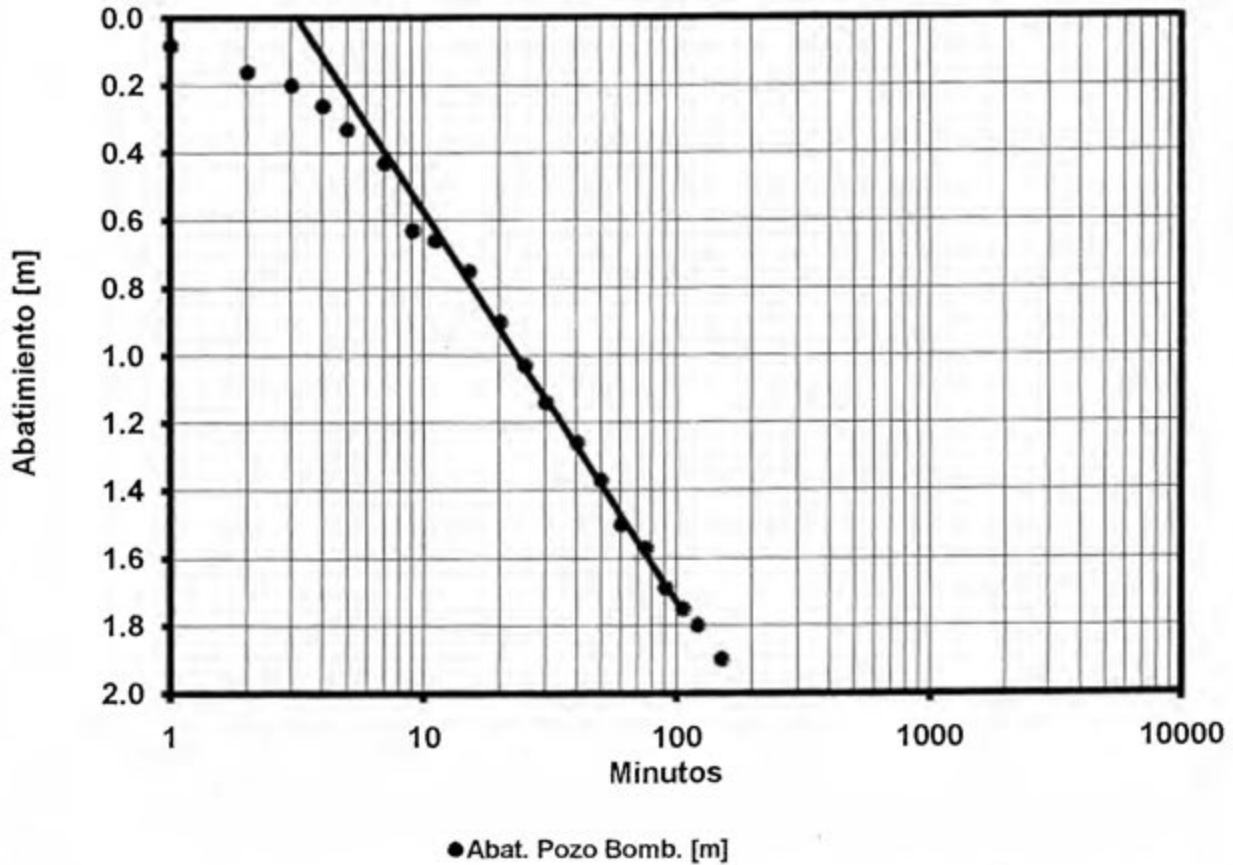
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 10.80
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.16
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 12.70
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 52

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 0.74
ABATIMIENTO [m]	= 2.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambí pozo 14



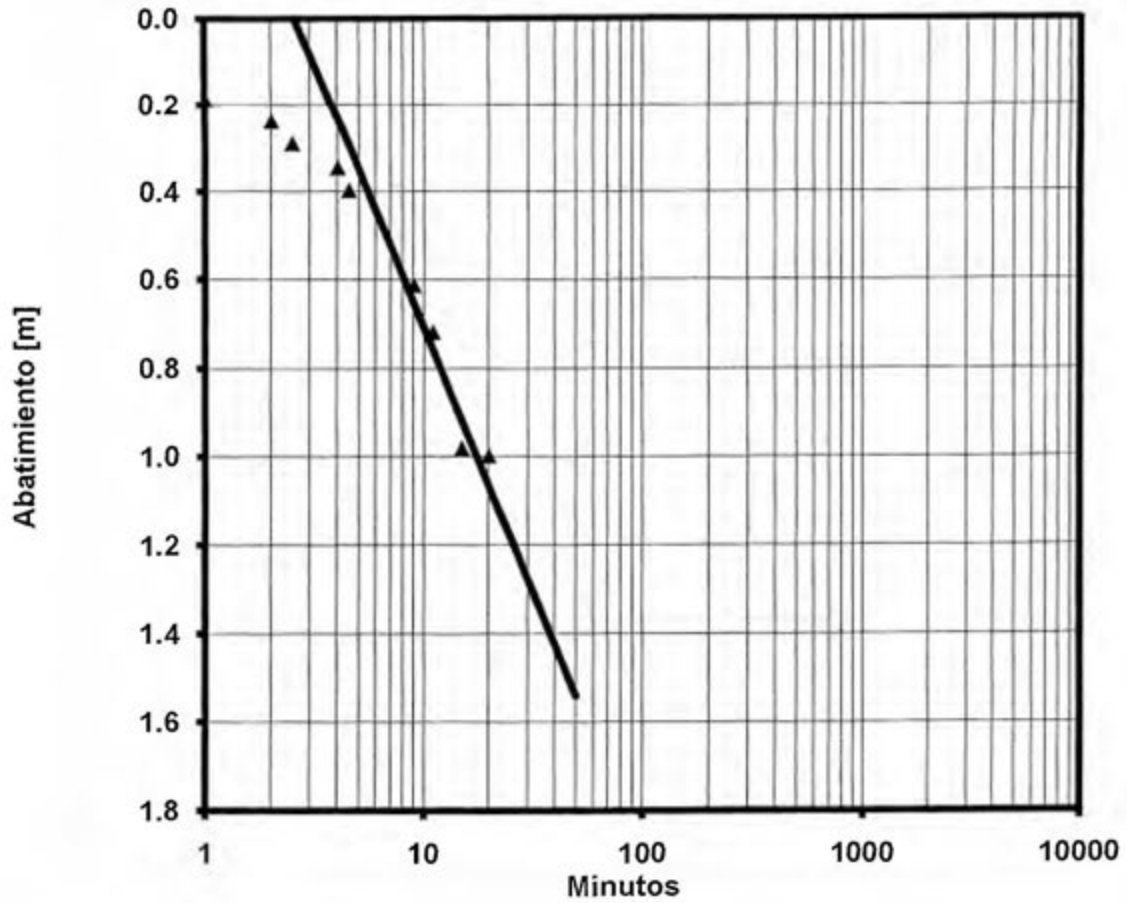
T [m²/día] = 15.88
 S =

Nivel Estático [m] = 10.80
 Q [lps] = 1.16

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambi pozo 14



▲ Recup,emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 15.39
S =

Recuperación [%] = 52
Q [lps] = 1.16

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambí pozo 14

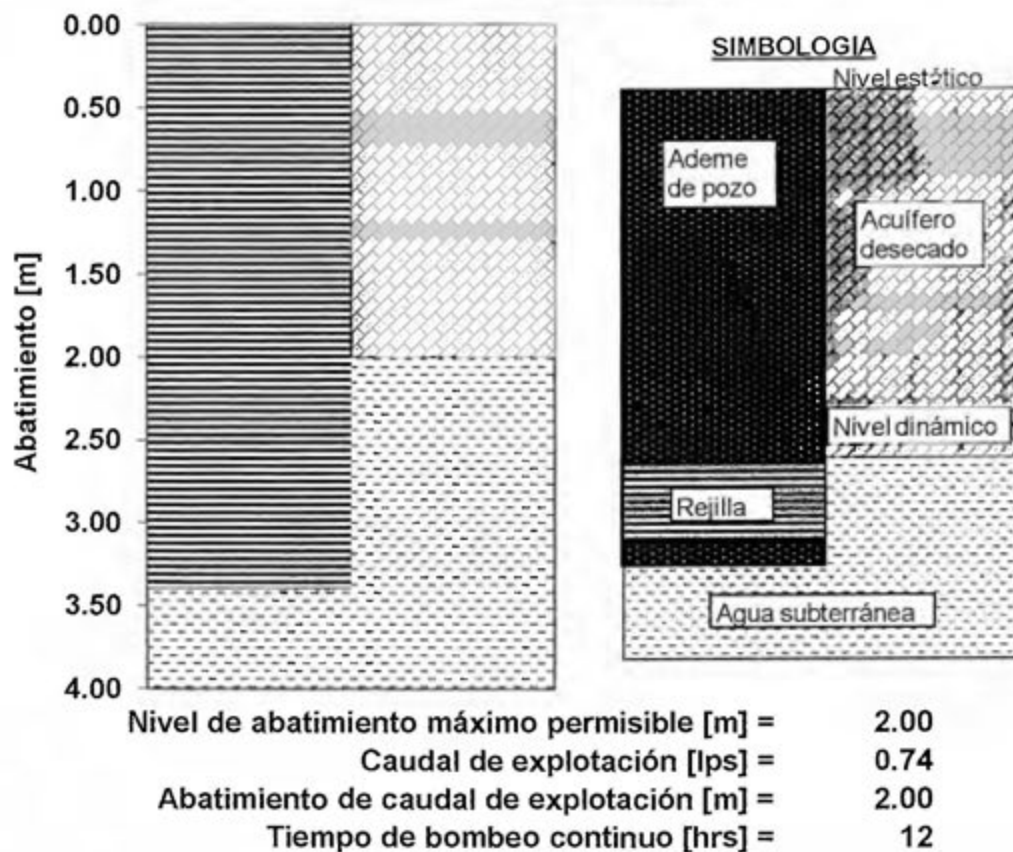
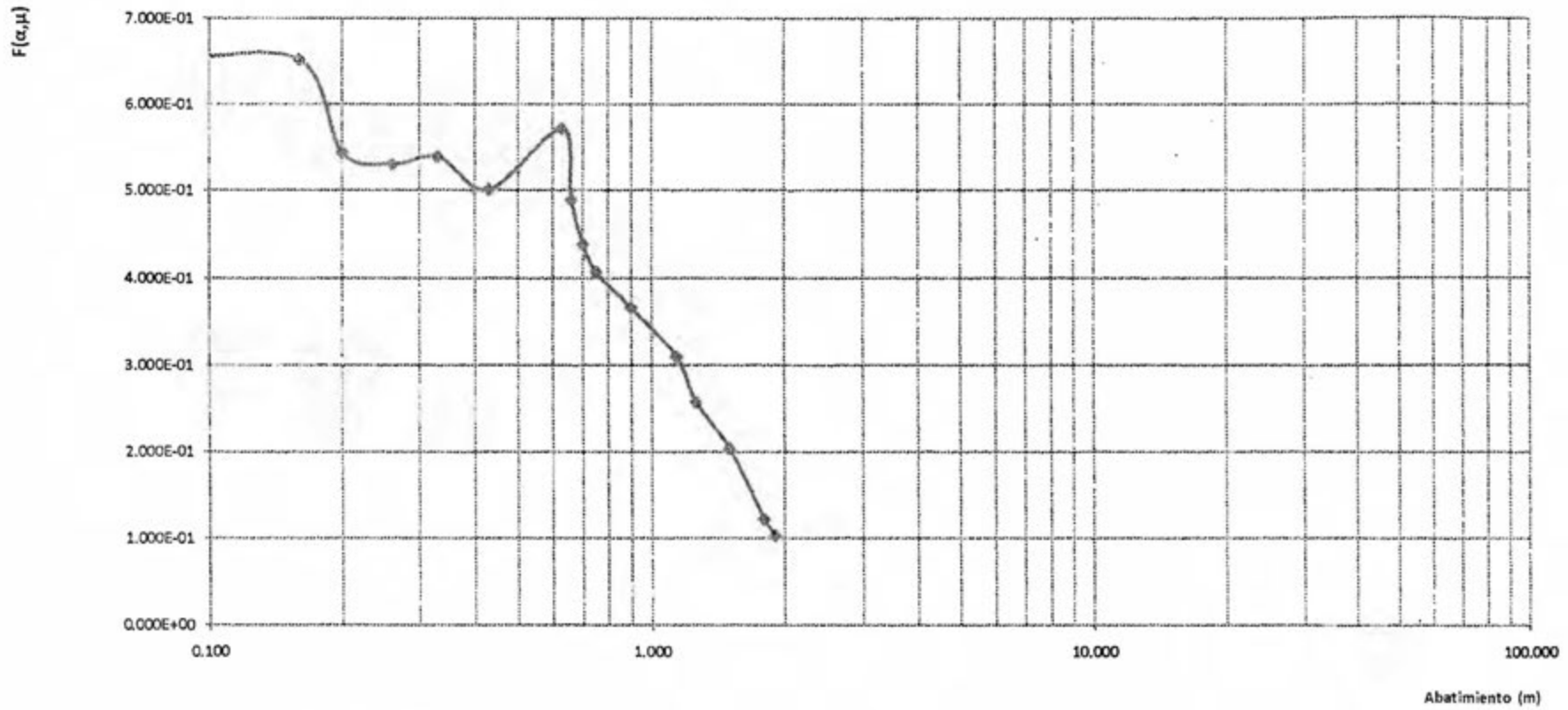


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #14



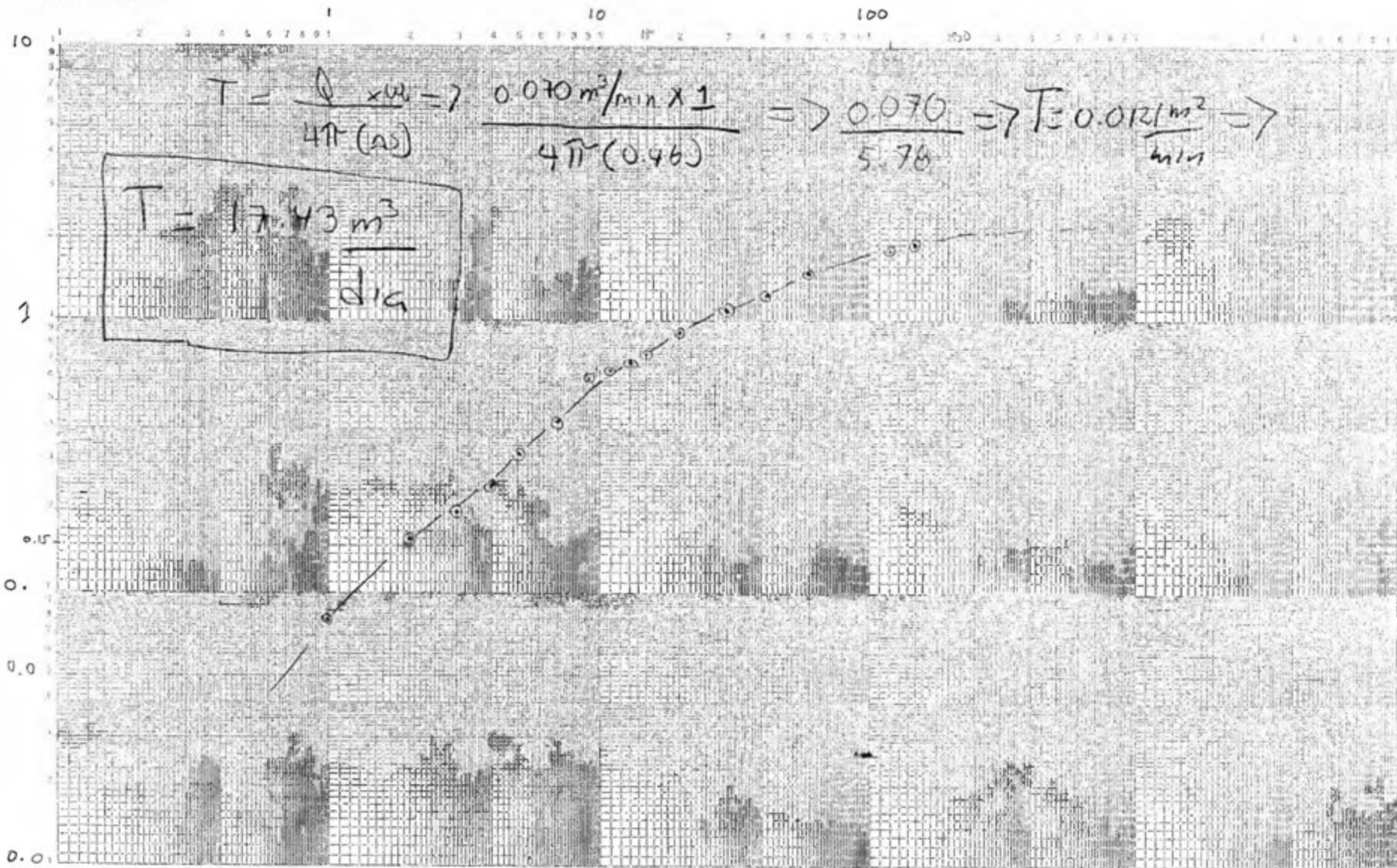


foli-graf

LOGARITMICO
3 X 5 CICLOS

POLICROMIA S.A.
COD. 23796

Pozo #14



RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo TAL-357
POZO N°	: TAL-357
FECHA DE PRUEBA	: 22-feb-2011
REALIZADA POR	: Hidrogeol. Manrique Ortiz
FECHA DE ANALISIS	: 18-11-016
ANALIZADO POR	: Geol. Aian aian

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 0.25
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 0.25
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 56
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 82.00
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 82.00
MATERIAL DE REJILLA	= tubo PVC

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

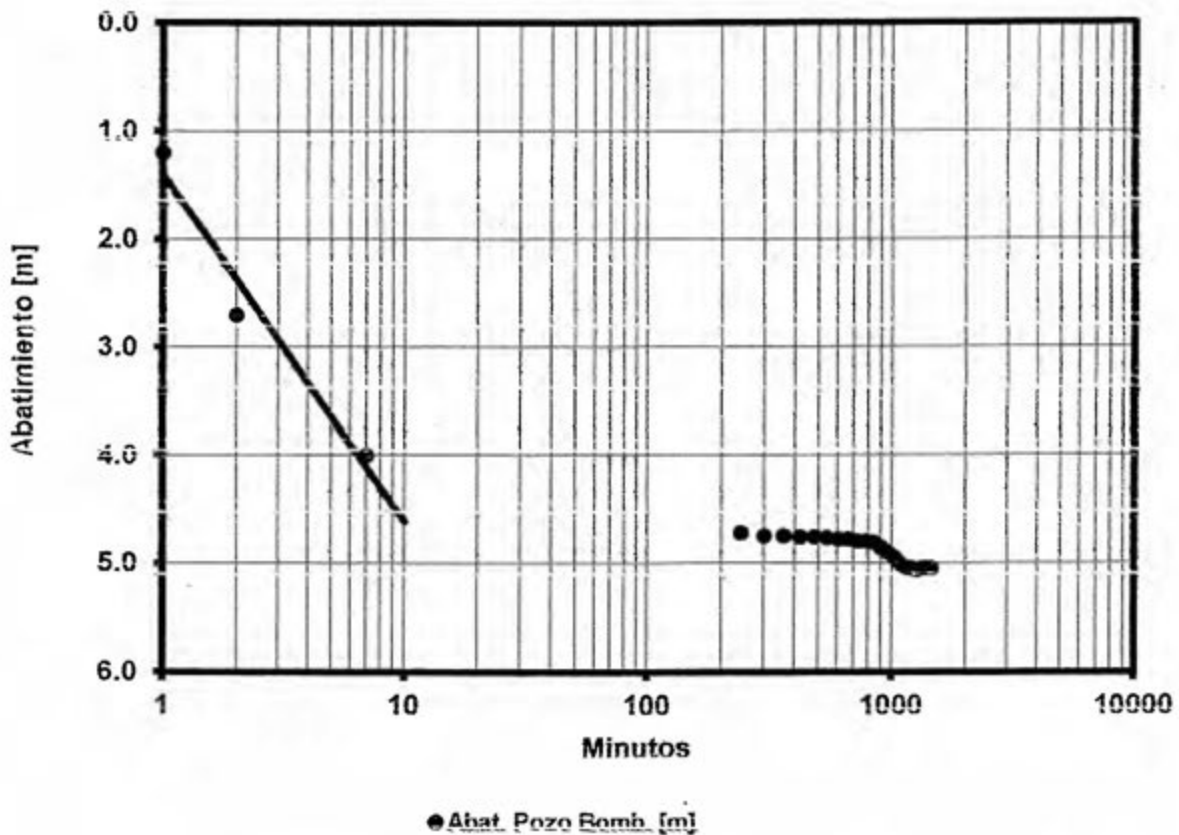
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 4.70
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.50
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 9.75
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 7.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	=

