

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS
ACUÍFEROS UBICADOS EN EL NORESTE DE LA POBLACIÓN
DE CHAGUARAMAS, EN EL MUNICIPIO LIBERTADOR,
ESTADO MONAGAS, VENEZUELA”**

**TRABAJO DE GRADO
PRESENTADO POR LAS
BACHILLERES LUZQUEMAR
GUEVARA Y
LUZQUEMAYERLIN
GUEVARA, PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO DE 2023



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “**CHARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS EN EL NORESTE DE LA POBLACIÓN DE CHAGUARAMAS, EN EL MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA**” presentado por las bachilleres **LUZQUEMAR A. GUEVARA D.** y **LUZQUEMAYERLIN A. GUEVARA D.**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:	Firma:
<u>Prof. Dafnis Echeverría</u> (Asesor)	_____
<u>Prof. Juan España</u> (Jurado)	_____
<u>Profa. Beatriz Echeverría</u> (Jurado)	_____

Profesor Francisco Monteverde
Jefe de Depto de Ingeniería Geológica
Tierra

Profesor Francisco Monteverde
Director de la Esc. de Ciencias de la

Ciudad Bolívar _____ de Junio 2023

DEDICATORIA

Primeramente a Dios Todopoderoso, el forjador de mi camino, quien me acompaña y siempre me levanta.

A mis padres Luzquelis y Randor, y a mi abuela mamá Raquel, por su apoyo incondicional durante todos estos años; por sus consejos, comprensión, amor, aliento y ayuda en los momentos difíciles. Gracias por ser mi pilar y mi respaldo para culminar esta etapa de mi vida.

A mi amor Ronald, quién ha sido mi soporte en todo momento, por siempre creer en mí y apoyarme. Agradezco todo tu amor, esfuerzo y lucha para que hoy yo pudiera cumplir este sueño.

A mis hijos Santiago y Aruna, y a mis sobrinos Ema y Thiago, quienes han sido mi inspiración y mi más grande motivo para superarme. Este logro es por ellos y para ellos.

A mis hermanos Luzquemayerlin, Jesús Ernesto y Andrés; a mis tíos Ovel, Alex, Sobella, Lila, María Leonor y a tí Maritza Barreto.

Luzquemar A. Guevara D

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por guiar mis pasos siendo mi ancla en todo momento. A quien le agradezco haberme dado la oportunidad de alcanzar esta meta en mi vida.

A mis padres, por enseñarme el valor de la perseverancia y la determinación. Gracias por su paciencia y por acompañarme en cada paso de este camino. Esta tesis es un homenaje a su amor, dedicación y sacrificio.

A mi ángel eterno Jheison Medina, este logro es tan tuyo como mío, ya no te encuentras en este plano terrenal pero estoy segura que habrías alcanzado esta meta como hoy la estoy alcanzando yo porque fui testigo de tus enormes ganas de estudiar y comerte el mundo pero Dios tenía un mejor plan para ti y decidió que te fueras con él. Vivirás en mi memoria por siempre y para siempre.

A mi hija Ema Isabel, que aunque llegaste a mi vida al final de este camino eres mi inspiración para todo lo nuevo que está por venir y mi motor para salir adelante. Este logro también es por ti y para ti gorda, te amo.

A mi Team, por enseñarme el valor de la amistad y el compañerismo. Gracias por los momentos compartidos, por las cosas buenas y las no tan buenas. Estoy segura que escogí el mejor grupo de estudio.

A mis hermanos Luzquemar y Jesús Ernesto, tíos, primos, abuelos, a mis sobrinos Thiago, Santiago y Aruna, a mi amiga Perlina Ramona y también a todas y cada una de esas personas que directa o indirectamente fueron parte de este camino que hoy llega al final. A todos ustedes GRACIAS INFINITAS.

Luzquemayerlin A. Guevara D

AGRADECIMIENTOS

A las instalaciones de la Universidad de Oriente por acogernos durante nuestra preparación académica, donde nos encontramos con profesores y personas maravillosas.

A nuestra madre Luzquelis Díaz por su persistencia y por creer en nosotras.

A nuestro tutor de tesis, Ing Dafnis Echeverría, por ser muy paciente, dispuesto y tolerante.

Gracias a todos esos amigos, compañeros y profesores que fueron partícipes de este logro.

Luzquemar A. Guevara D.

Luzquemayerlin A. Guevara D.

RESUMEN

La siguiente investigación tiene por objeto principal caracterizar hidrogeológicamente los acuíferos de la zona noreste de la población de Chaguaramas del estado Monagas. Para ello se procederá siguiendo la metodología de una investigación de nivel descriptivo con un diseño de campo y experimental para lo cual se deberán caracterizar las condiciones geológicas y fisiográficas; asimismo, se dimensiona espacialmente el acuífero que ocupa el área de estudio, también se determinan los patrones de flujo preferencial de las aguas subterráneas en la zona y se establece la secuencia de los estratos que constituyen el acuífero. Entre los resultados más relevantes obtenidos es necesario resaltar que los sedimentos predominantes en la zona son de edad Reciente e hidrogeológicamente pertenecen a la Provincia de los Llanos orientales caracterizados por la presencia de acuíferos libres constituidos por arenas gruesas a finas. Los patrones preferenciales de flujo son convergentes hacia el sur aunque existe una divisoria de aguas que drena aguas hacia el noreste. La estratigrafía indica que el espesor de los acuíferos varía entre 30 y 40 metros aproximadamente

Palabras clave: Acuífero, flujo subterráneo, transmisibilidad de estratos

CONTENIDO

Página

HOJA DE APROBACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE APÈNDICES	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 Justificación de la investigación	4
1.4 Alcances de la investigación	5
1.5 Limitaciones de la investigación	5
CAPÍTULO II	6
GENERALIDADES	6
2.1. Descripción del área de estudio	6
2.1.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio.....	6
2.1.2 Características del área de estudio	8
2.2. Geología Regional	20
2.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela	20
CAPÍTULO III	22
MARCO TEÓRICO	22
3.1. Antecedentes.....	22
3.2. Bases Teóricas	24
3.2.1 Acuíferos	24
3.2.2 Estructura de un Acuífero	25

3.2.3. Tipos de acuíferos	25
3.2.4 Balance hídrico.....	32
3.2.5 Balance de suelos	32
3.2.6 Infiltración.....	32
3.2.7 Coeficiente de infiltración.....	33
3.2.8 Precipitación.....	34
3.2.9 Condensación	34
3.2.10 Evaporación.....	35
3.2.11 Transpiración.....	35
3.2.12 Evapotranspiración.....	36
3.2.13 Fracción de lluvia interceptada por el follaje.....	37
3.2.14 Escorrentía.....	38
3.2.15 Escorrentía superficial.....	38
3.2.16 Escorrentía directa.....	38
3.2.17 Escorrentía subterránea	38
3.2.18 Escurrimiento	39
3.2.19 Tiempo de concentración	39
3.2.20 Tipos de aguas.....	39
3.2.21 Humedad del suelo	43
3.2.22 Humedad equivalente.....	43
3.2.23 Capacidad de campo	43
3.2.24 Punto de marchitez permanente	44
3.2.25 Nivel freático.....	44
3.2.26 Polígonos de Thiessen.....	45
3.2.27 Aguas subterráneas.....	46
3.2.28 Movimiento del agua Subterránea	48
3.2.29 Modificaciones del sistema de agua subterránea y sus efectos	49
3.2.31 ¿Cómo fluye el agua subterránea?	50
3.2.32 Calidad de las Aguas Subterráneas	51
3.2.33 Relación entre agua subterránea y agua superficial	52
3.2.34 Contaminación de los Acuíferos	53
3.2.35 Caracterización geológica de los yacimientos	54
3.2.36 Correlación.....	56
3.2.37 Terminología general en las medidas de los registros	57
3.2.38 Mapas geológicos.....	58
3.2.39 Cuenca hidrográfica	61
3.2.40 Sondeos eléctricos verticales.....	67
CAPÍTULO IV	70
METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	70
4.1 Tipos de investigación.....	70

4.2	Diseño de la investigación.....	71
4.3	Población de la investigación	72
4.4	Muestra de la investigación	72
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	72
4.5.1	Observación directa.....	73
4.5.2	Revisión Bibliográfica	73
4.5.3	Equipos utilizados	73
4.6	Flujograma de la investigación.....	74
4.6.1	Búsqueda y revisión de información.....	75
4.6.2	Delimitación del área de estudio	75
4.6.3	Determinación de parámetros	76
4.6.4	Caracterización del mapa de cuencas hidrográficas.....	87
4.6.5	Ubicación de pozos con SEV	89
4.6.6	Elaboración y correlación de columnas litoestratigráficas y de SEV	89
4.6.7	Elaboración de mapas	90
CAPÍTULO V	92
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	92
5.1	Caracterización climática de la zona de estudio.....	92
5.1.1	Clima	92
5.1.2	Precipitación.....	94
5.1.3	Evaporación.....	96
5.1.4	Temperatura	97
5.1.5	Insolación	98
5.1.6	Humedad Relativa	99
5.1.7	Vientos	99
5.2	Características de la infiltración en el área de estudio	100
5.3	Correlación y análisis de los resultados de los sondeos eléctricos verticales.....	102
5.3.1	Lote GR.....	102
5.3.2	Lote PI.....	103
5.3.3	Lote PA	103
5.3.4	Lote GE	103
5.3.5	Lote PP.....	104
5.4	Construcción del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero	104
CONCLUSIONES		Y
RECOMENDACIONES104	
Conclusiones.....		105
Recomendaciones.....		106

REFERENCIAS 110
APENDICES.....113

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación de área de estudio (CVG TECMIN 2009).....	6
2.2 Ubicación regional del área de estudio (CVG TECMIN 2009).....	7
2.3 Mapa del área de estudio (CVG TECMIN 2009).....	8
2.4 Vegetación de mangles (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).....	12
2.5 Mono Araguato. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).	13
2.6 Guácharo. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).....	13
2.7 Río Guarapiche (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2012)	15
3.1 Tipos de acuíferos y niveles piezométricos. (Custodio y Llamas, 1996)...	30
3.2 Aguas termales de Moisés Venezuela. (CORPOVEN, 1991).	41
3.3 Fuentes Puntuales y Difusas de Contaminación de las Aguas Subterráneas (Echarri, L., 1988).....	55
3.4 Diagrama que muestra la terminología general de medidas de registros. (PDVSA-CIED, 1997).....	61
4.1 Flujograma de la Investigación.....	78

LISTA DE TABLAS

	Página
3.1 Componentes del coeficiente de infiltración (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).....	35
3.2 Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Grassi, 1976), en (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).....	38
4.1 Componentes del coeficiente de infiltración (Schosinsky y Losilla, 2000..	50
4.2 Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelo (Grassi, 1976).....	87
4.3 Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Grassi, 1976).....	89
5.1 Características de las estaciones utilizadas. CVG-TECMIN, 2009.....	102
5.2 Distribución superficial de los tipos de vegetación.....	107
5.3 Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal para cada lote de granjas.....	109
5.4 Fracción que infiltra por efecto de pendiente para cada lote de terreno...	111
5.5 Modelo de correlación hidrogeológico descriptivo.....	120