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 4.94
ABATIMIENTO [m]	= 20.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambí pozo TAL-357



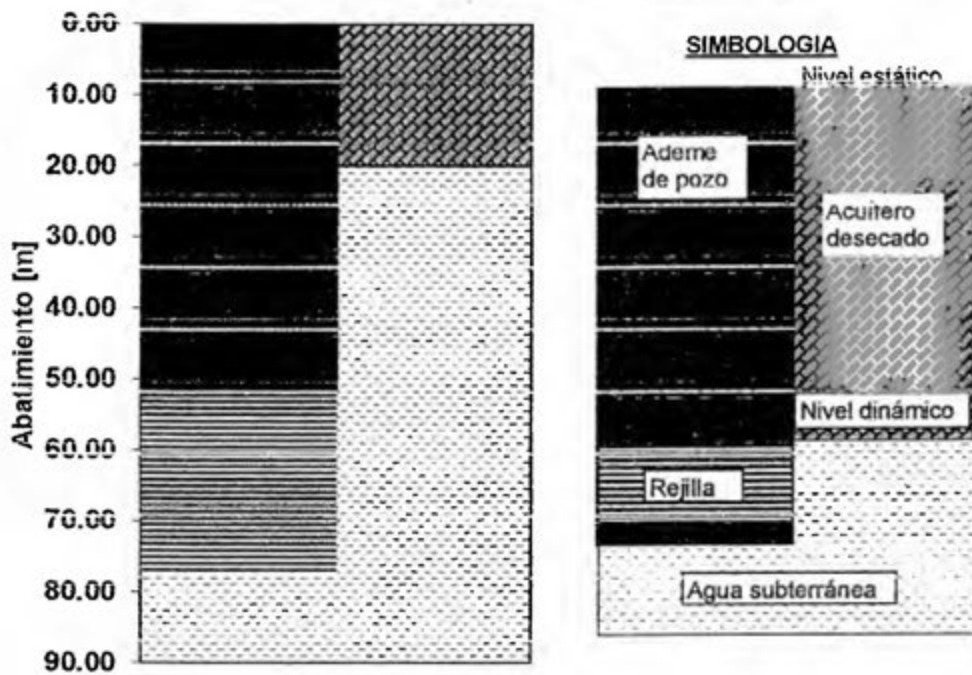
T [m²/día] = 7.41
S =

Nivel Estático [m] = 4.70
Q [lps] = 1.50

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambí pozo TAL-357

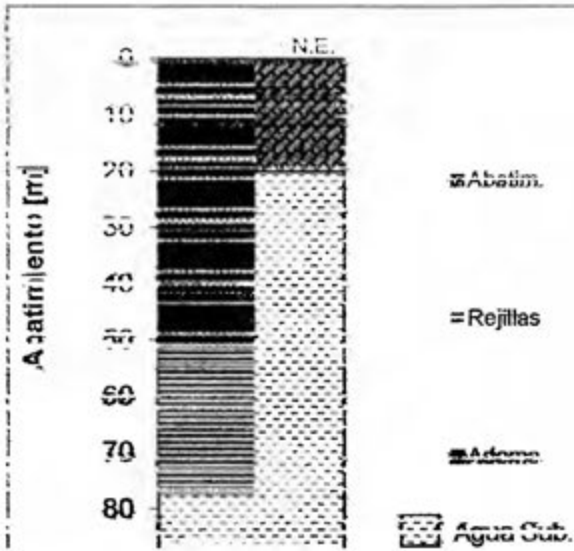


Nivel de abatimiento máximo permisible [m] =	40.00
Caudal de explotación [lps] =	4.94
Abatimiento de caudal de explotación [m] =	20.00
Tiempo de bombeo continuo [hrs] =	12

Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Inicio de rejillas a superficie	Fin a inicio de rejillas	Fondo a Fin rejillas	Nivel Dinámico
Ademe 51.30	55 Rejillas 26.00	62 Ademe	62 Abatim. 0.00
			40 20



RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo 23
POZO N°	: pozo 23
FECHA DE PRUEBA	: 6-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 6-2-013
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 0.96
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 0.96
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 2.4
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 4.10
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 4.10
MATERIAL DE REJILLA	= roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

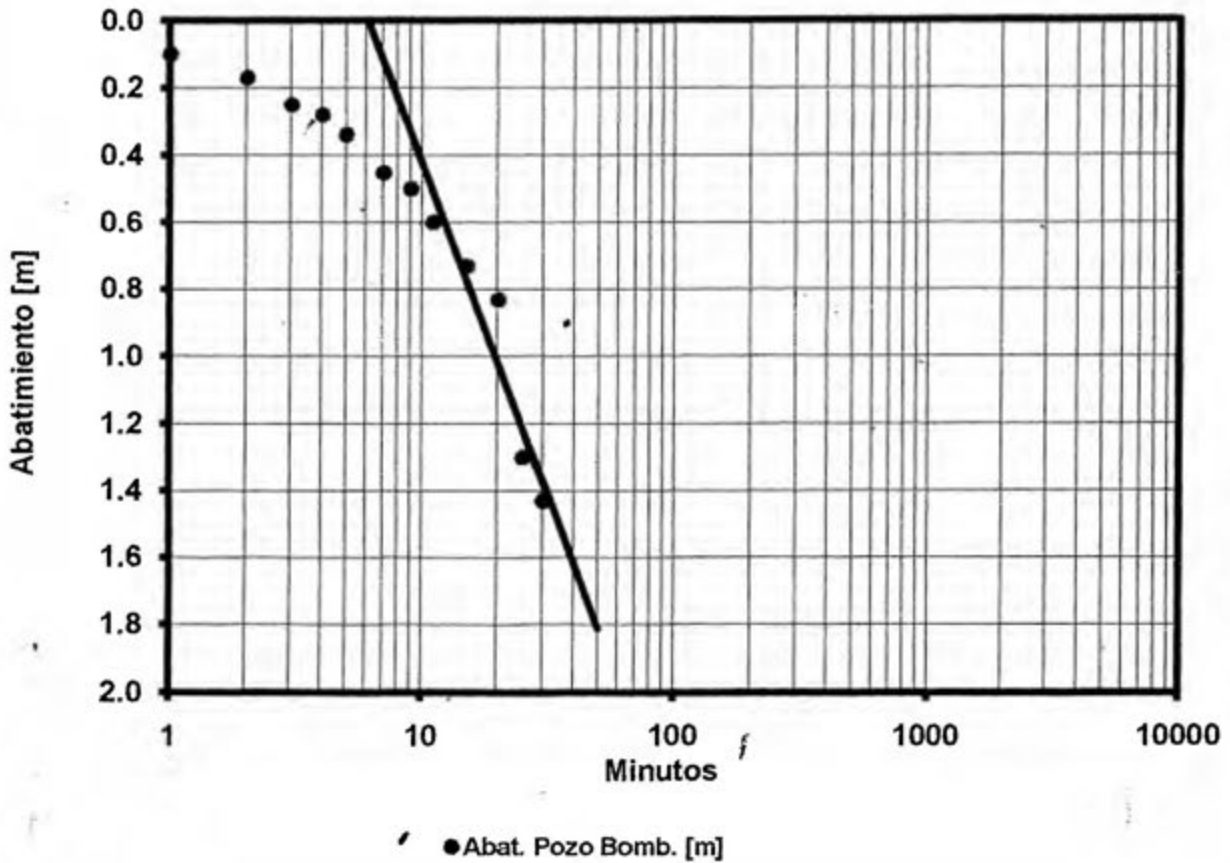
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 2.40
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.20
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 3.83
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 45

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 0.36
ABATIMIENTO [m]	= 1.43
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambi pozo 23



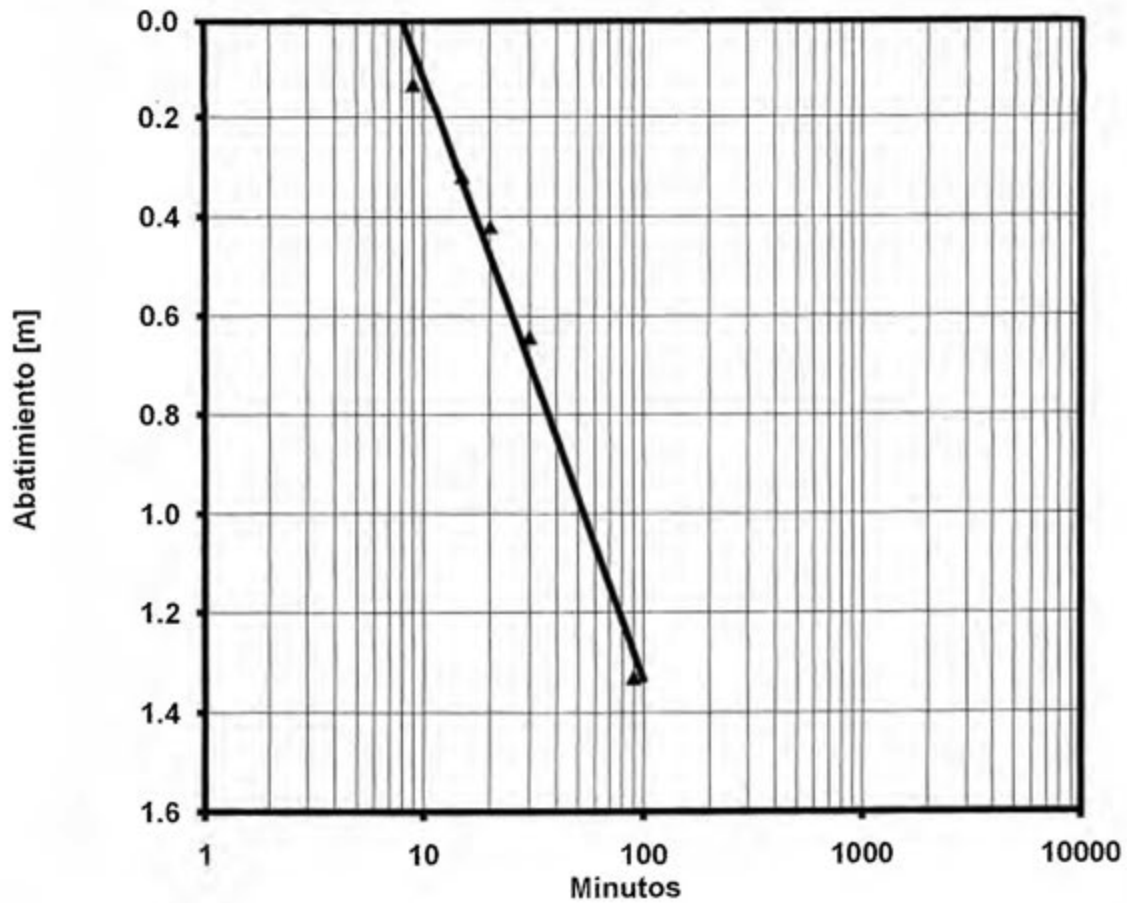
T [m²/día] = 9.57
S =

Nivel Estático [m] = 2.40
Q [lps] = 1.20

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 23



▲ Recup,emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 15.55
S =

Recuperación [%] = 45
Q [lps] = 1.20

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambí pozo 23

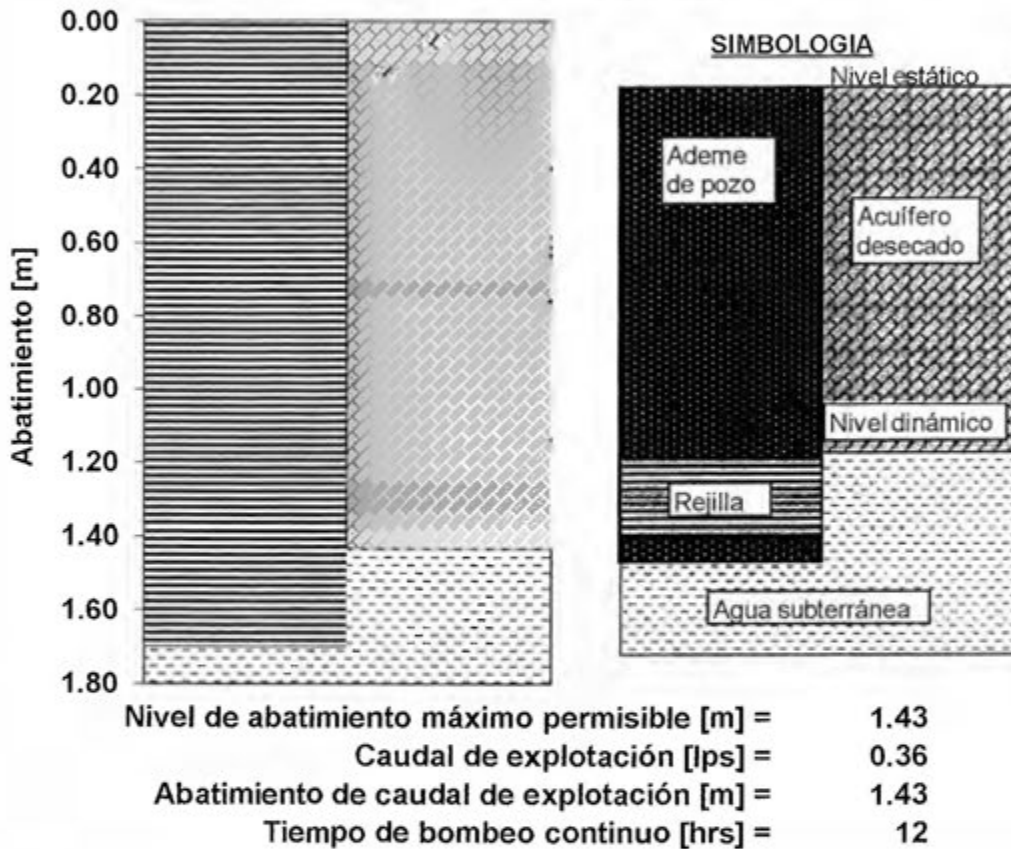
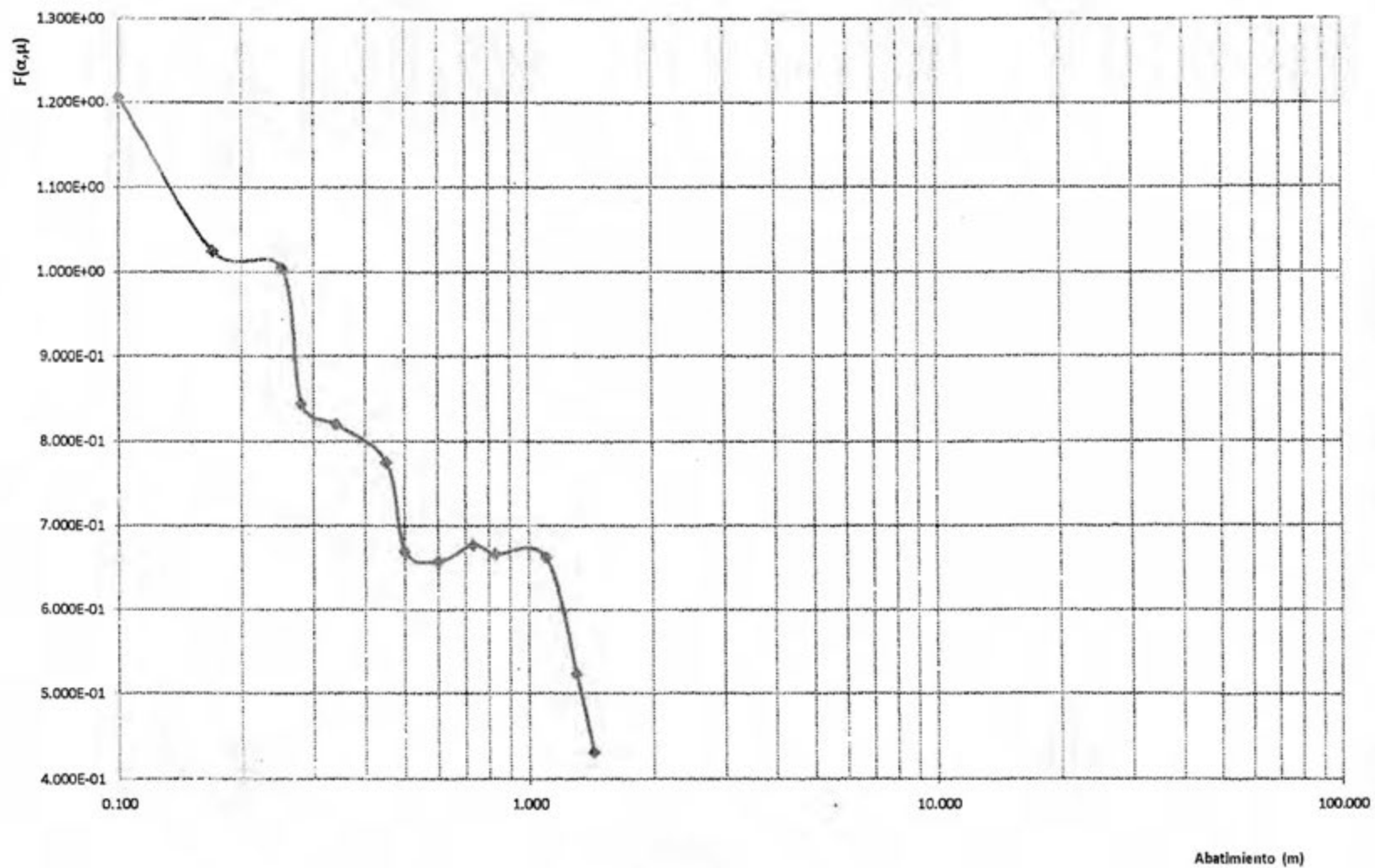