LISTA DE APÉNDICES

		Página
B	ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	146
B.1	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 1, realizado en las coordenadas N940642 y E535784.....	147
B.2	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 2, realizado en las coordenadas n940642 y e535784.....	147
B.3	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 3, realizado en las coordenadas N944649 y E532502.....	148
B.4	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 4, realizado en las coordenadas N945689 y E539835.....	148
B.5	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 5, realizado en las coordenadas N542170 y E944690.....	149
B.6	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 6, realizado en las coordenadas N945736 y E545510.....	149
B.7	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 7, realizado en las coordenadas N950372 y E525898.....	150
B.8	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 8, realizado en las coordenadas N951767 y E534095.....	150
B.9	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 9, realizado en las coordenadas N947811 y E529746.....	151
B.10	Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 10, realizado en las coordenadas N927696 y E517996.....	151
C	UBICACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	152
C.1	Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, Planta de incubación.	153
C.2	Figura Ubicación relativa de los SEV en la planta de incubación.....	153
C.3	Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, Planta de alimentos balanceados.....	153
C.4	Figura Ubicación relativa de los SEV en la planta de alimentos balanceados.....	154
C.5	Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, Planta de engorde.....	154
C.6	Figura Ubicación relativa de los SEV en la planta de engorde.....	156
C.7	Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, Plan piloto.....	157
C.8	Figura Ubicación relativa de los SEV en el área del plan piloto.....	158
C.9	Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, Granjas reproductoras.	159
C.10	Figura Ubicación relativa de los SEV en las granjas reproductoras.....	160
D	CORRELACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS	161

	VERTICALES.....	
D.1	Tabla Correlación Norte-Sur, granjas reproductoras 1.....	162
D.2	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 1, sentido Norte-Sur.....	162
D.3	Tabla Correlación Oeste-Este, granjas reproductoras 1.....	163
D.4	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 1, sentido Oeste-Este.....	163
D.5	Tabla Correlación Norte-Sur, granjas reproductoras 2.....	164
D.6	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 2, sentido Norte-Sur.....	164
D.7	Tabla Correlación Oeste-Este, granjas reproductoras 2.....	165
D.8	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 2, sentido Oeste-Este.....	165
D.9	Tabla Correlación Norte-Sur, granjas reproductoras 3.....	166
D.10	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 3, sentido Norte-Sur.....	166
D.11	Tabla Correlación Oeste-Este, granjas reproductoras 3.....	167
D.12	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 3, sentido Oeste-Este.....	167
D.13	Tabla Correlación Norte-Sur, granjas reproductoras 4.....	168
D.14	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 4, sentido Norte-Sur.....	168
D.15	Tabla Correlación Oeste-Este, granjas reproductoras 4.....	169
D.16	Figura Modelo de correlación de SEV, granjas reproductoras 4, sentido Oeste-Este.....	169
D.17	Tabla Correlación, planta de incubación.....	170
D.18	Figura Modelo de correlación de SEV, planta de incubación.....	170
D.19	Tabla Correlación Noroeste-Sureste, planta de alimentos balanceados (ABA).....	171
D.20	Figura Modelo de correlación de SEV, planta de alimentos balanceados (ABA), sentido Noroeste-Sureste.....	171
D.21	Tabla Correlación Norte-Sur, granjas de engorde.....	172
D.22	Figura Modelo de correlación de SEV, granja de engorde, sentido Norte-Sur.....	172
D.23	Tabla Correlación Este-Oeste, granjas de engorde.....	173
D.24	Figura Modelo de correlación de SEV, granja de engorde, sentido Este-Oeste.....	173
D.25	Tabla Correlación Este-Oeste, planta piloto.....	174
D.26	Figura Modelo de correlación de SEV, planta piloto, sentido Este-Oeste.....	174
D.27	Tabla Correlación Norte-Sur, planta piloto.....	175
D.28	Figura Modelo de correlación de SEV, planta piloto, sentido Norte-Sur...	175
E	MODELO DE CORRELACIÓN LITOSTRATIGRÁFICA.....	179

E.1	Modelo de correlación litoestratigráfica con estrato acuífero.....	180
-----	--	-----

LISTA DE ANEXOS

1. MAPA DE VEGETACIÓN, GRANJAS DE ENGORDE.
2. MAPA DE VEGETACIÓN, GRANJAS DE REPRODUCCIÓN.
3. MAPA DE VEGETACIÓN, PLANTA DE INCUBACIÓN.
4. MAPA DE ISOLÍNEAS PIEZOMÉTRICAS Y DE UNIDADES.
HIDROGRÁFICAS DEL CIAS MONAGAS.
5. MAPA ISÓPACO DEL CIAS MONAGAS.

INTRODUCCIÓN

Un acuífero se define como una formación geológica formada por una o más capas de roca; el agua puede almacenarse y salir de los acuíferos. Están ubicados en la "zona saturada" de la corteza terrestre, donde todos los espacios disponibles están llenos de agua. Los acuíferos se caracterizan por ciertas propiedades como la permeabilidad y la porosidad, que definen las características hidráulicas del acuífero, es decir, el movimiento del agua depende del tipo de rocas que se encuentran debajo de la superficie del suelo. Los acuíferos son formaciones geológicas capaces de contener agua y permitir su movimiento a través de sus poros, cumpliendo dos funciones importantes; almacenar y transmitir el agua. La máxima cantidad de agua a sustraer de un acuífero para que no sea sobreexplotado, se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje, la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, la cual es generada por la precipitación que llega a la superficie, y finalmente se realiza un balance de suelos.

Venezuela es un país con una densa red hidrográfica, sin embargo, existen extensas áreas hacia la zona central y sur del país, que no poseen recursos hídricos superficiales suficientes, permanentes y de calidad, lo cual ha llevado a realizar estudios de los acuíferos existentes para su posterior explotación.

El crecimiento poblacional y la necesidad del desarrollo de las actividades de producción de alimentos ha incentivado a los habitantes de la zona a la búsqueda de alternativas sustentables que coadyuven a la independencia alimentaria de la región. Es así como surge la necesidad de efectuar los estudios tendentes a obtener las características hidrogeológicas e hidráulicas de los acuíferos de la zona, ya que se debe corroborar la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente durante todo el año para la planificación de actividades en el asentamiento poblacional

Chaguaramas. Se requiere de los estudios que permitan corroborar la factibilidad técnica de la captación de agua subterránea en el área de estudio.

En ese orden de ideas, se plantea en este documento la estimación de las características hidrogeológicas de los acuíferos presentes en la zona.

Para obtener una integración óptima de la información, el estudio se desarrolló en capítulos. El capítulo I plantea el problema y se establecen los objetivos que se desean alcanzar con el desarrollo de la investigación, el capítulo II provee información de las generalidades, el cual permite dar conocimientos básicos del área de estudio como su vegetación, clima, geología, hidrografía, etc. El capítulo III trata de manera resumida las bases teóricas que están directamente relacionadas con el estudio. El capítulo IV describe la metodología de trabajo desarrollada a lo largo del estudio. El capítulo V presenta el análisis de los resultados obtenidos, y finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones de mayor relevancia del estudio.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

La diversidad de uso del recurso agua (consumo humano, doméstico o colectivo, consumo industrial, provisión de energía, navegación, recreo, agricultura y pesca), ha generado una grave crisis presionada por la intensificación de su aprovechamiento, y por ende, la necesidad permanente de arbitrar en la gestión hidráulica relacionada con el orden sectorial (eléctrico, industrial, agrícola, urbano, entre otros), o de manera más general, en el marco de los intereses contrapuestos económicos y ecologistas. Con los aumentos crecientes de la población aumentan también las demandas de alimentos, agua, y con ello la explotación de los mismos. Debido a esto y a la reducción de la oferta de agua para diversos usos se están implementando otros métodos de obtención del recurso agua. La necesidad de conocer el potencial de aguas subterráneas para ser explotadas mediante pozos, conlleva a estimar la recarga de los acuíferos, lo que ha hecho que en muchos países se realicen estudios destinados a establecer dicha recarga, con base en la distribución de precipitación y coeficientes de infiltración en los suelos de la zona en estudio.

Venezuela tiene una distribución hidrográfica bastante densa, la cual está ocupada en gran medida por la cuenca del río Orinoco. Sin embargo, aun cuando el río Padre ocupe más de las dos terceras partes del territorio nacional, quedan grandes áreas que no se encuentran irrigadas por las fuentes o cuerpos superficiales de agua dulce. Esta circunstancia trae como consecuencia un escaso desarrollo de actividades antrópicas en las zonas cuya densidad hidrográfica sea muy baja. Ante tal circunstancia, en muchas de estas áreas se ha incrementado la práctica de la explotación del agua subterránea, sin embargo, estas técnicas de explotación de

acuíferos ameritan del conocimiento integral de las características hidrogeológicas e hidráulicas del agua subterránea. Este es el caso específico del noreste del estado Monagas, en el municipio Libertador, donde algunos pobladores desean acometer actividades de diversa índole, pero debido a la escasa disponibilidad de agua superficial, desean estudiar la factibilidad de aprovechar la posible existencia de acuíferos que pudiesen abastecerlos del agua requerida.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar hidrogeológicamente los acuíferos ubicados en el área noreste de la población de Chaguaramas, del municipio Libertador, estado Monagas.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar fisiográfica y geológicamente el área de estudio.
2. Elaborar el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del área de estudio.
3. Determinar los patrones preferenciales de flujo de agua subterránea en el área de estudio.
4. Delimitar la distribución espacial de los estratos acuíferos.

1.3 Justificación de la investigación

Desde el punto de vista práctico se considera que la presente investigación se encuentra motivada o justificada toda vez que es vital para el desarrollo de la zona de Chaguaramas, que se acometan los estudios preliminares que permitan determinar las

potencialidades hídricas de los acuíferos del área a través de la determinación de las características hidráulicas e hidrogeológicas de los mismos.

1.4 Alcances de la investigación

La presente investigación abarcará algunos de los aspectos básicos de la caracterización hidráulica de la cuenca hidrogeológica ubicada en la parte noreste de Chaguaramas del estado Monagas con propósitos de obtener información vital para acometer proyectos futuros de diversa índole.

1.5 Limitaciones de la investigación

Durante el proceso de desarrollo de la presente investigación no se han detectado limitaciones u obstáculos significativos que pudiesen afectar el presente trabajo de investigación. Sin embargo, es necesario acotar que debido a la constitución física de las instalaciones de los pozos de agua ubicados en la zona de estudio, no fue posible medir los niveles estáticos ni dinámicos del agua de los pozos antes mencionados.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1. Descripción del área de estudio

2.1.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El estado Monagas está ubicado en la Región Nor-Oriental del País. Su capital es la ciudad de Maturín. Tiene una extensión geográfica de 28930 km² lo que representa el 3,15% del territorio nacional.