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #23





POLI-graf

LOGARITMICO
3 X 5 CICLOS

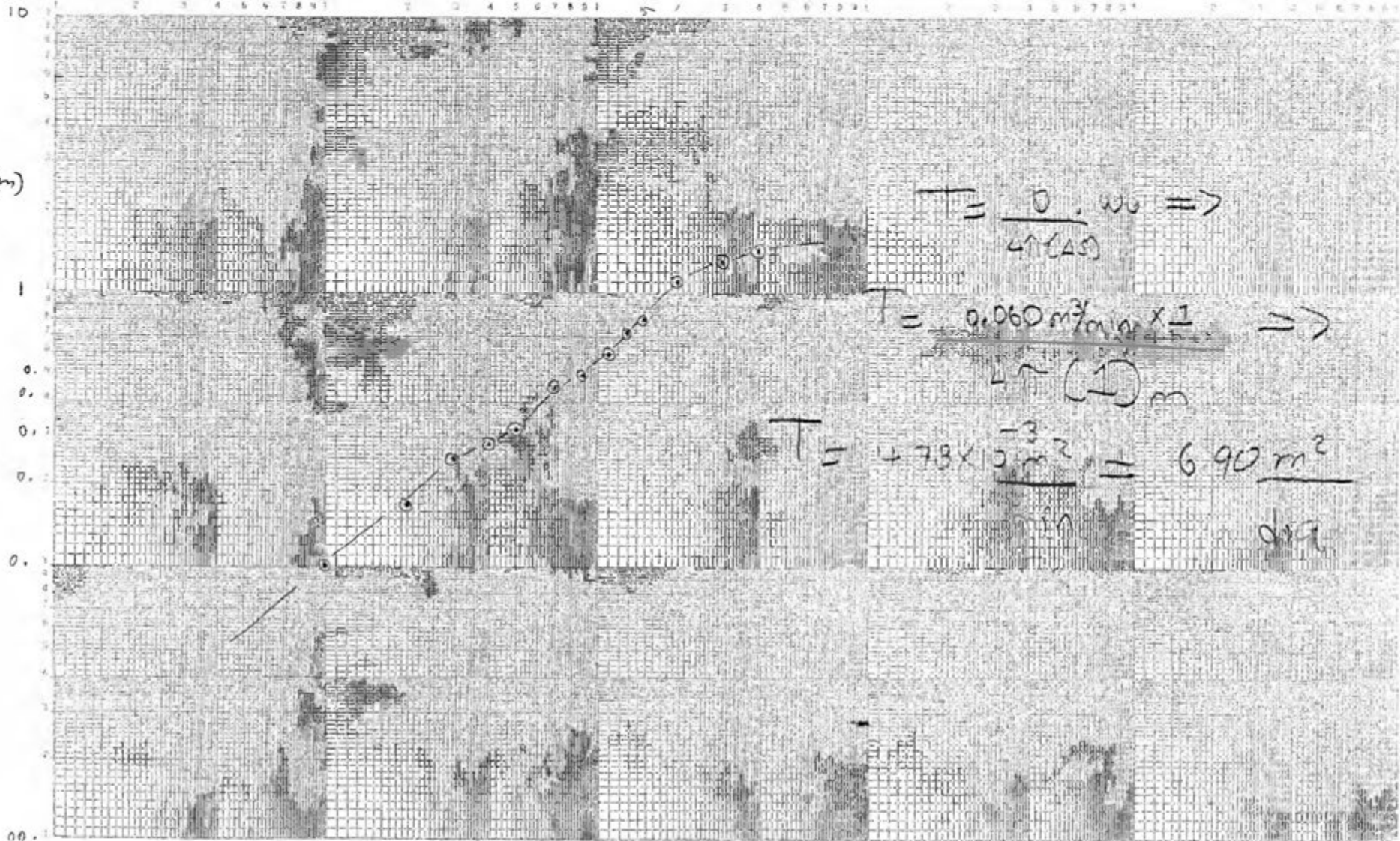
POLICROMIA S.A.
COD. 23796

tiempo

1

10

100



$$T = \frac{0.060}{\Delta S(\Delta S)} \Rightarrow$$

$$T = \frac{0.060 \text{ m}^3/\text{m} \times \frac{1}{\Delta S}}{\Delta S \sim (1) \text{ m}} \Rightarrow$$

$$T = \frac{4.78 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\text{min}} = \frac{6.90 \text{ m}^2}{\text{dia}}$$

RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD : Nambí pozo 24
POZO N° : pozo 24
FECHA DE PRUEBA : 5-6-012
REALIZADA POR : Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS : 16-2-013
ANALIZADO POR : Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m] = 0.9
DIAMETRO DE ADEME [m] = 0.9
MATERIAL DE ADEME = concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m] = 8.93
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m] = 11.40
PROFUNDIDAD DE POZO [m] = 11.40
MATERIAL DE REJILLA = roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS = 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps] = 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps] = 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps] = 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps] = 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps²] =
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día] =
EFICIENCIA DE POZO [%] =

PRUEBA DE BOMBEO

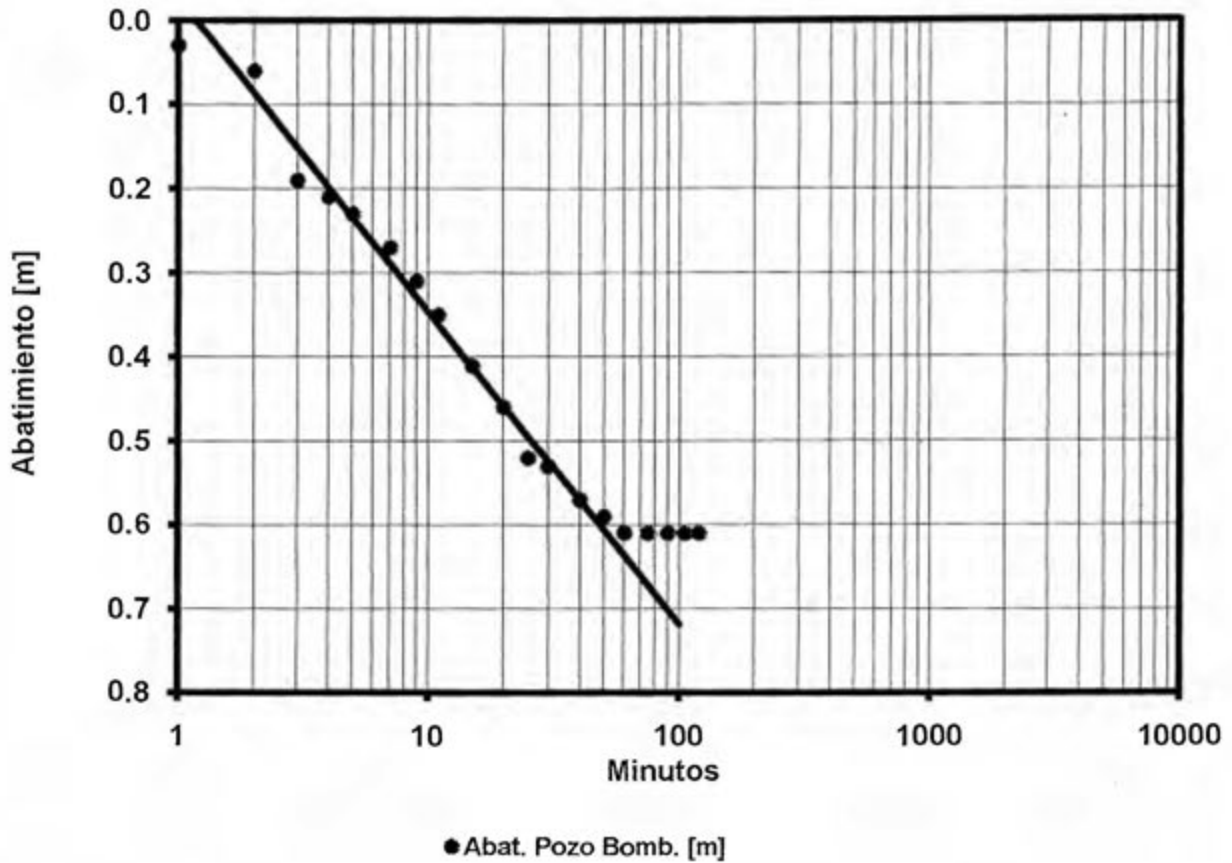
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m] = 9.83
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m] =
CAUDAL DE BOMBEO [lps] = 0.86
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min] =
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m] = 10.44
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m] = 0.00
TRASMISIVIDAD [m²/día] = 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO = INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%] = 108

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps] = 0.72
ABATIMIENTO [m] = 1.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs] = 12.00
RADIO DE INFLUENCIA = 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambi pozo 24



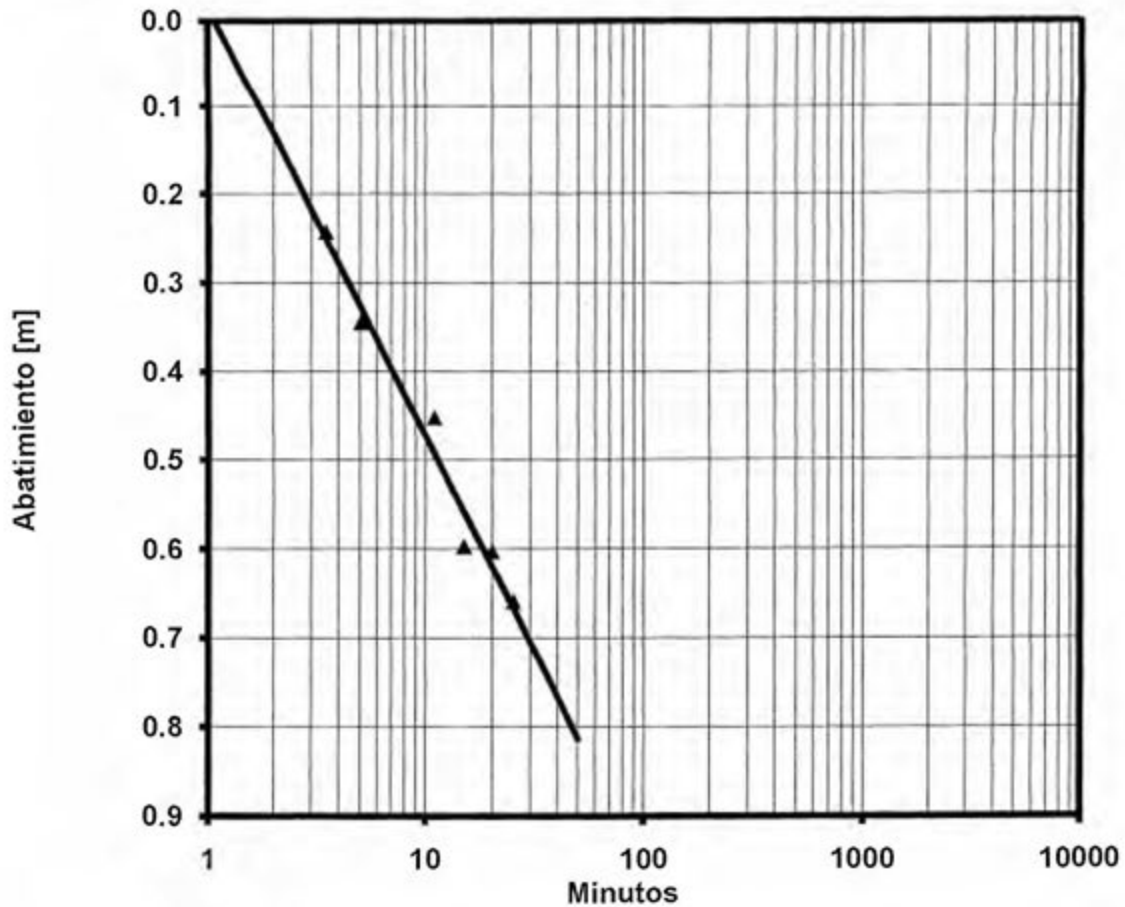
T [m²/día] = 36.58
S =

Nivel Estático [m] = 9.83
Q [lps] = 0.86

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 24



▲ Recup,emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 27.92
S =

Recuperación [%] = 108
Q [lps] = 0.86

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambí pozo 24

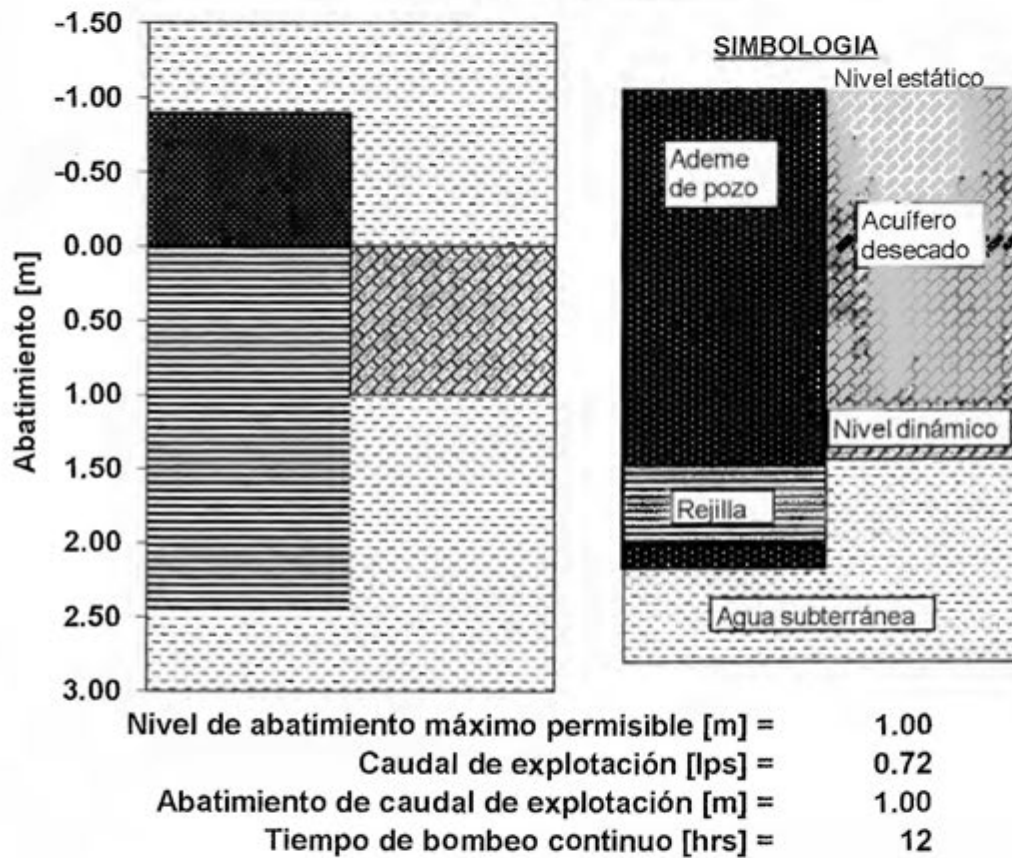
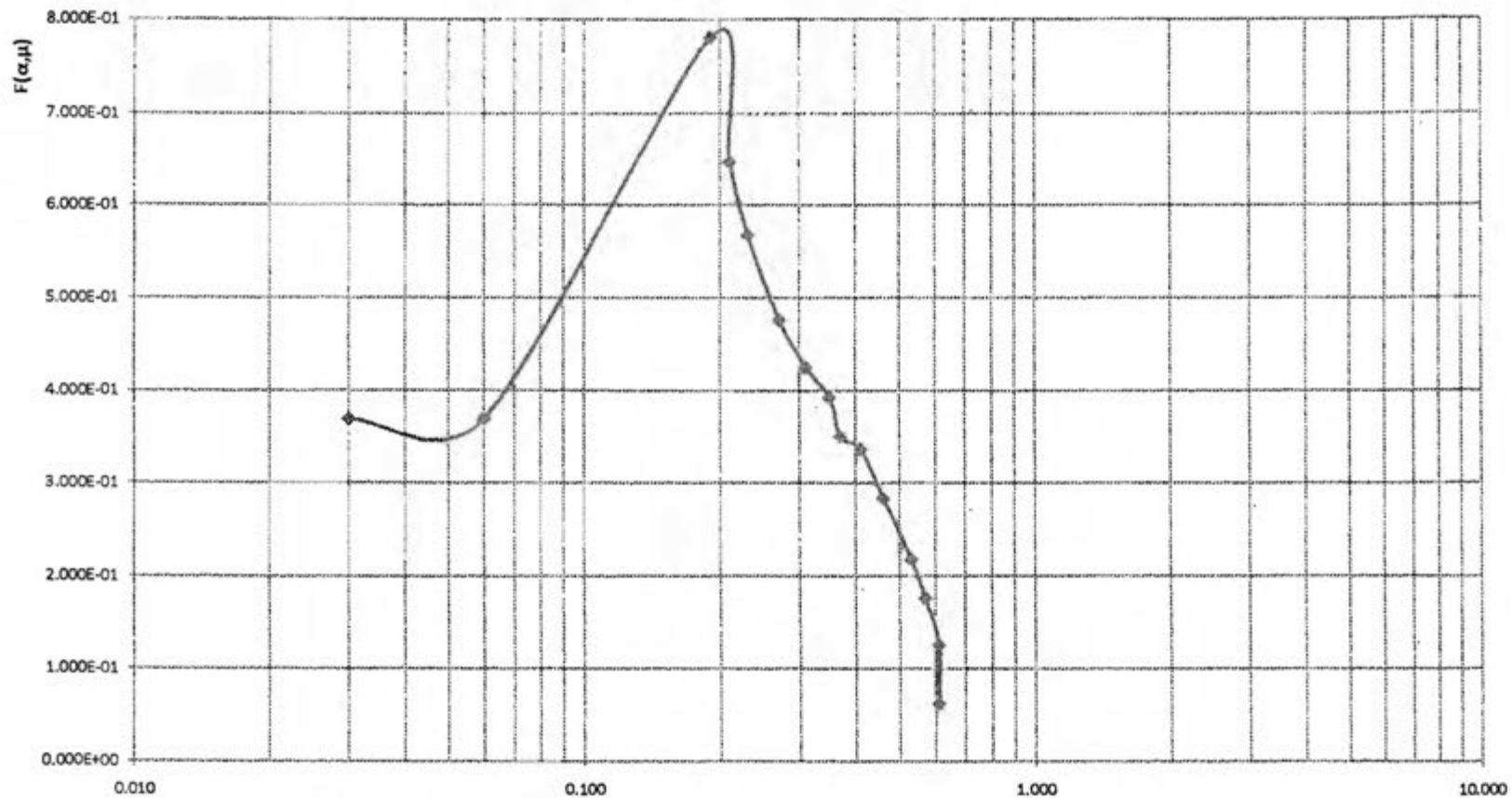


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #24



Abatimiento (m)