Limita por el norte con el estado Sucre, al sur con el Estado Bolívar, al este con el estado Delta Amacuro y el Océano Atlántico y al oeste con el Estado Anzoátegui.

El área de interés para la realización de la presente investigación comprende una superficie de 11 km², localizada en una zona perteneciente al municipio Libertador del estado Monagas y en la cual se incluye la población de Chaguaramas y el grupo de microcuencas hidrográficas cuyos cauces drenen hacia y desde el área de estudio.

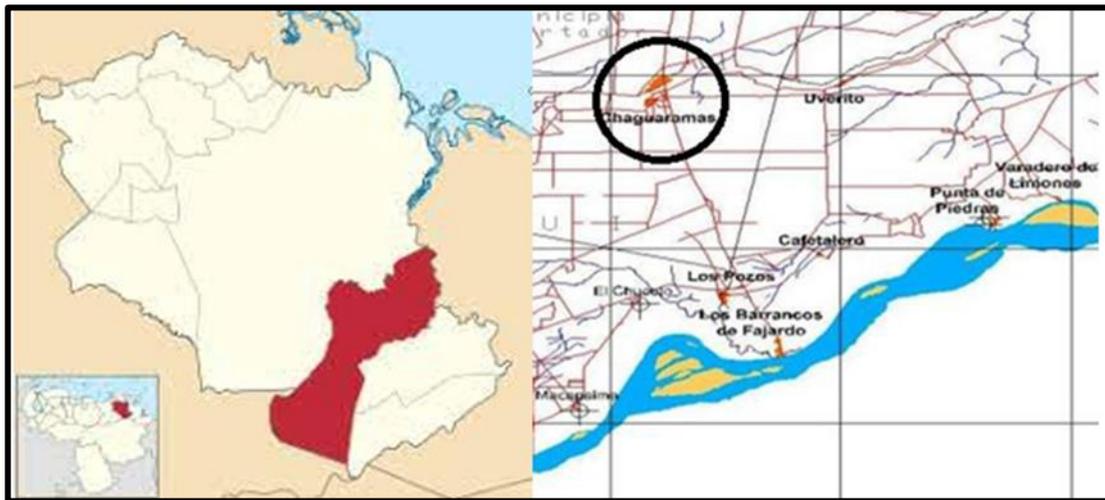


Figura 2.1 Ubicación del área de estudio.

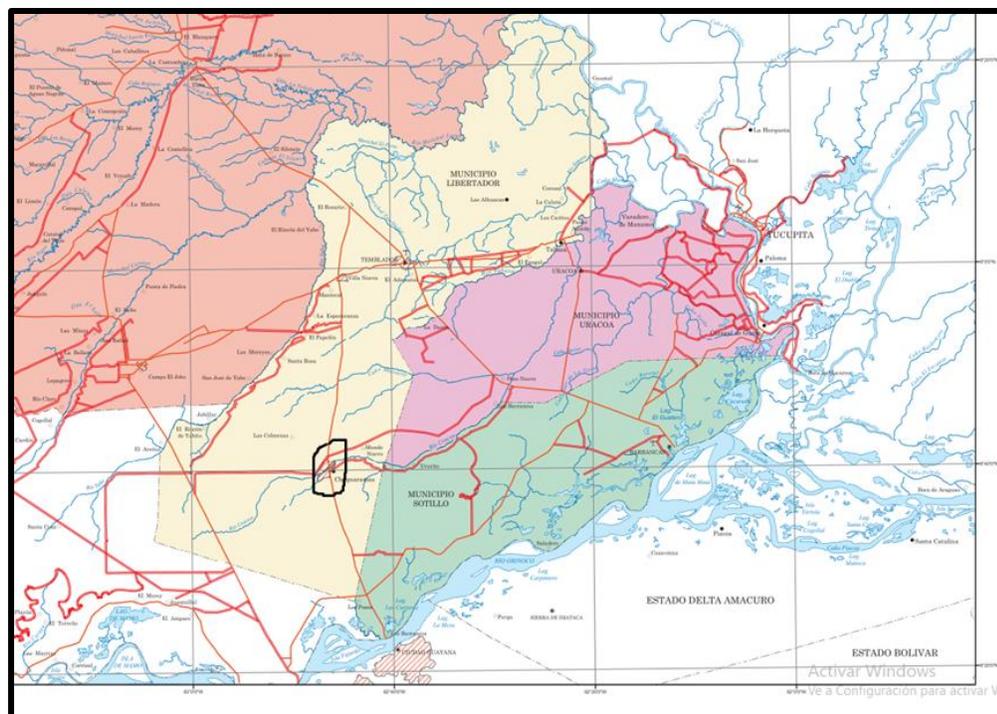


Figura 2.2 Ubicación regional del área de estudio.

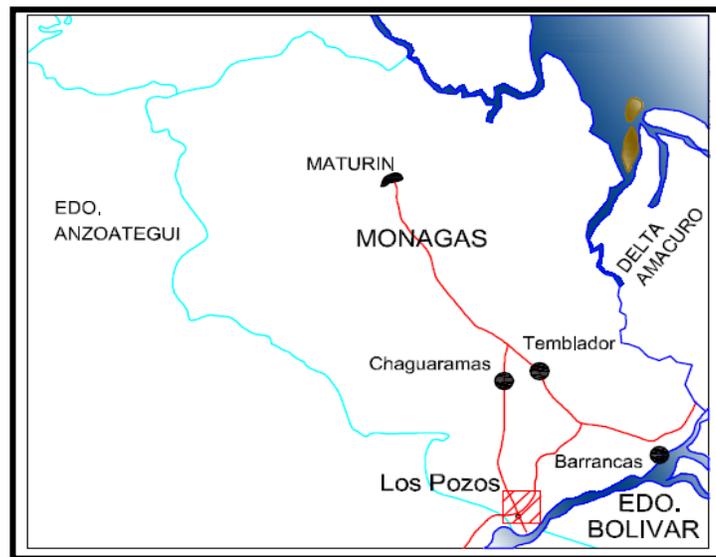


Figura 2.3 Ubicación relativa y acceso al área de estudio (CVG TECMIN 2009).