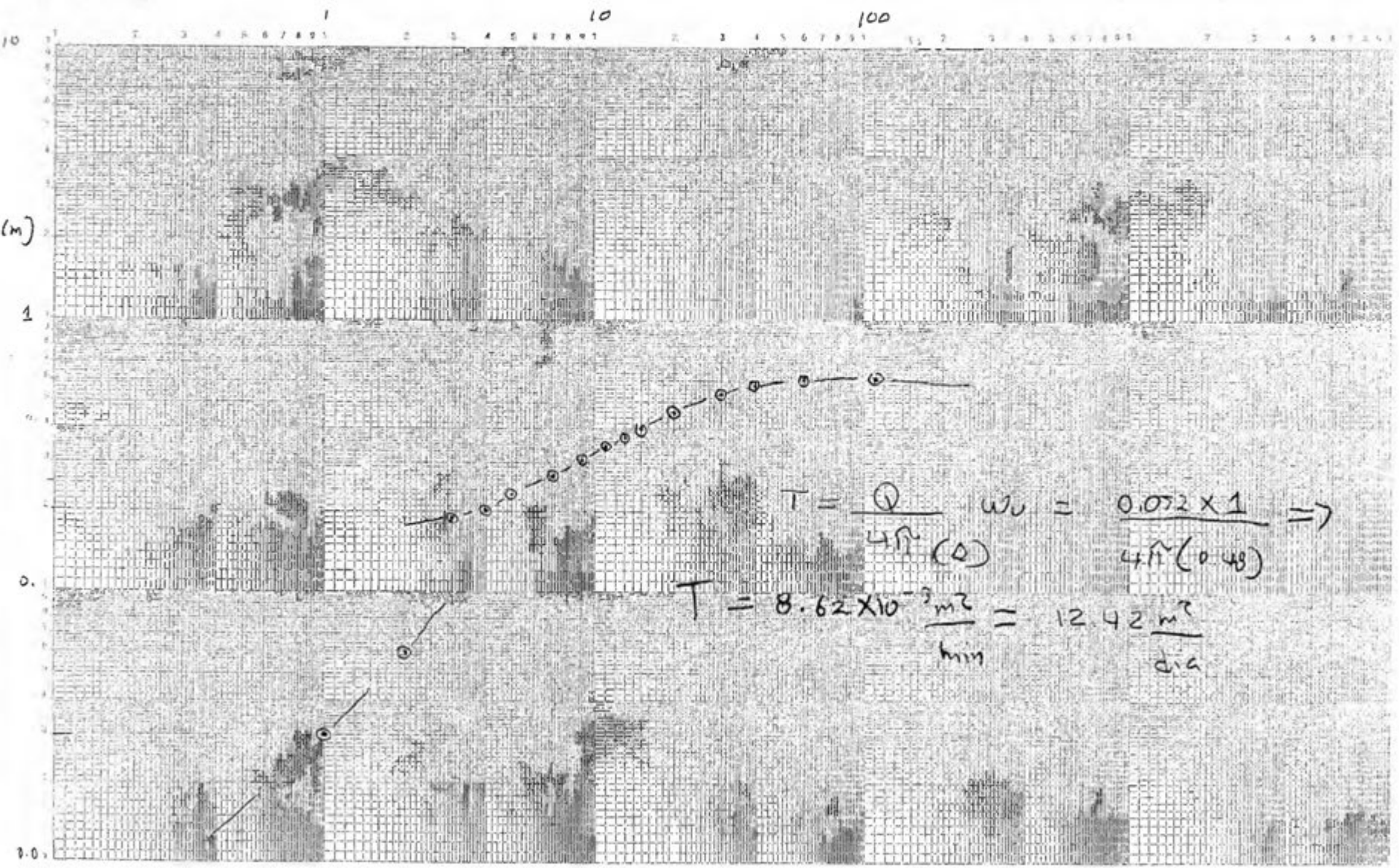
5.1

Pozo #24

(tiempo. (min))



POLI-graf LOGARITMICO 3 X 5 CICLOS • POLICROMIA S.A. COD. 33796



RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo 25
POZO N°	: pozo 25
FECHA DE PRUEBA	: 7-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 26-11-013
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 1.1
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 0.9
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 2
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 8.12
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 8.50
MATERIAL DE REJILLA	= roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

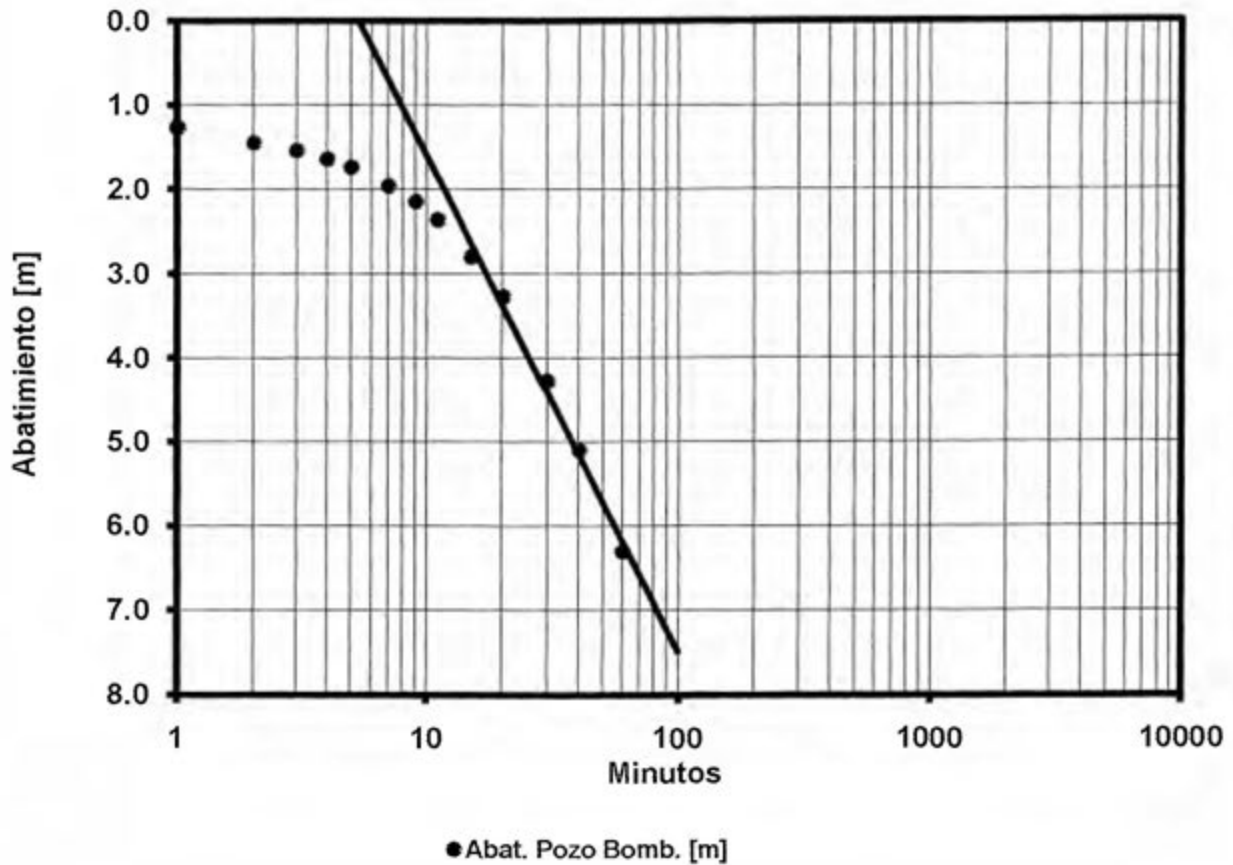
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 2.00
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.70
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 8.30
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 75

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 0.59
ABATIMIENTO [m]	= 5.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambí pozo 25



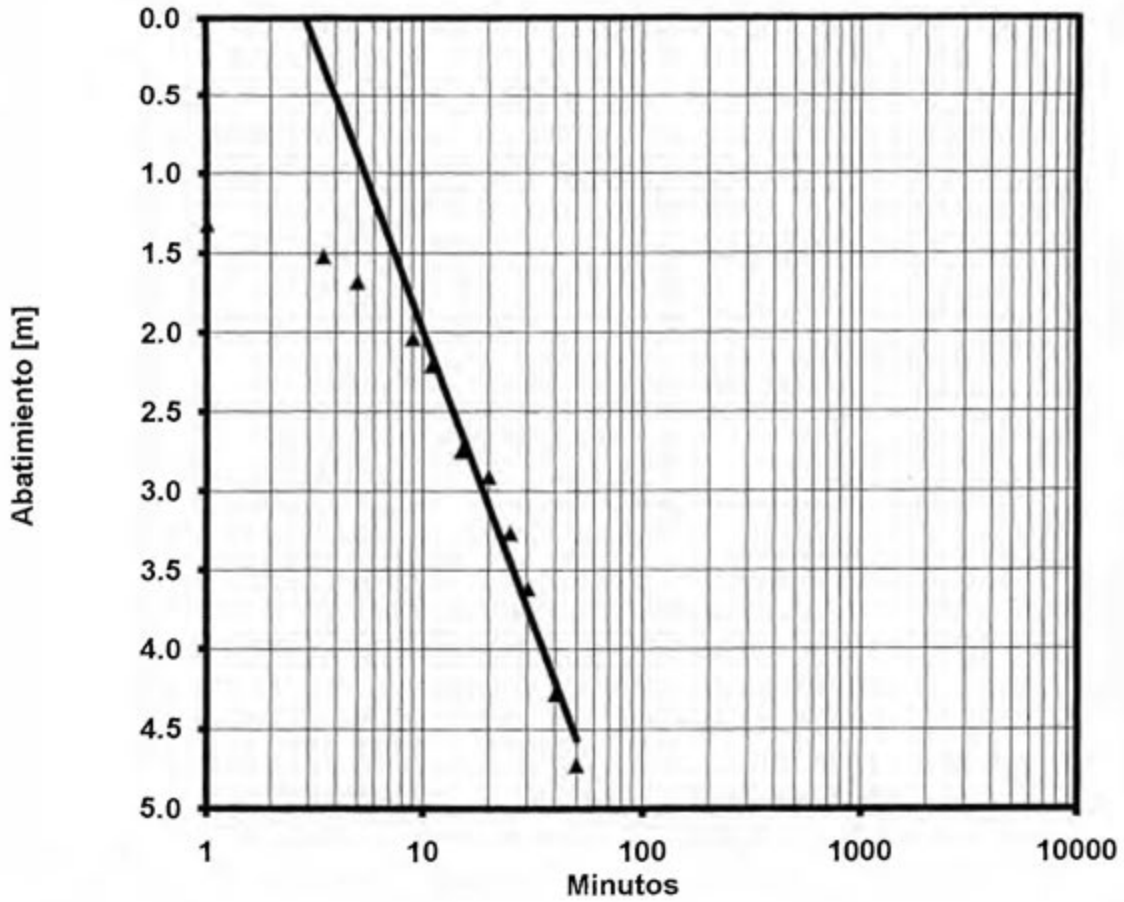
T [m²/día] = 4.57
S =

Nivel Estático [m] = 2.00
Q [lps] = 1.70

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 25



▲ Recup,emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 7.29
S =

Recuperación [%] = 75
Q [lps] = 1.70

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambi pozo 25

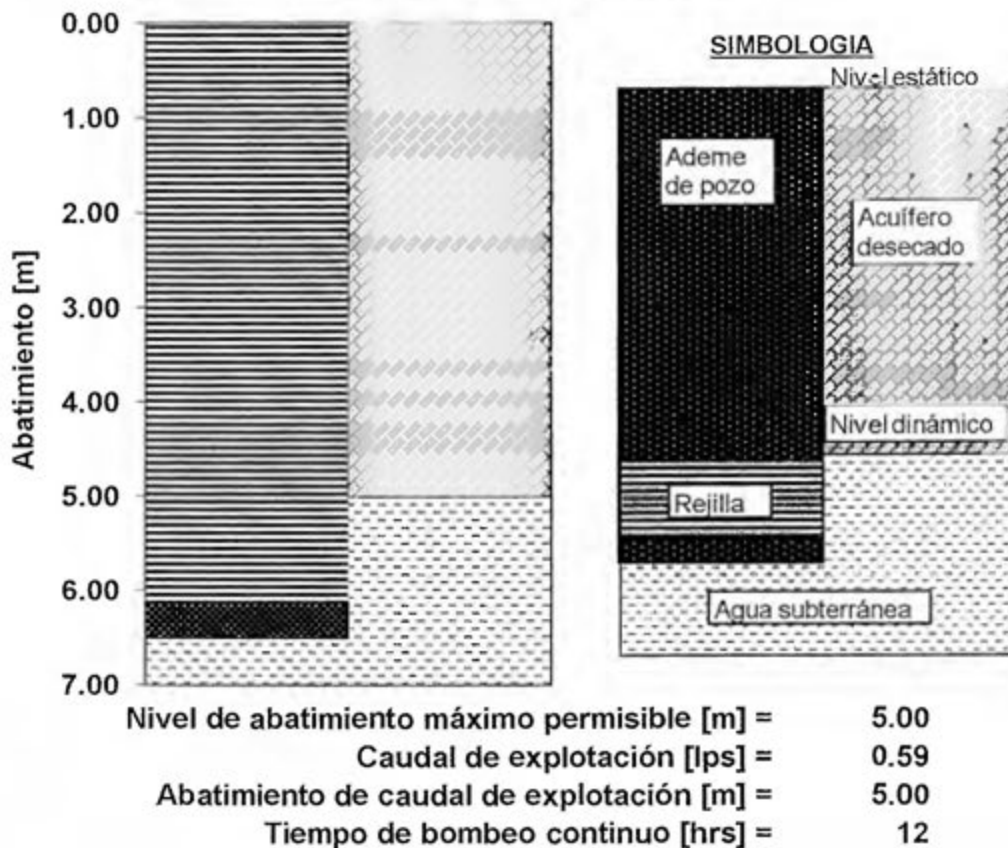
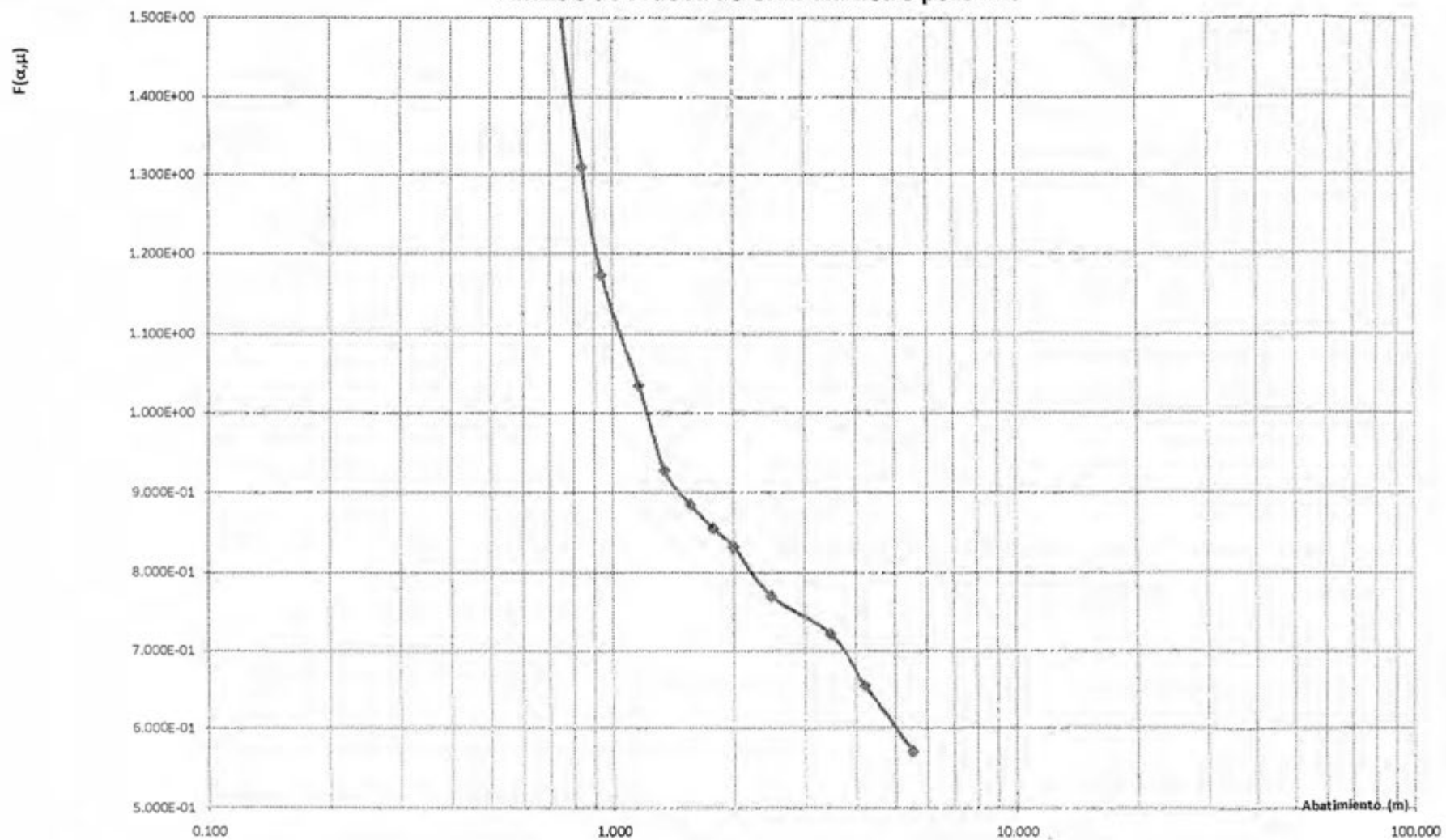


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #25



Pozo # 25

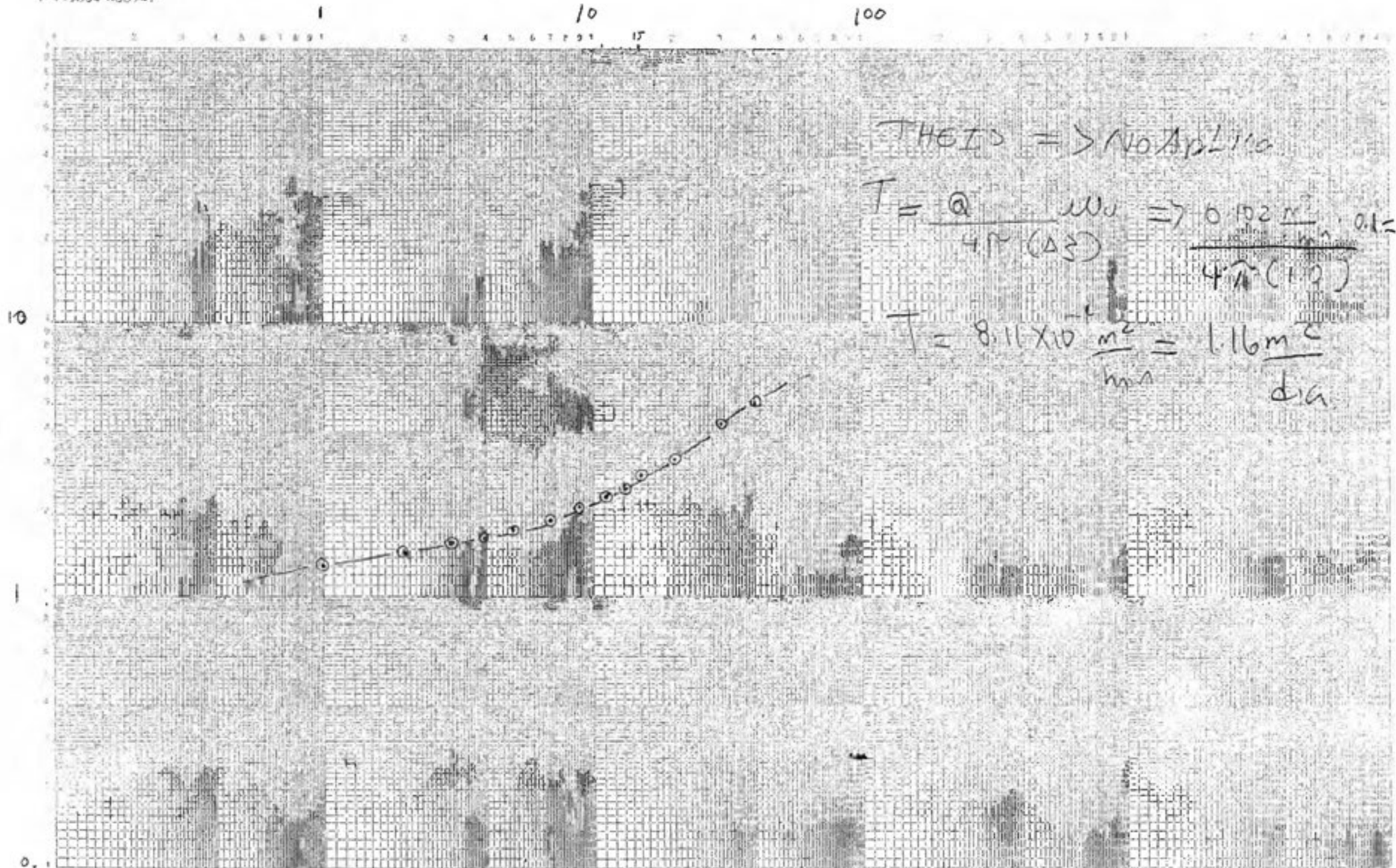


POLI-graf

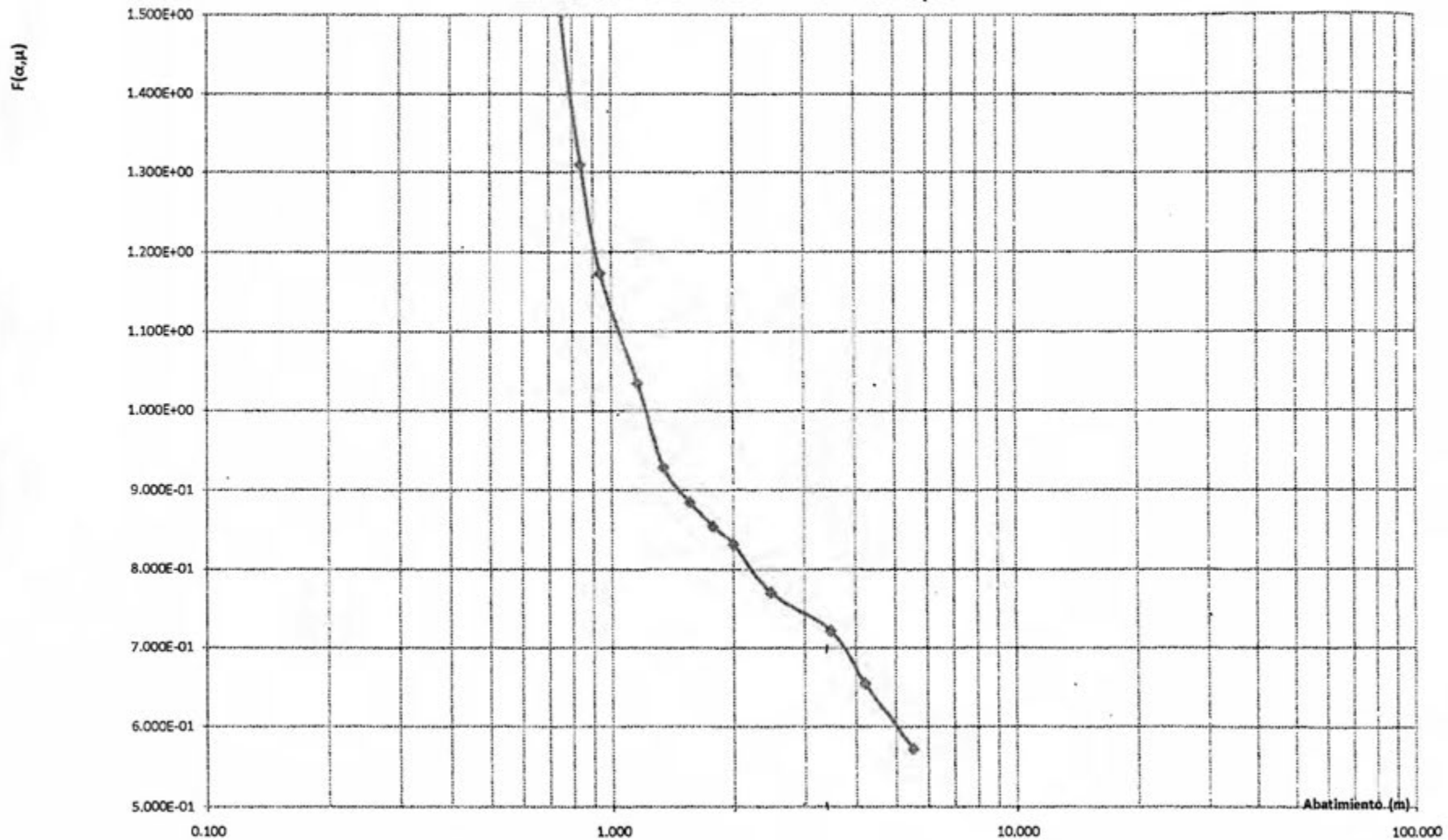
LOGARITMICO
3 X 5 CICLOS

POLICROMIA S.A.
COD. 25795

tiempo



Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #25



RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo 26
POZO Nº	: pozo 26
FECHA DE PRUEBA	: 8-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 11-12-012
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 1.16
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 1.16
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 6
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 8.80
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 8.80
MATERIAL DE REJILLA	= concreto

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

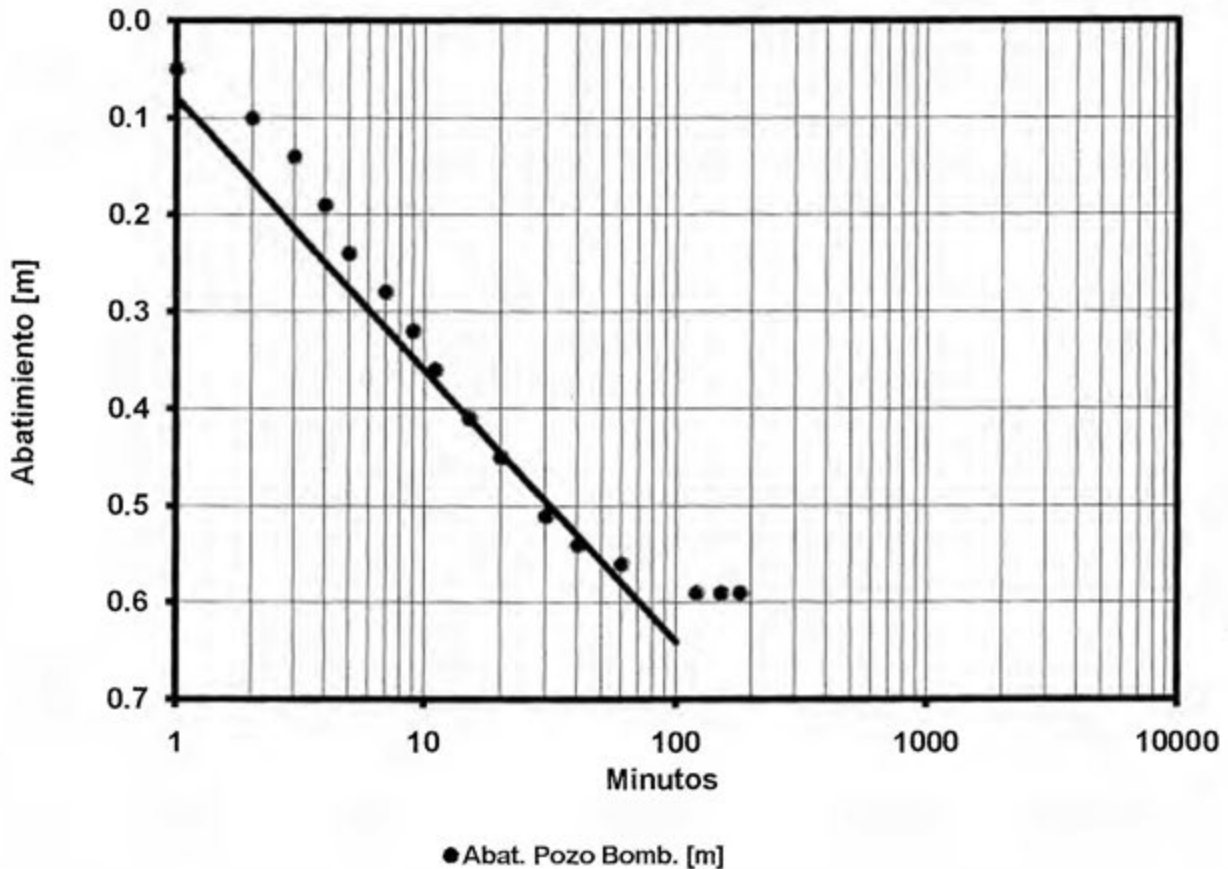
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 6.90
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.20
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 7.49
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 122

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 1.18
ABATIMIENTO [m]	= 1.00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambí pozo 26



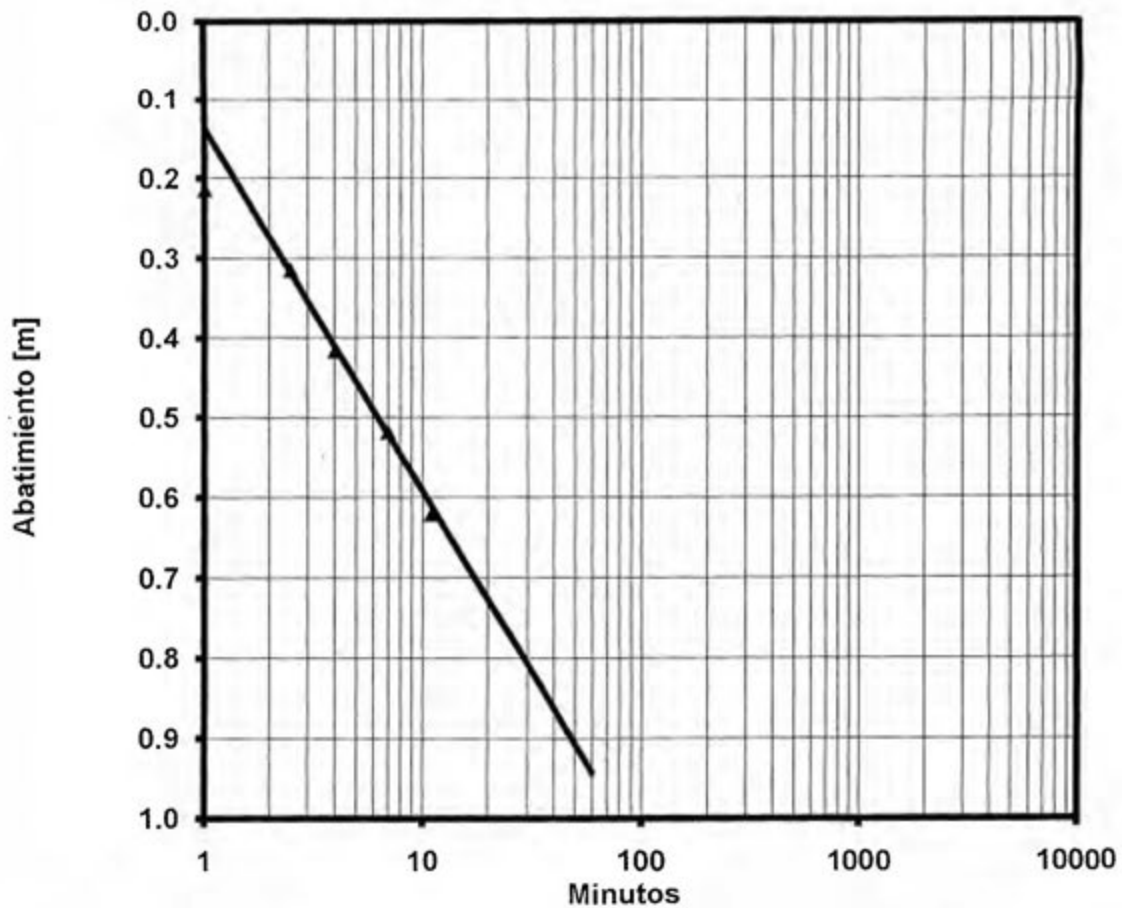
T [m²/día] = 67.64
S =

Nivel Estático [m] = 6.90
Q [lps] = 1.20

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 26



▲ Recup,emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 41.93
S =

Recuperación [%] = 122
Q [lps] = 1.20

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambí pozo 26

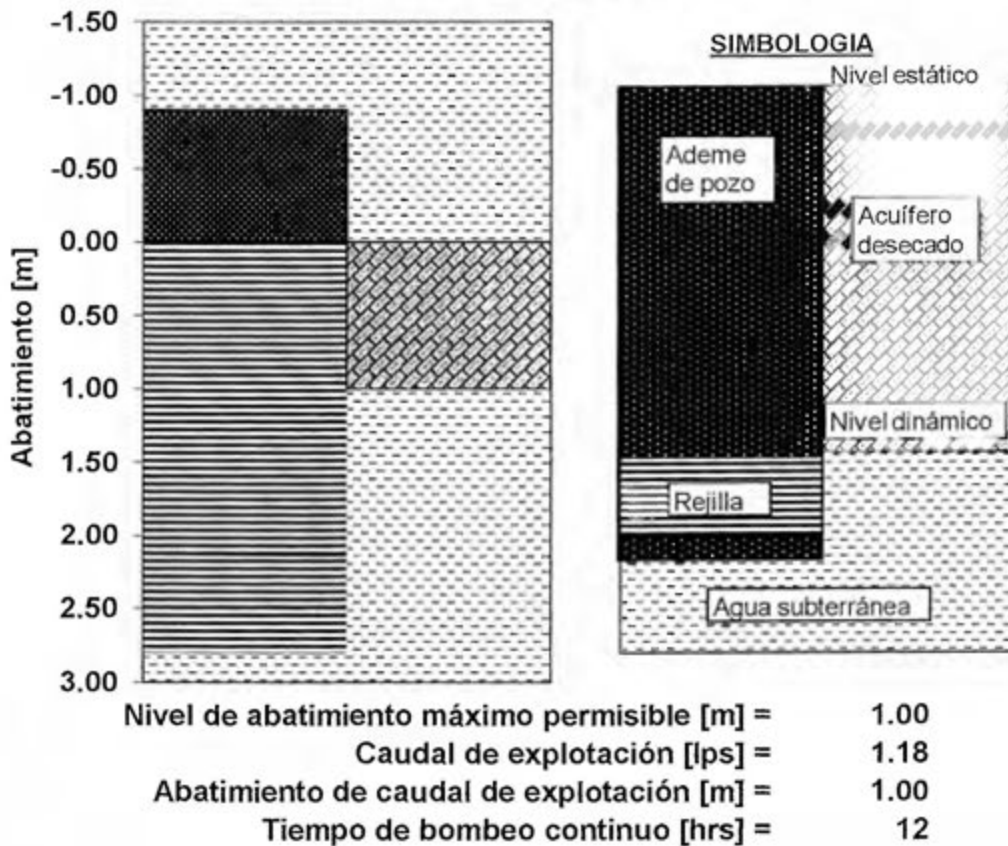
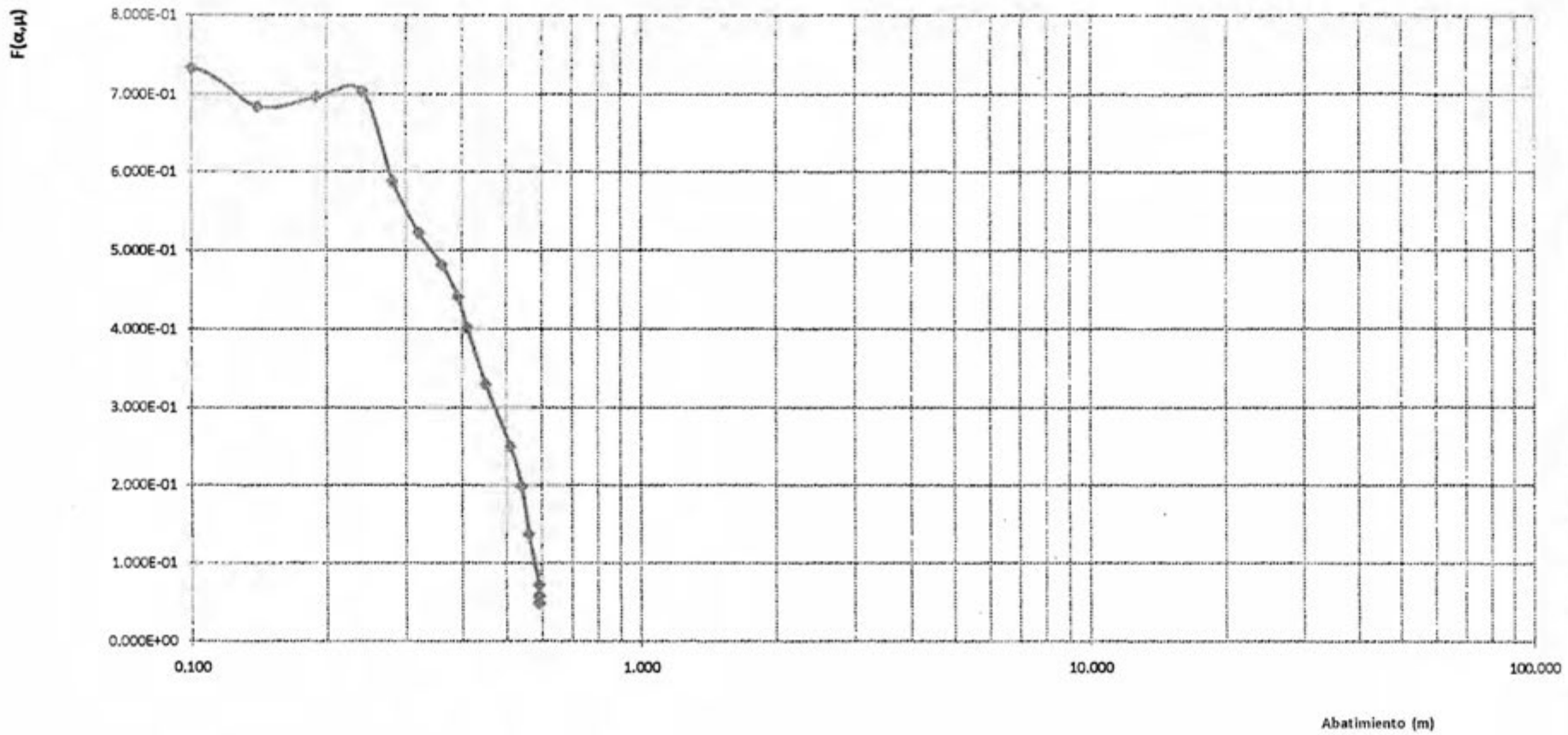