Por otra parte, el acceso al área de estudio se efectúa desde Puerto Ordaz, por vía terrestre, a través del segundo puente sobre el río Orinoco ubicado en Guarampo y luego es posible recorrer gran parte de la zona de estudio a través de dos vías: hacia el Norte por la carretera que conduce hacia Maturín (Troncal 10) y hacia el Suroeste por la carretera que se dirige a la población de Barrancas del Orinoco.

2.1.2 Características del área de estudio

2.1.2.1 Geología y Relieve

Monagas presenta en sus tierras tres (3) paisajes naturales bien definidos, a saber: el sector montañoso, ubicado al Norte del estado y constituido por el Macizo Oriental, tramo oriental de la Cordillera de la Costa; las mesas localizadas en los llanos altos y las planicies ubicadas en los llanos bajos. El paisaje de montaña está conformado por rocas sedimentarias de la era cretácea con un predominio de areniscas, lutitas y calizas. Sus principales alturas están representadas por el Cerro

Turimiquire de 2.595 metros, el cerro Tristeza de 2.560 metros, el cerro Muerto de 2.430 metros; el cerro San Bonifacio de 1.500 metros y el cerro Cantón de 1.250 metros. Asimismo, las colinas son formaciones de escasa altitud que en ciertos casos sobrepasan los 500 metros como el cerro Chaguaramas de 640 metros. El pueblo de Caripito se halla emplazado en este tipo de relieve poseyendo todas las características de un lugar de montaña. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Las mesas ocupan el 90% del territorio estatal. Son extensiones altiplanas subdivididas en dos sectores básicos: la mesa de piedemonte y la mesa llana. La mesa de piedemonte está constituida por cantos, bloques y guijarros provenientes de la Serranía del Interior con topografía general suavemente inclinada, pendientes entre 2 y 6% y elevaciones inferiores 400 metros. La mesa llana, formación vinculada a la era cuaternaria, posee sedimentos de origen cretáceo-terciario procedentes de la Serranía del Interior hacia la zona norte. Por su parte, predomina hacia el sur una fracción de arena originaria del Escudo Guayanés. Es una altiplanicie de topografía plana o casi plana con pendientes de 1 a 2% y elevaciones menores de 40 metros. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

En la zona oeste sobresalen las mesas de Santa Paloma y Morichal Largo; hacia el este, la Burra Negra y en la zona central, la mesa de Masagua. Los paisajes de planicie, caracterizados por un relieve muy plano con pendientes menores al 1%, se manifiestan de la siguiente manera: la planicie de desborde posee sedimentos fluviales depositados por los ríos que atraviesan la mesa; la planicie deltaica, de relieve bajo y suelos empantanados en época de lluvia, está conformada por materiales recientes de origen aluvial originarios de la Formación Mesa, la planicie cenagosa costera constituye un medio de origen marino y la planicie aluvial del Orinoco está compuesta por sedimentos muy recientes derivados de dicho río. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Por último, se localiza en la región monaguense un valle ancho conocido como el valle de Caripe formado por el río Caripe. Allí se halla situada la localidad homónima a 870 metros de altura y la Cueva del Guácharo, el monumento natural más atrayente del sector. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

2.1.2.2 Suelos

Al noroeste del estado Monagas, especialmente en sus valles, se cuenta con suelos de gran contenido edáfico, que han favorecido el desarrollo de la agricultura. A pesar de su bajo potencial agrícola, los suelos de las mesas han permitido el desarrollo de la ganadería y de los cultivos mecanizados. En las riberas del Orinoco, las inundaciones periódicas dejan depósitos aluviales significativos confieren una alta capacidad productiva a las explotaciones agrícolas y ganaderas de la zona. En la llanura, el potencial edáfico se reduce por la ausencia de una red hidrográfica que favorezca los depósitos aluviales; ello dificulta el uso agrícola de la zona. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Los suelos predominantes en las mesas son de orden ultisol, muy lixiviados; entisoles de poco desarrollo pedogenético y oxisoles pobres en nutrientes. En la mesa de piedemonte son, en general, de poca profundidad y permeabilidad, así como de baja fertilidad, algunos presentan alta pedregosidad. En la mesa llana, existen grandes sectores con suelos de texturas medias a partir de 50 cm de profundidad, los cuales constituyen los de mejores condiciones físicas para la actividad agropecuaria, por estar bien drenados. En las planicies predominan los suelos arcillosos de texturas finas y medias del orden inceptisol y vertisol. En el sector montañoso, los suelos son característicos de tierras misceláneas, asociados algunas veces con afloramientos rocosos, poco profundos, de moderada a alta pedregosidad, moderada a baja fertilidad y alta susceptibilidad a la erosión. (INE, 2013)