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #26



KOZO # 26

23-1-012 = Analisis

Curva... $\Delta s \approx 0.5$

$\Delta s = 0.12 m$

$w(0) = 1$

$\frac{1}{U} \approx 10$

$t_a = 10$

$Q = 0.0720 \frac{m^3}{min}$

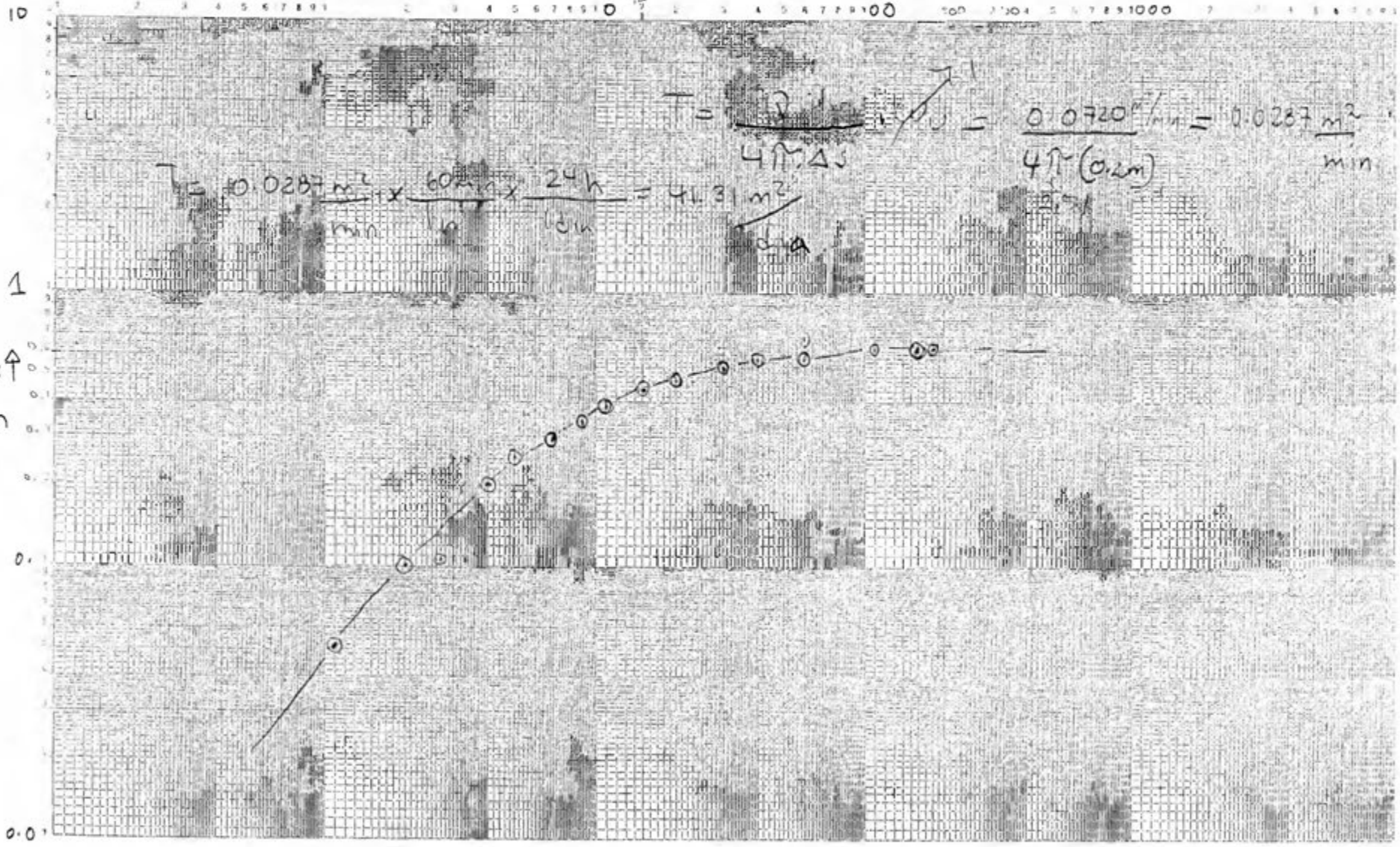
tiempo (min)



pori-graf

LOGARITMICO
3 X 5 CICLOS

POLICROMIAS S.A.
C.O.D. 23796



RESUMEN EJECUTIVO

DATOS GENERALES

LOCALIDAD	: Nambí pozo 27
POZO N°	: pozo 27
FECHA DE PRUEBA	: 7-6-012
REALIZADA POR	: Geol. Alan alan
FECHA DE ANALISIS	: 23-11-013
ANALIZADO POR	: Geol. Alan alan

ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	= 0.96
DIAMETRO DE ADEME [m]	= 0.96
MATERIAL DE ADEME	= concreto
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	= 11.69
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	= 14.26
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	= 14.26
MATERIAL DE REJILLA	= roca

PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	= 0.00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	= 0.00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	= 0.00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps ²]	=
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=
EFICIENCIA DE POZO [%]	=

PRUEBA DE BOMBEO

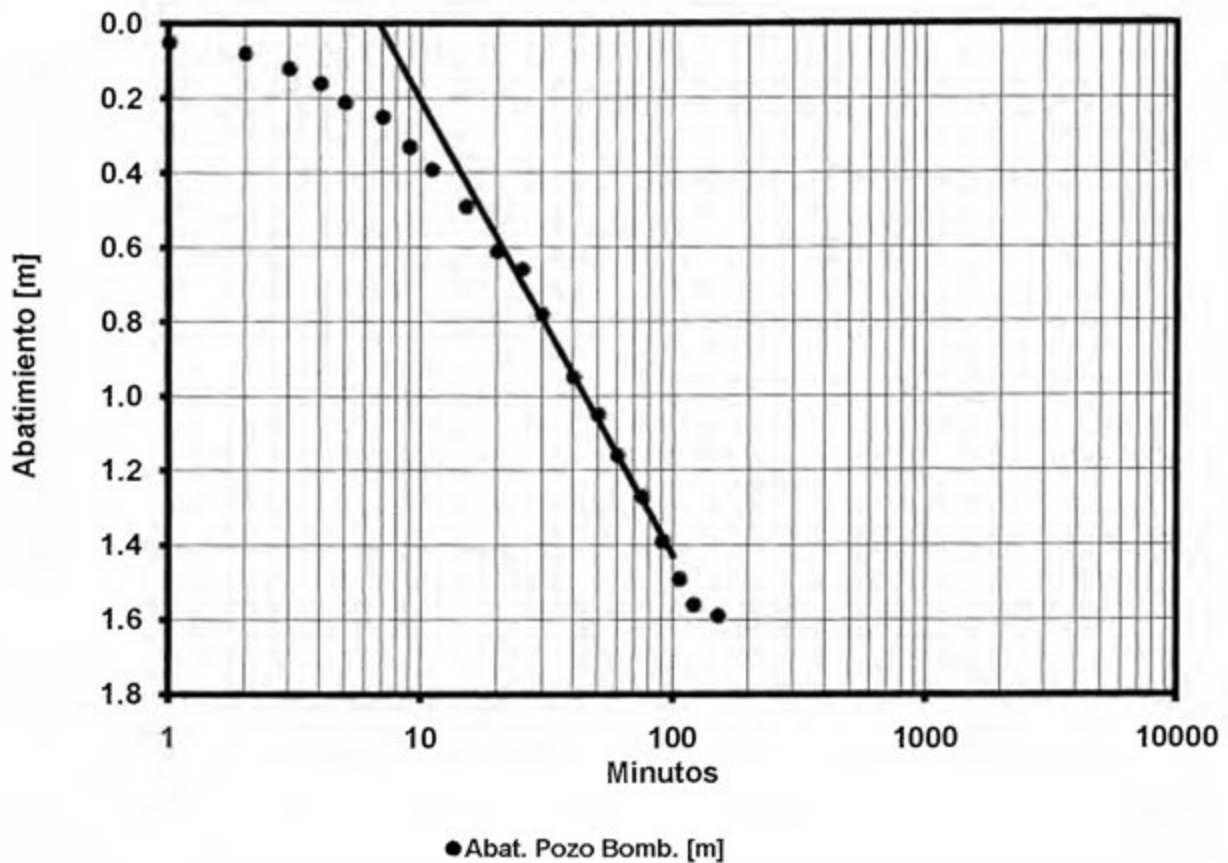
NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	= 11.69
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	= 1.00
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	= 13.28
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	= 0.00
TRASMISIVIDAD [m ² /día]	= 0.41
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	= INDEF
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	= 45

CAUDAL DE EXPLOTACION

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	= 0.53
ABATIMIENTO [m]	= 1.50
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	= 12.00
RADIO DE INFLUENCIA	= 0

PRUEBA DE BOMBEO ABATIMIENTO- POZO DE BOMBEO

Nambi pozo 27



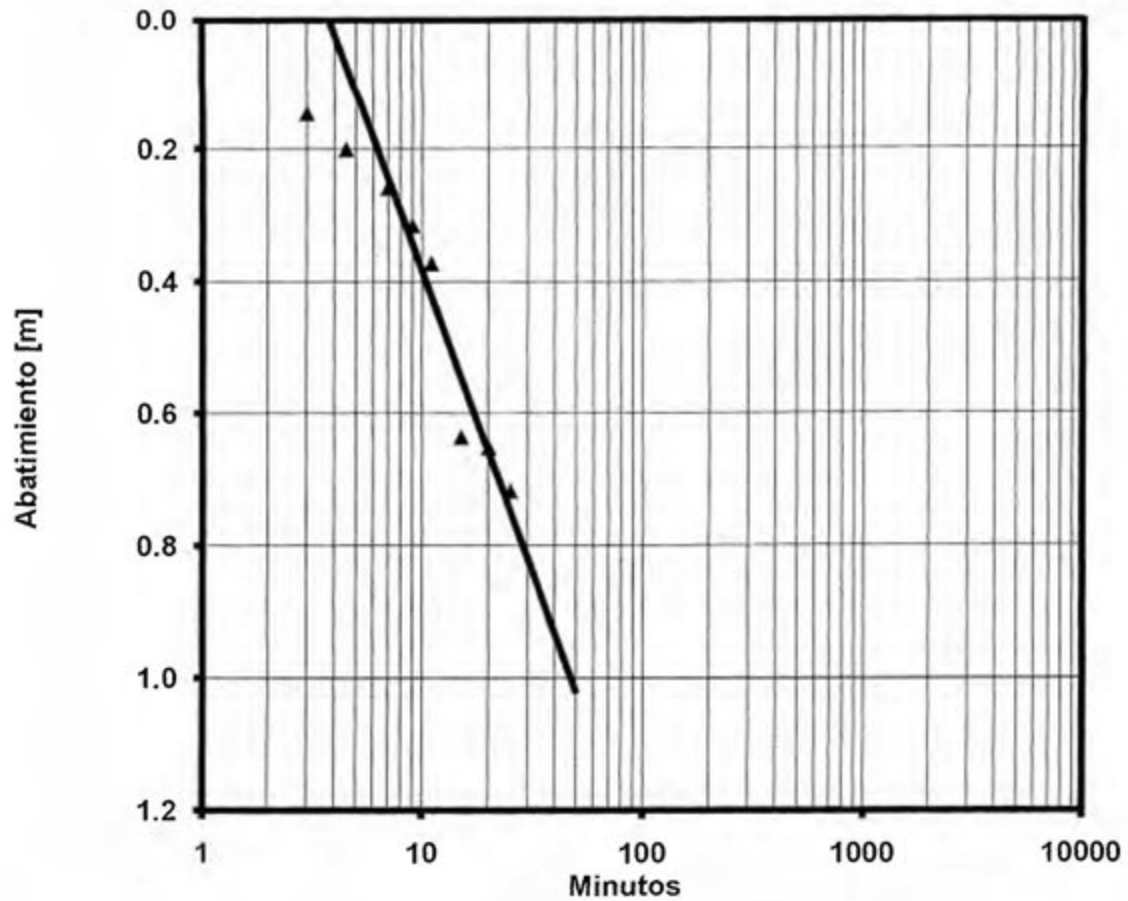
T [m²/día] = 12.92
S =

Nivel Estático [m]= 11.69
Q [lps] = 1.00

Fig 3 - Gráfico de abatimientos en el pozo de bombeo y valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento calculados

PRUEBA DE BOMBEO-RECUPERACION

Nambí pozo 27



▲ Recup.emul. bombeo[m]

T [m²/día] = 17.41
S =

Recuperación [%] = 45
Q [lps] = 1.00

Fig 4 - Gráfico de recuperación en el pozo de bombeo y valores de transmisividad, coeficiente de almacenamiento y % de recuperación calculados.

CAUDAL DE EXPLOTACION

Nambi pozo 27

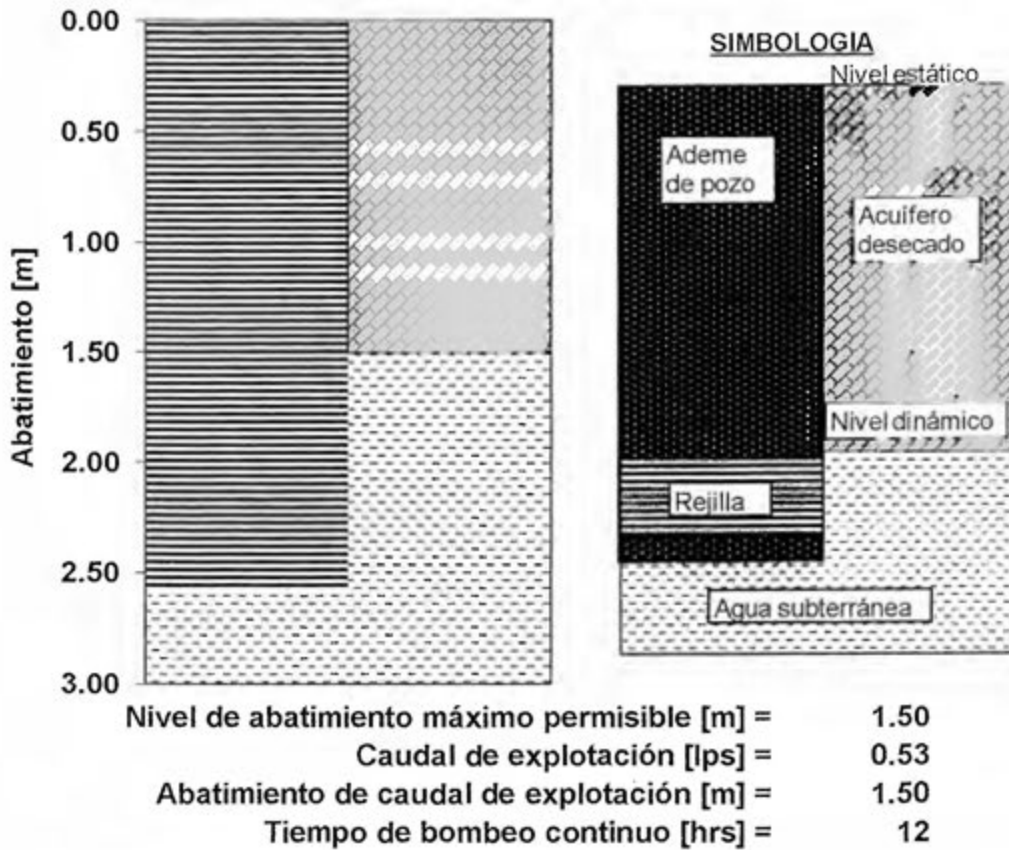
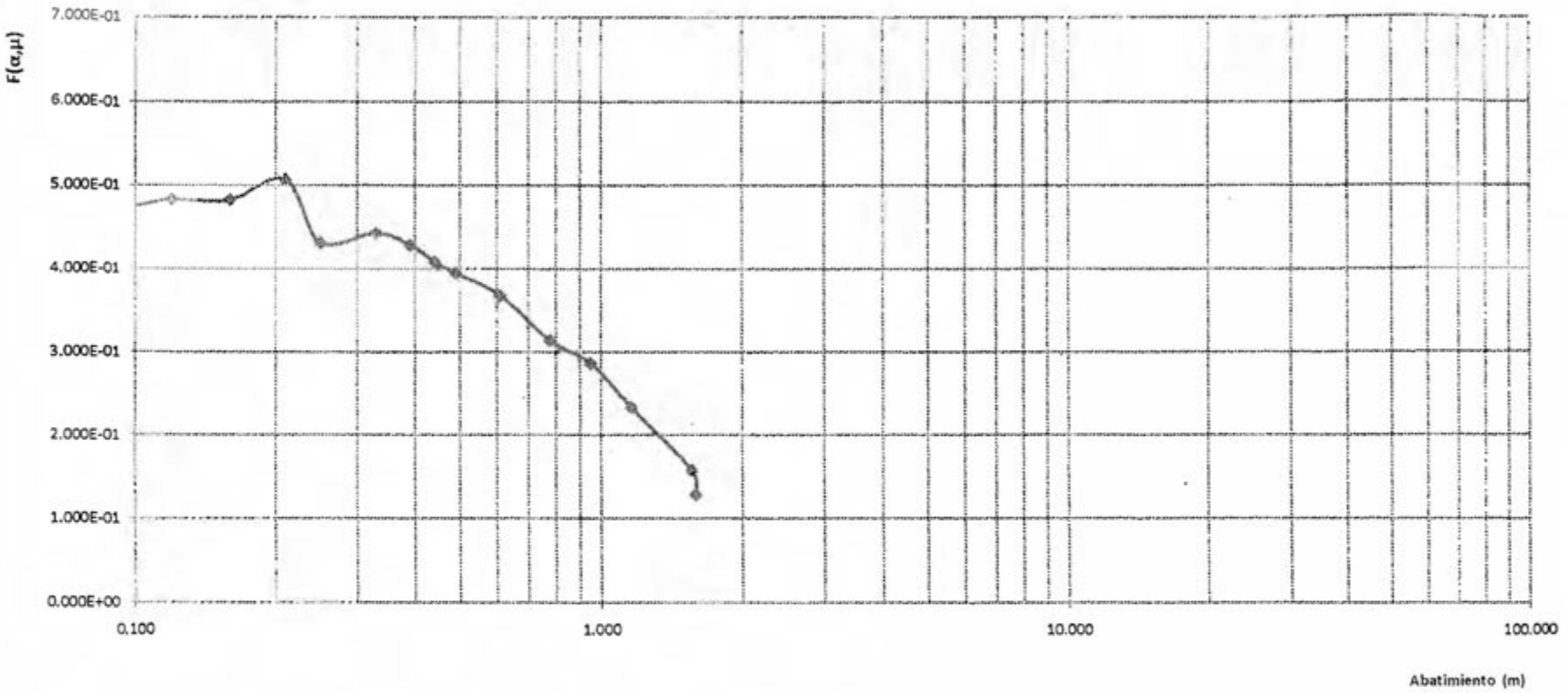
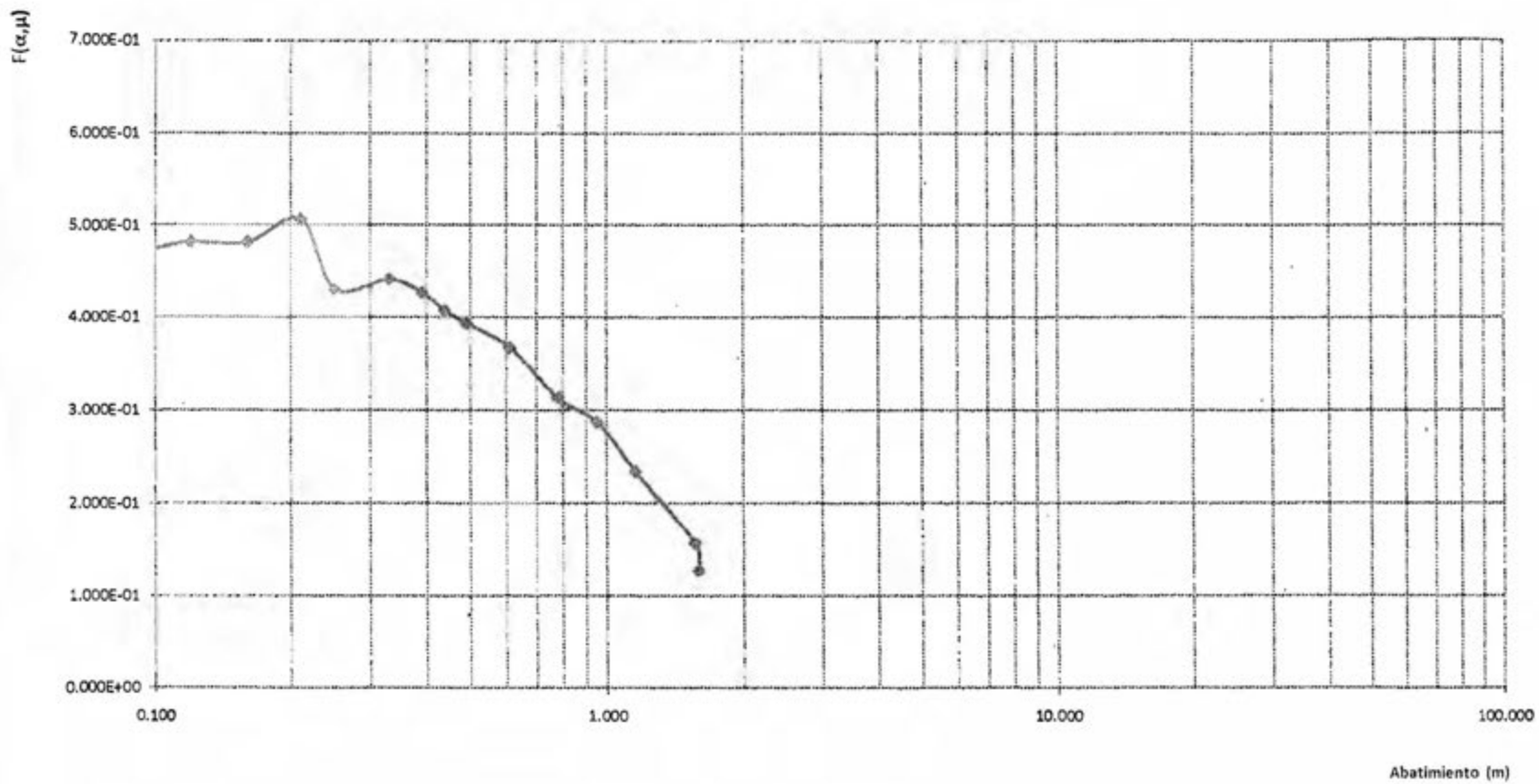


Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #27



Analisis de Prueba de Grán diametro pozo #27

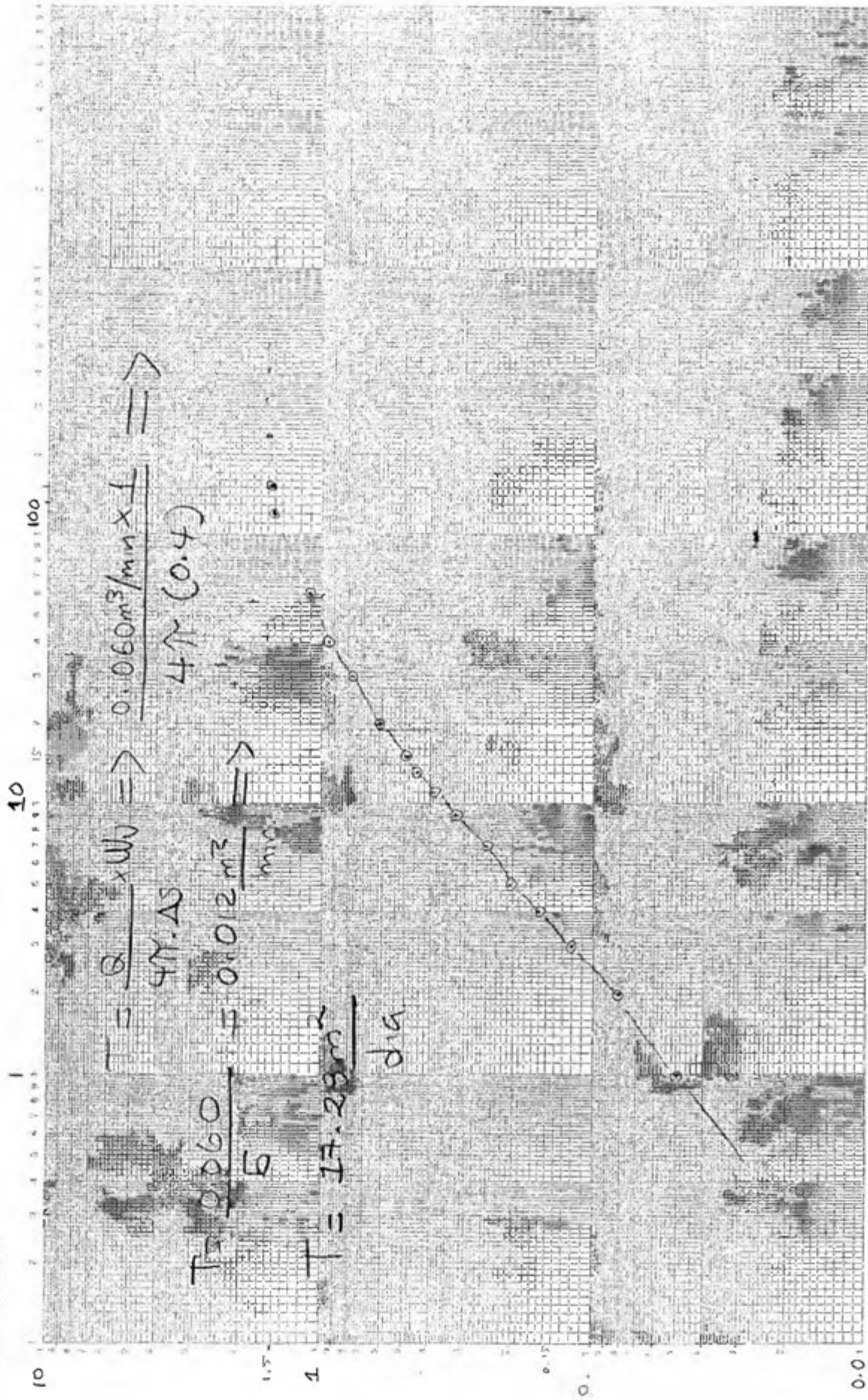


PARA ANALISIS DE
GRAFICO WALTER.

Pozo #27



FOR-GRAT ICGARITMICO • POLICROMIA S.A.
3 X 5 CICLOS COD. 23796



APENDICE 9

1. Resultados de pruebas de infiltración.
2. Resultados de pruebas de laboratorio del muestreo geoquímico.



Fecha de informe: 18 de junio del 2012

Informe No. 3176-12

Atención:
Allan Alan Mora

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Muestra: Agua de pozo 27, Ilsy Alan Mora.

Fecha de análisis: 12-06-2012

Análisis microbiológico	Resultado
Número más probable de coliformes totales	1600 / 100 mL
Número más probable de coliformes fecales	33 / 100 mL
Número más probable de <i>Escherichia coli</i>	33 / 100 mL

PARÁMETRO DE REFERENCIA

REGLAMENTO PARA CALIDAD DE AGUA POTABLE SEGÚN DECRETO EJECUTIVO #32327-S

Parámetro	Unidad	Valor recomendado
Coliformes fecales	NMP / 100mL	Ausente
<i>Escherichia coli</i>	NMP / 100mL	Ausente

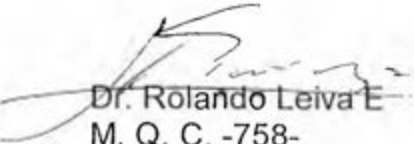
Simbología: NMP / 100 mL = Numero más probable de bacterias en 100 mililitros de agua, por el método de tubos múltiples de fermentación

Notas:

Según el Decreto Ejecutivo #32327-S anterior, esta muestra de agua NO cumple con el parámetro de ausencia de coliformes fecales y *Escherichia coli*, por lo tanto NO es de buena calidad microbiológica.

Muestra transportada por un representante de AQYLA, S.A. a nuestro laboratorio.

Método utilizado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 st.. Ed., 2005.


Dr. Rolando Leiva E
M. Q. C. -758-

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL BIOTROL, S.A.

Tibás, del Periódico la Nación 50 m este y 200 norte, Tels. 2240-4712 ó 2297-2900, Tel. fax 2297-1206.
Apartado postal. 1280-1100. E-mail prelab@racsa.co.cr



Fecha de informe: 15 de junio del 2012

Informe No. 3168-12

Atención:
Allan Alan Mora

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Muestra: Agua de pozo 25, Juan Goldember.

Fecha de análisis: 12-06-2012

Análisis microbiológico	Resultado
Número más probable de coliformes totales	Más de 1 600 / 100 mL
Número más probable de coliformes fecales	94 / 100 mL
Número más probable de <i>Escherichia coli</i>	33 / 100 mL

PARÁMETRO DE REFERENCIA

REGLAMENTO PARA CALIDAD DE AGUA POTABLE SEGÚN DECRETO EJECUTIVO #32327-S

Parámetro	Unidad	Valor recomendado
Coliformes fecales	NMP / 100mL	Ausente
<i>Escherichia coli</i>	NMP / 100mL	Ausente

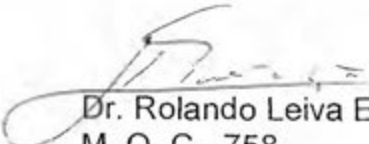
Simbología: NMP / 100 mL = Numero más probable de bacterias en 100 mililitros de agua, por el método de tubos múltiples de fermentación

Notas:

Según el Decreto Ejecutivo #32327-S anterior, esta muestra de agua NO cumple con el parámetro de ausencia de coliformes fecales y *Escherichia coli*, por lo tanto NO es de buena calidad microbiológica.

Muestra transportada por un representante de AQYLA, S.A. a nuestro laboratorio.

Método utilizado: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 st. Ed., 2005.


Dr. Rolando Leiva E
M. Q. C. -758-

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL BIOTROL, S.A.

Tibás, del Periódico la Nación 50 m este y 200 norte, Tels. 2240-4712 ó 2297-2900, Tel. fax 2297-1206.
Apartado postal. 1280-1100. E-mail prelab@racsa.co.cr



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUÍMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N° 18062012 .10

Tipo de muestra: Agua. Pozo 25. Sr Iván Goldember

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,3 ± 0,1
Conductividad, μ .S/cm	512 ± 39
Alcalinidad Total, mg/L	295 ± 13
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	356 ± 15
Dureza total, mg/L	143 ± 4
Dureza de calcio, mg/L	13,2 ± 0,4
Dureza de magnesio, mg/L	130 ± 24
Calcio, mg/L	5,3 ± 0,1
Magnesio, mg/L	31 ± 5
Cloruros, mg/L	15 ± 2
Sulfatos mg/L	2,1 ± 0,1
Sodio	16,6 ± 0,6
Potasio	2,5 ± 0,3

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez M.

Química



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUÍMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .5

Tipo de muestra: Agua. Agua de lluvia . Valle Nambi , Nicoya

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	4,9± 0,1
Conductividad, μ .S/cm	6,1 ± 0,5
Alcalinidad Total, mg/L	Menos de 1
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	Menos de 1
Dureza total, mg/L	2,2 ± 0,06
Dureza de calcio, mg/L	Menos de 1
Dureza de magnesio, mg/L	2,2± 0,4
Calcio, mg/L	Menos de 0,20
Magnesio, mg/L	2,2 ± 0,4
Cloruros, mg/L	1,0 ± 0,1
Sulfatos ,mg/L	3,0 ± 0,2
Sodio , , mg/L	0,21 ± 0,02
Potasio , , mg/L	0,20 ± 0,02

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente

Lic Leonor Rodríguez
Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No.LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUÍMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .7

Tipo de muestra: Agua. Pozo 14. Sr Allan Alan Mora

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,1± 0,1
Conductividad, μ .S/cm	456 ± 35
Alcalinidad Total, mg/L	148 ± 6
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	180 ± 8
Dureza total, mg/L	286 ± 8
Dureza de calcio, mg/L	180 ± 5
Dureza de magnesio, mg/L	106 ± 20
Calcio, mg/L	72 ± 2
Magnesio, mg/L	25 ± 4
Cloruros, mg/L	8,2 ± 0,5
Sulfatos, mg/L	2,1 ± 0,1
Sodio, mg/L	8,7 ± 0,3
Potasio, mg/L	0,84 ± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.
Atentamente,

Leonor Rodríguez M.
Química



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUÍMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .8

Tipo de muestra: Agua. Pozo 26. Sr José Douglas Baltodano

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra : 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,0± 0,1
Conductividad, μ S/cm	371 ± 28
Alcalinidad Total, mg/L	235 ± 10
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	286 ± 12
Dureza total, mg/L	213 ± 6
Dureza de calcio, mg/L	150 ± 4
Dureza de magnesio, mg/L	63 ± 14
Calcio, mg/L	60 ± 1
Magnesio, mg/L	15 ± 2
Cloruros, mg/L	5,1 ± 0,7
Sulfatos mg/L	27 ± 2
Sodio	10,9 ± 0,2
Potasio	0,85 ± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

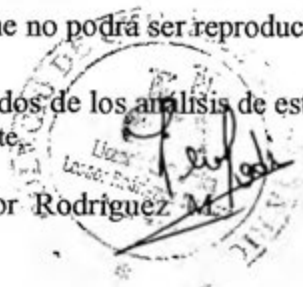
Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez M.

Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUÍMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .9

Tipo de muestra: Agua. Pozo 27. Ilsy Alan Mora

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,6 ± 0,1
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$	427 ± 30
Alcalinidad Total, mg/L	272 ± 12
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	332 ± 14
Dureza total, mg/L	260 ± 7
Dureza de calcio, mg/L	158 ± 5
Dureza de magnesio, mg/L	102 ± 20
Calcio, mg/L	63 ± 2
Magnesio, mg/L	24 ± 4
Cloruros, mg/L	5,1 ± 0,7
Sulfatos, mg/L	32 ± 2
Sodio, mg/L	7,1 ± 0,5
Potasio, mg/L	0,46 ± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Leonor Rodríguez M.

Química



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No.LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .1

Tipo de muestra: Agua. Pozo 23. Sra. Cecilia Torres Zúñiga

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	6,8± 0,1
Conductividad, μ .S/cm	228 ± 17
Alcalinidad Total, mg/L	139 ± 6
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	169 ± 7
Dureza total, mg/L	128 ± 3
Dureza de calcio, mg/L	88 ± 3
Dureza de magnesio, mg/L	40 ± 7
Calcio, mg/L	35 ± 1
Magnesio, mg/L	10 ± 1
Cloruros, mg/L	4,1 ± 2
Sulfatos, mg/L	8,4± 0,5
Sodio, mg/L	6,8± 0,2
Potasio, mg/L	0,36± 0,03

METODOLOGÍA DE ANALISIS Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez M.
Química



Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No.LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AOYLASA
LABORATORIO QUIMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .3

Tipo de muestra: Agua. Pozo 24. Paula Zúñiga

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,2± 0,1
Conductividad, μ S/cm	437 ± 33
Alcalinidad Total, mg/L	276 ± 12
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	336 ± 15
Dureza total, mg/L	260 ± 7
Dureza de calcio, mg/L	187 ± 6
Dureza de magnesio, mg/L	73 ± 3
Calcio, mg/L	75 ± 2
Magnesio, mg/L	17 ± 3
Cloruros, mg/L	5,1 ± 0,7
Sulfatos, mg/L	25 ± 1
Sodio, mg/L	8,6 ± 0,5
Potasio, mg/L	0,51 ± 0,05

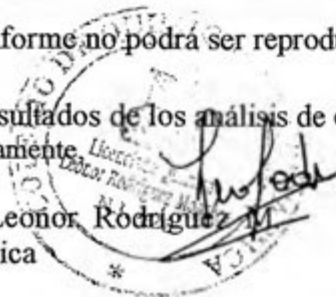
METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente

Lic Leonor Rodríguez M.
Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUIMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .4

Tipo de muestra: Agua. Pozo 13 Sr José María Alan Mora

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,0± 0,1
Conductividad, μ S/cm	512 ± 39
Alcalinidad Total, mg/L	330 ± 14
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	402 ± 18
Dureza total, mg/L	288 ± 8
Dureza de calcio, mg/L	242 ± 7
Dureza de magnesio, mg/L	46 ± 8
Calcio, mg/L	97 ± 2
Magnesio, mg/L	11 ± 2
Cloruros, mg/L	4,1 ± 0,6
Sulfatos mg/L	6,3 ± 0,4
Sodio	7,1 ± 0,2
Potasio	0,42 ± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th. Ed, 2005.

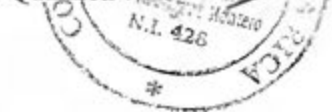
Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic. Leonor Rodríguez

Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUIMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO
Informe N° 17042013

Tipo de muestra: Agua. Naciente # 3. Salitral. Nambi de Nicoya. (Aguas subterráneas)

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 10-04-2013.

Fecha de reporte de análisis: 17-04-2013

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	9,6 ± 0,1
Conductividad, μ S/cm	271 ± 21
Alcalinidad Total, mg/L	92 ± 4
Alcalinidad Parcial, mg/L	23 ± 1
Carbonatos, mg/L	46 ± 2
Bicarbonatos, mg/L	46 ± 2
Dureza total, mg/L	4,3 ± 0,1
Dureza de calcio, mg/L	Menos de 1
Dureza de magnesio, mg/L	4,3 ± 0,8
Calcio, mg/L	Menos de 0,4
Magnesio, mg/L	1,0 ± 0,2
Cloruros, mg/L	17 ± 2
Sulfatos, mg/L	3,1 ± 0,2
Sodio, mg/L	70 ± 2
Potasio, mg/L	0,83 ± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 22 th.Ed, 2012.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez M.
Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No.LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
LABORATORIO QUIMICO Y
DE CONTROL DE CALIDAD
INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .6

Tipo de muestra: Agua. Naciente 8 Rodolfo Mora Garro

Interesado. . Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	8,3± 0,1
Conductividad, μ S/cm	326 ± 25
Alcalinidad Total, mg/L	145 ± 6
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	177 ± 8
Dureza total, mg/L	57 ± 1
Dureza de calcio, mg/L	44 ± 1
Dureza de magnesio, mg/L	13 ± 2
Calcio, mg/L	18 ± 1
Magnesio, mg/L	3,1 ± 0,5
Cloruros, mg/L	20 ± 3
Sulfatos ,mg/L	15 ± 1
Sodio , mg/L	8,7 ± 0,5
Potasio, mg/L	0,94 ± 0,04

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez
Química



Laboratorio de Ensayo
 Alcance de Acreditación No.LE-003
 Acreditado a partir de: 25.03.1998
 Alcance disponible en www.eca.or.cr



AQYLASA
 LABORATORIO QUIMICO Y
 DE CONTROL DE CALIDAD
 INDUSTRIAL

Telefax: 22723159
 E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012

Tipo de muestra: Agua. Naciente 9. Sr Iván Goldember

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	6,1± 0,1
Conductividad, μ .S/cm	89 ± 4
Alcalinidad Total, mg/L	44 ± 2
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	54 ± 2
Dureza total, mg/L	35 ± 1
Dureza de calcio, mg/L	24 ± 1
Dureza de magnesio, mg/L	59 ± 11
Calcio, mg/L	9,6 ± 0,7
Magnesio, mg/L	14 ± 2
Cloruros, mg/L	2,0 ± 0,1
Sulfatos ,mg/L	4,2 ± 0,2
Sodio ,mg/L	7,59± 0,06
Potasio , mg/L	0,63± 0,05

METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic Leonor Rodríguez
 Química





Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación No. LE-003
Acreditado a partir de: 25.03.1998
Alcance disponible en www.eca.or.cr



Telefax: 22723159
E-mail: aqylasa@ice.co.cr

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

Informe N°18062012 .2

Tipo de muestra: Agua. Naciente 6 Sr Chino La Tranquera

Interesado. Geólogo Allan Alan Mora

Fecha de recibo de muestra: 11-06-2012.

Fecha de reporte de análisis: 18-06-2012

Parámetro analizado	Valor reportado
pH	7,6 ± 0,1
Conductividad, μ S/cm	436 ± 33
Alcalinidad Total, mg/L	287 ± 12
Carbonatos, mg/L	0,0
Bicarbonatos, mg/L	350 ± 15
Dureza total, mg/L	202 ± 5
Dureza de calcio, mg/L	170 ± 5
Dureza de magnesio, mg/L	32 ± 6
Calcio, mg/L	68 ± 2
Magnesio, mg/L	8 ± 1
Cloruros, mg/L	4,1 ± 0,6
Sulfatos mg/L	8,4 ± 0,5
Sodio ,mg/L	8,4 ± 0,2
Potasio, mg/L	0,77 ± 0,05

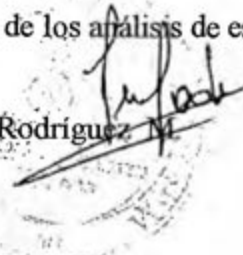
METODOLOGÍA DE ANALISIS. Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21 th.Ed, 2005.

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLA, S.A.

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente,

Lic. Leonor Rodríguez
Química



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



Resultados de análisis de agua 2016

N° LGQ	Código original	Turbiedad
LGO160229-01	G79	0,30
LGO160229-02	P53	0,52
LGO160229-03	S47	1,47
LG 160229-04	Blanco de campo, 3	0,29
LGO160428-LB	Blanco de laborato	0,00

Turbiedad en NTU. Medida con equipo OAKTON T-100 el 28 de abril



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



Resultados de análisis de agua 2016
IF001 versión 400.0 del 2016.08.19 -jgc.

F16-04

LGQ160229-01

G79

Código del Laboratorio de Geoquímica

Código origen

Solicitante **F16-04** Inv. Acuíferos B5169

Fecha de toma (dd/mm/aa)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	OD (mg/L)	ORP (mV)		
	(8,24 \pm 0,01)	(315,00 \pm 0,01)	25,1	(4,50 \pm 0,03)			
Fluoruro (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrato (mg/L)		Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
(0,3 \pm 0,1)	(1,9 \pm 0,2)	< 0,9		(2,0 \pm 0,8)	< 2,2	(2,7 \pm 0,8)	
Litio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Amonio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)		Electro neutralidad error
< 0,14	(17,6 \pm 0,2)	< 0,2	< 0,3	(58,6 \pm 0,5)	(2,1 \pm 0,3)		0
Dureza cálcica ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Dureza magnésica ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Dureza total ($\text{Ca}+\text{Mg}$) ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad OH/CO ₃ ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad HCO ₃ ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
146	9	155	(27,4 \pm 0,421733322358605)	(306,8 \pm 0,421733322358605)	(334,2 \pm 0,421733322358605)	(16,4 \pm 0,421733322358605)	(187,0 \pm 0,421733322358605)

Observaciones

Las muestras fueron traídas al laboratorio por Ingrid Vargas el 29 de febrero del 2016 en frascos de polipropileno y se transportaron en frío hasta el laboratorio de se conservaron a 7°C (Cámara de refrigeración Wimmer WV890* UCR187199) hasta el momento del análisis. El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno disuelto se midieron ex situ con un medidor multiparamétrico Thermo Orion 5 Star* UCR321339. Los análisis ex situ se hicieron en el Laboratorio de Geoquímica Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. La alcalinidad se determinó día 28 de abril del 2016, por volumetría usando fenofitalcina y anaranjado de metilo como indicadores. Las concentraciones de iones se determinaron por cromatografía iónica con detector de conductividad (con equipos Metrohm Compact IC Pro* UCR306364 y UCR313765) el 10 y 11 de marzo del 2016. Los valores de dureza se estimaron a partir de las concentraciones de calcio y magnesio. Para diluir se usó una balanza Sartorius Cubis* UCR350141. Como blanco de laboratorio se usó agua con resistividad 18,2 M Ω -cm obtenida de ultrapurificador Milli-Q Direct 8* UCR323671. CE: conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; T: temperatura.



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



F16-04

Resultados de análisis de agua 2016
 IF001 versión 400.0 del 2016.08.19 -jgc.

LGQ160229-02

P53

Código del Laboratorio de Geoquímica

Código origen

Solicitante **F16-04** Inv. Acuíferos B5169

Fecha de toma (dd/mm/aa)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	OD (mg/L)	ORP (mV)		
	(8,33 \pm 0,01)	(280,50 \pm 0,01)	25,1	(4,17 \pm 0,03)			
Fluoruro (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
(1,9 \pm 0,1)	(15,4 \pm 0,2)	< 0,9		< 1,5	< 2,2	(17,1 \pm 0,8)	
Litio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Amonio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)		Electro neutralidad (%)
< 0,14	(63 \pm 1) \times 1	< 0,2	< 0,3	(2,4 \pm 0,16)	< 0,6		1
Dureza cálcica ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Dureza magnésica ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Dureza total ($\text{Ca}+\text{Mg}$) ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Alcalinidad OH/CO_3 ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Alcalinidad HCO_3 ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Alcalinidad total ($\text{mg}/\text{L}-\text{CaCO}_3$)	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
6	0	6	(10,5 \pm 0,421733322358 605)	(183,5 \pm 0,421733322358 605)	(194,0 \pm 0,421733322358 605)	(6,3 \pm 0,421733322358 605)	(111,8 \pm 0,421733322358 605)

Observaciones

Las muestras fueron traídas al laboratorio por Ingrid Vargas el 29 de febrero del 2016 en frascos de polipropileno y se transportaron en frío hasta el laboratorio donde se conservaron a 7°C (Cámara de refrigeración Wimmer WV890® UCR187199) hasta el momento del análisis. El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno disuelto se midieron ex situ con un medidor multiparamétrico Thermo Orion 5 Star® UCR321339. Los análisis ex situ se hicieron en el Laboratorio de Geoquímica Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. La alcalinidad se determinó día 28 de abril del 2016, por volumetría usando fenoftaleína y anaranjado de metilo como indicadores. Las concentraciones de iones se determinaron por cromatografía iónica con detector de conductividad (con equipos Metrohm 8 Compact IC Pro® UCR306364 y UCR313765) el 10 y 11 de marzo del 2016. Los valores de dureza se estimaron a partir de las concentraciones de calcio y magnesio. Para diluir se usó una balanza Sartorius Cubis® UCR350141. Como blanco de laboratorio se usó agua con resistividad 18,2 M Ω -cm obtenida de ultrapurificador Milli-Q Direct 8® UCR323671. CE: conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; T: temperatura.



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



F16-04

Resultados de análisis de agua 2016
IF001 versión 400.0 del 2016.08.19 -jgc.

LGQ160229-03

S47

Código del Laboratorio de Geoquímica

Código origen

Solicitante **F16-04** Inv. Acuíferos B5169

Fecha de toma (dd/mm/aa)	pH pH	CE (μ S/cm)	T (°C)	OD (mg/L)	ORP (mV)		
	(8,31 \pm 0,01)	(320,00 \pm 0,01)	25,4	(4,42 \pm 0,03)			
Fluoruro (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
(2,6 \pm 0,1)	(22,1 \pm 0,3)	< 0,9		< 1,5	< 2,2	(22,9 \pm 0,8)	
Litio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Amonio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)		Electro neutralidad % error
< 0,14	(71 \pm 1) \times 1	< 0,2	< 0,3	(2,6 \pm 0,16)	< 0,6		0
Dureza cálcica (mg/L CaCO ₃)	Dureza magnésica (mg/L CaCO ₃)	Dureza total (Ca+Mg) (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad OH/CO ₃ (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad HCO ₃ (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
7	0	7	(8,4 \pm 0,421733322358 605)	(179,2 \pm 0,421733322358 605)	(187,7 \pm 0,421733322358 605)	(5,1 \pm 0,421733322358 605)	(109,3 \pm 0,4217333223 605)

Observaciones

Las muestras fueron traídas al laboratorio por Ingrid Vargas el 29 de febrero del 2016 en frascos de polipropileno y se transportaron en frío hasta el laboratorio do se conservaron a 7°C (Cámara de refrigeración Wimmer WV890[®] UCR187199) hasta el momento del análisis. El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno disuelto se midieron ex situ con un medidor multiparamétrico Thermo Orion 5 Star[®] UCR321339. Los análisis ex situ se hicieron en el Laboratorio de Geoquímica Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. La alcalinidad se determinó día 28 de abril del 2016, por volumetría usando fenofitaína y anaranjado de metilo como indicadores. Las concentraciones de iones se determinaron por cromatografía iónica con detector de conductividad (con equipos Metrohm Compact IC Pro[®] UCR306364 y UCR313765) el 10 y 11 de marzo del 2016. Los valores de dureza se estimaron a partir de las concentraciones de calcio y magnesio. Para diluir se usó una balanza Sartorius Cubis[®] UCR350141. Como blanco de laboratorio se usó agua con resistividad 18,2 M Ω -cm obtenida de ultrapurificador Milli-Q Direct 8[®] UCR323671. CE: conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; T: temperatura.



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



F16-04

Resultados de análisis de agua 2016
IF001 versión 400.0 del 2016.08.19 -jgc.

LGQ160229-04

Blanco de campo, 18,2 MΩm-cm

Código del Laboratorio de Geoquímica

Código origen

Solicitante **F16-04 Inv. Acuíferos B5169**

Fecha de toma (dd/mm/aa)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	OD (mg/L)	ORP (mV)		
	(8,06 ± 0,01)	(2,82 ± 0,01)	25,0	(4,75 ± 0,03)			
Fluoruro (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
< 0,21	< 0,4	< 0,9		< 1,5	< 2,2	< 1,6	
Litio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Amonio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)		Electro neutralidad error
< 0,14	< 0,3	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,6		100
Dureza cálcica ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Dureza magnésica ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Dureza total (Ca+Mg) ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad OH/CO ₃ ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad HCO ₃ ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Alcalinidad total ($\text{mg}/\text{L CaCO}_3$)	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
0	0	0	< 0,2	(5,8 ± 0,421733322358 605)	(5,8 ± 0,421733322358 605)	< 0,21	(3,5 ± 0,4217333223 605)

Observaciones	
----------------------	--

Las muestras fueron traídas al laboratorio por Ingrid Vargas el 29 de febrero del 2016 en frascos de polipropileno y se transportaron en frío hasta el laboratorio de conservación a 7°C (Cámara de refrigeración Wimmer WV890° UCR187199) hasta el momento del análisis. El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno disuelto se midieron ex situ con un medidor multiparamétrico Thermo Orion 5 Star° UCR321339. Los análisis ex situ se hicieron en el Laboratorio de Geoquímica Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. La alcalinidad se determinó día 28 de abril del 2016, por volumetría usando fenoftaleína y anaranjado de metilo como indicadores. Las concentraciones de iones se determinaron por cromatografía iónica con detector de conductividad (con equipos Metrohm Compact IC Pro° UCR306364 y UCR313765) el 10 y 11 de marzo del 2016. Los valores de dureza se estimaron a partir de las concentraciones de calcio y magnesio. Para diluir se usó una balanza Sartorius Cubis° UCR350141. Como blanco de laboratorio se usó agua con resistividad 18,2 MΩ-cm obtenida de ultrapurificador Milli-Q Direct 8° UCR323671. CE: conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; T: temperatura.



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Escuela Centroamericana de Geología
Laboratorio de Geoquímica



F16-04

Resultados de análisis de agua 2016
 IF001 versión 400.0 del 2016.08.19 -jgc.

LGQ160428-LB

Blanco de laboratorio 18,2 MΩ-cm

Código del Laboratorio de Geoquímica

Código origen

Solicitante **F16-04** Inv. Acuíferos B5169

Fecha de toma (dd/mm/aa)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	OD (mg/L)	ORP (mV)		
	(8,94 ± 0,01)	(3,52 ± 0,01)	28,4	(3,02 ± 0,03)			
Fluoruro (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
< 0,21	< 0,4	< 0,9		< 1,5	< 2,2	< 1,6	
Litio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Amonio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)		Electro neutralidad error
< 0,14	< 0,3	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,6		100
Dureza cálcica (mg/L CaCO ₃)	Dureza magnésica (mg/L CaCO ₃)	Dureza total (Ca+Mg) (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad OH/CO ₃ (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad HCO ₃ (mg/L CaCO ₃)	Alcalinidad total (mg/L CaCO ₃)	Carbonatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)
0	0	0	< 0,2	(9,5 ± 0,421733322358 605)	(9,5 ± 0,421733322358 605)	< 0,21	(5,8 ± 0,4217333223 605)

Observaciones	
----------------------	--

Las muestras fueron traídas al laboratorio por Ingrid Vargas el 29 de febrero del 2016 en frascos de polipropileno y se transportaron en frío hasta el laboratorio donde se conservaron a 7°C (Cámara de refrigeración Wimmer WV890[®] UCR187199) hasta el momento del análisis. El pH, la temperatura, la conductividad y el oxígeno disuelto se midieron ex situ con un medidor multiparamétrico Thermo Orion 5 Star[®] UCR321339. Los análisis ex situ se hicieron en el Laboratorio de Geoquímica Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. La alcalinidad se determinó día 28 de abril del 2016, por volumetría usando fenoftaleína y anaranjado de metilo como indicadores. Las concentraciones de iones se determinaron por cromatografía iónica con detector de conductividad (con equipos Metrohm: Compact IC Pro[®] UCR306364 y UCR313765) el 10 y 11 de marzo del 2016. Los valores de dureza se estimaron a partir de las concentraciones de calcio y magnesio. Para diluir se usó una balanza Sartorius Cubis[®] UCR350141. Como blanco de laboratorio se usó agua con resistividad 18,2 MΩ-cm obtenida de ultrapurificador Millipore Milli-Q Direct 8[®] UCR323671. CE: conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; T: temperatura.

ID	pH	Alcalinidad total	Conductividad	Carbonatos	Bicarbonatos	Dureza total	Dureza calcio	Dureza Magnesio	Calcio	Magnesio	Cloruros	Sulfatos	Sodio	Potasio	TDS
Agua lluvia	4.90	0.50	6.10	0.00	0.50	2.20	0.50	2.20	0.10	2.20	1.00	3.00	0.21	0.20	7.20
Manantial 8	8.30	145.00	326.00	0.00	177.00	57.00	44.00	13.00	18.00	3.10	20.00	15.00	8.70	0.94	242.70
Pozo 14	7.10	148.00	456.00	0.00	180.00	286.00	180.00	106.00	72.00	25.00	8.20	2.10	8.70	0.84	296.80
Pozo 26	7.00	235.00	371.00	0.00	286.00	213.00	150.00	63.00	60.00	15.00	5.10	27.00	10.90	0.85	404.90
Pozo 27	7.60	272.00	427.00	0.00	332.00	260.00	158.00	102.00	63.00	24.00	5.10	32.00	7.10	0.46	463.70
Pozo 25	7.30	295.00	512.00	0.00	356.00	143.00	13.20	130.00	5.30	31.00	15.00	2.10	16.60	2.50	428.50
Manantial 9	6.10	44.00	89.00	0.00	54.00	35.00	24.00	59.00	9.60	14.00	2.00	4.20	7.59	0.63	92.00
Pozo 23	6.80	139.00	228.00	0.00	169.00	128.00	88.00	40.00	35.00	10.00	4.10	8.40	6.80	0.36	233.70
Manantial 6	7.60	287.00	436.00	0.00	350.00	202.00	170.00	32.00	68.00	8.00	4.10	8.40	8.40	0.77	447.70
Pozo 24	7.20	276.00	437.00	0.00	336.00	260.00	187.00	73.00	75.00	17.00	5.10	25.00	8.60	0.51	467.20
Pozo 13	7.00	330.00	512.00	0.00	402.00	288.00	242.00	46.00	97.00	11.00	4.10	6.30	7.10	0.42	527.90
Manantial 3	9.60	92.00	271.00	46.00	46.00	4.30	0.90	4.30	0.35	1.00	17.00	3.10	70.00	0.83	184.30
Manantial 10	8.31	187.70	320.00	5.10	109.30	7.00	7.00	0.00	2.60	0.50	22.10	22.90	71.00	0.20	457.00
Media	7.21	188.63	339.26	3.83	224.04	156.54	104.80	55.88	41.95	13.44	7.57	11.38	13.39	0.78	316.38
Desviacion promedio a pie	1.08	103.83	155.93	12.71	132.52	105.43	82.12	39.57	32.87	9.15	5.97	10.30	17.42	0.57	158.87
Desviacion promedio	0.73	93.88	129.37	7.03	119.63	94.96	76.37	32.96	30.55	7.56	4.99	8.91	9.97	0.35	140.27
coeficiente de variacion	10	50	38	183	53	61	73	59	73	56	66	78	74	45	44

cationes	mg/litro	% cationes
calcio	503.35	13.26
magnesio	161.30	4.25
sodio	160.70	4.23
potasio	9.31	0.25
total Cationes	834.66	21.98
Aniones	mg/litro	% cationes
carbonatos	46.00	1.21
bicarbonatos	2688.50	70.81
sulfatos	136.60	3.60
cloruros	90.80	2.39
total Aniones	2961.90	78.02
total de iones	3796.56	
cation	peso molecular	
Calcio (g)	40.00	
concentracion mg/lit	54.00	
concentracion g	0.05	
concentracion mol	1.35E-03	
carga del ion	2.00	
meq/litro	2.70	

Cuadro estadístico, muestreo geoquímico de las aguas encontradas en la zona de estudio

Parámetros máximos aceptables para calidad de agua de consumo humano (Reglamento N° 32327-S, Costa Rica)

	Valor recomendado	Valor admisible
PH	6.5	8.5
Conductividad (µS/cm)	400	
Coliformes fecales	Ausente	
Escherichia coli	Ausente	
Dureza total mg/litro (CaCO ₃)	400	500
Cloruros (mg/litro)	25	250
Fluoruros (mg/litro)		0.7 a 1.5*
Nitrato (mg/litro)	25	50
Sulfato (mg/litro)	25	250
Aluminio (mg/litro)	0.2	
Calcio (mg/litro)	100	
Magnesio (mg/litro)	30	50
Sodio (mg/litro)	25	200
Potasio (mg/litro)		10
Hierro (mg/litro)		0.3
Manganeso (mg/litro)	0.1	0.5
Zinc (mg/litro)		3.0
Cobre (mg/litro)	1.0	2.0
Plomo (mg/litro)		0.01

* 1.5 mg/litro para temperaturas de 8 a 12 °C y 0.7 mg/litro para temperaturas de 25 a 30 °C

Valores que exceden los parámetros de calidad de agua