De acuerdo a (Silva, 2007), la clasificación taxonómica de los suelos de Monagas los identifica como Kandiuustults, Paleustults, Quartzipsamments, Ustipsamments y Haplustoxs. Se ubican en las mesas, son sedimentos depositados en el Pleistoceno Inferior y se comportan como suelos bien drenados, con textura arenosa, aumenta la arcilla en profundidad, tienen pocos nutrientes y materia orgánica, son ácidos y con baja retención de humedad. En los valles encajonados de los ríos Guarapiche, Amana y Aragua se identifican suelos con sedimentos recientes del Holoceno en terrazas bajas y más antiguos en las terrazas altas. Presentan alta variabilidad, son suelos más fértiles que los de mesa en algunos casos mal drenados. El Delta del Orinoco y San Juan incorpora la parte este del estado en los límites con el golfo de Paria y Delta Amacuro y es parte de una cuenca tectónica en hundimiento y de activa sedimentación, lo cual da paso a un relieve plano casi a nivel del mar y es afectado por la acción fluvial fundamentalmente de los ríos Orinoco, San Juan, Tigre, Guanipa y Amana, además de la influencia de las mareas del Atlántico. Se encuentran en superficie sedimentos fluvio-deltaicos ricos en arcilla y contienen altos componentes de materia orgánica, son poco consolidados y muy recientes. Por sus características presentan pocas oportunidades para la explotación agrícola.

2.1.2.3 Flora

La vegetación del estado Monagas corresponde al bosque húmedo premontano en los sectores montañosos y bosque seco tropical y bosque húmedo premontano en las mesas y planicies. En estas últimas se observan formaciones vegetales como selvas veraneras deciduas y semideciduas, bosques de galería y sabanas. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

En los sectores de selva se observan árboles altos localizados fundamentalmente en lotes boscosos. En los relieves más bajos constituidos por colinas, los árboles poseen menor altura, están más separados y el monte no es denso.

Muchas de estas formaciones están cubiertas por vegetación baja y pastos. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Por su parte, los llanos de la entidad se caracterizan por presentar diversos tipos de flora: la vegetación de pastos se localiza en regiones de relieve ligeramente elevado y en las mesas ubicadas hacia la parte oeste del territorio monaguense; la vegetación de matas emplazada en el relieve plano de la sabana exhibe árboles agrupados en círculos; la vegetación de hierba se encuentra hacia la parte este de la llanura en donde hay zonas pantanosas que en temporada de lluvia forman amplias superficies de agua; el pasto conocido como lambedora crece donde el agua se seca y el suelo queda húmedo; la vegetación de palmas se ubica en el sector noreste de las tierras formadas por el río San Juan y el caño Mánamo y a lo largo de los ríos que cruzan la llanura, predominando el morichal; y la vegetación de manglar nace en las márgenes de los ríos San Juan y Caño Francés, en las islas marinas y en las del caño Mánamo. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).



Figura 2.4 Vegetación de mangles (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

2.1.2.4 Fauna

La fauna silvestre del estado es abundante y variada gracias a la diversidad de ecosistemas presentes en la región. Entre los mamíferos que habitan el territorio destacan el osito sedoso, el acure ligero, la lapa, el venado, el cachicamo, la danta, el tigre, el báquiro, el chigüire, el mono araguato, el mono capuchino y el manatí. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).



Figura 2.5 Mono Araguato. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

En cuanto a la diversidad de aves, conviven en el área: el pato salvador, la guacamaya, el tucán, el cardenalito, el guácharo, la soisola, la guacharaca, la perdiz, la paloma, el gavilán primito, el loro real, la lechuza, el aguaitacamino, el tucuso, el carpintero y el arrendajo. (I.U.D.T.D.C., 2012).



Figura 2.6 Guácharo. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Asimismo, encuentran refugio infinidad de reptiles como: el caimán del Orinoco, la baba, el morrocoy y la iguana. Entre las serpientes se pueden citar: la cascabel de Uracoa, la bejuca, la macaurel y la coral. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

Por último, su fauna acuática está constituida, gracias a la abundancia de ríos, lagunas, caños y embalses, por el bagre rayado, el bagre dorado, el bagre amarillo, el bagre cabezón, la cachama, la curvina, el coporo, la zapoara. (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2011).

2.1.2.5 Hidrografía

El estado Monagas dispone de una importante red hidrográfica que nace en el macizo del Turimiquire (río Amana, río San Juan y sus afluentes) y en las mesetas del centro y el sur (ríos Guanipa, El Tigre y Uracoa). Esa red drena hacia el océano Atlántico mediante dos vertientes; una que escurre directamente al mar y otra que corre hacia el río Orinoco. A la vertiente del océano Atlántico pertenece la cuenca del río San Juan con el Guarapiche y el Caripe, principales abastecedores de agua de las

poblaciones del norte del estado. La vertiente del Orinoco se divide en dos subvertientes, una que drena hacia el Delta Amacuro y la otra que lo hace al río propiamente dicho. A la primera pertenecen los ríos Amaná, Guanipa, Morichal Largo, El Tigre y Uracoa, mientras que a la segunda pertenecen los Pozos y el Caño Guarguapo, ríos de cuencas sencillas. (CVG-TECMIN, 2009).

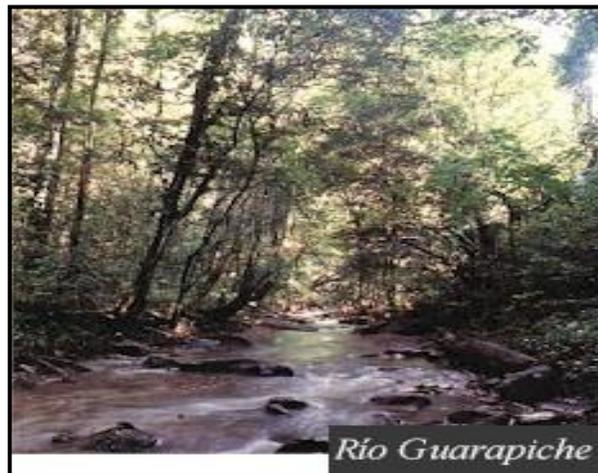


Figura 2.7 Río Guarapiche (Instituto Universitario de Tecnología de Caripito, 2012).

- **Características Hidrográficas:** a continuación se hace una descripción de las características hidrográficas generales del área de influencia del proyecto, así como de las principales subcuencas:

Características generales del río Orinoco: El río Orinoco es uno de los más grandes del mundo, drena una cuenca de $1,1 \times 10^6$ Km², compartida entre Venezuela y Colombia, y una longitud de 2.063 Km. La descarga anual media es de 36.000 m³/s. En términos de los caudales de agua y sedimentos que aporta al océano está considerado el tercero y el octavo más grande del mundo, respectivamente.

Tiene una capacidad enorme de variación, que se explica no solo por los cambios estacionales, sino también por efectos derivados de la interacción entre la topografía de fondo, las riberas y la corriente del río, que favorecen o limitan las condiciones de mezcla, así como la resuspension o hundimiento de las masas de agua y los sedimentos. (CVG-TECMIN, 2009).

El río, presenta una estacionalidad muy marcada, con un inicio de la creciente aproximadamente en el mes de Abril, entrando en el plano de inundación entre mayo y junio, entre julio y septiembre, a veces octubre fluye tanto en el canal principal como por el plano de inundación. Durante la época de bajo nivel del río, el plano de inundación drena sus aguas hacia el cauce principal. Los mínimos del río se presentan en los meses de Febrero y Marzo. (CVG-TECMIN, 2009).

Los valores de caudales del río Orinoco tienen relevancia, ya que su dinámica estacional influye sobre el ritmo de diversas actividades económicas, tales como, la agricultura y la pesca, así como los elementos funcionales o relaciones entre las poblaciones que están afectadas por su régimen hídrico. (CVG-TECMIN, 2009).

Planicie de inundación del río Orinoco: El grado de conexión del canal del río y su plano de inundación dependen del nivel de agua del río. En aguas bajas, las lagunas se encuentran desconectadas del río y entre ellas; posteriormente con el inicio de las lluvias las lagunas suben de nivel y normalmente durante el mes de junio, las lagunas comienzan a conectarse al río Orinoco por medio de canales de comunicación, y algunos de los sistemas lagunares se comunican entre si a través de canales, durante la temporada de aguas altas el río supera los albardones de orilla, desbordándose hacia en plano de inundación, ya parcialmente cubierto de aguas. En los meses de Agosto y Septiembre suele haber una lámina continua. (CVG-TECMIN, 2009).

Características generales del río Uracoa: El río Uracoa pertenece a la cuenca baja del río Orinoco. Nace al sur del estado Monagas a una altitud de 99 msnm y drena un área de 2377 Km². La cuenca del río Uracoa tiene forma alargada y está más desarrollada por su margen izquierdo. En su parte alta y media presenta un patrón de drenaje poco denso, que va de subparalelo a dendrítico, desarrollado sobre una planicie de sedimentos de la Formación Mesa y en su parte baja, cerca de la desembocadura del Uracoa en el caño Mánamo, se encuentra sobre una llanura de inundación conformada por aluviones recientes. (CVG-TECMIN, 2009).

El área de la cuenca del río Uracoa, está enmarcada dentro del bioclima Bosque seco Tropical, y recibe una precipitación promedio de unos 1100 mm anuales. Desde su nacimiento hasta que tributa sus aguas en el caño Mánamo, el río Uracoa tiene un recorrido de 127 Km. En los primeros 50 Km de recorrido presenta una dirección predominantemente Este, que luego cambia en dirección Noreste, hasta su desembocadura en el caño Mánamo. Su principal afluente es el río Tabasca. (CVG-TECMIN, 2009).

2.1.2.6 Clima

El estado Monagas manifiesta dos tipos climáticos, a saber: un clima de sabana caracterizado por la presencia de altas temperaturas y los periodos de lluvia y sequía y un clima de estepa en donde se observa una acentuada sequedad ya que la evaporación es mayor que la precipitación. La temperatura promedio en las mesas y planicies de la entidad se ubica en los 27° C, mientras que en los sectores montañosos oscila entre los 16° y 25° C. Por su parte, las precipitaciones se manifiestan anualmente con un promedio que oscila entre los 800 y 2.000 mm. (I.U.D.T.D.C., 2012).

El área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque muy seco Tropical (Bms-T), según la clasificación climática de Holdridge, el área recibe una pluviosidad promedio alrededor de los 1.000 mm anuales, la temperatura media oscila entre los 26 °C y 27 °C, y su evaporación media anual supera los 2.000 mm. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, y una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C. (CVG-TECMIN, 2009).

2.1.2.7 Precipitación

El valor promedio anual de precipitación para el área del proyecto es de 1.100 mm, el cual fue estimado a partir de los promedios anuales de las estaciones estudiadas, y el mapa de isoyetas medias mensuales. (CVG-TECMIN, 2009).

2.1.2.8 Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es elevada, presentando un valor de 2.200 mm. Esta variable climática no tiene una variación de alto rango, sin embargo es posible diferenciar en su comportamiento temporal, dos épocas donde ocurren los valores más altos, lo cual coincide con las épocas de equinoccio de primavera y otoño. (CVG-TECMIN, 2009).

2.1.2.9 Temperatura

En la zona, la temperatura promedio anual es de unos 28°C, la máxima media 33°C y la mínima media 22°C, por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterminia, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío no supera los 5°C. (CVG-TECMIN, 2009).

2.1.2.10 Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmosfera. El área del proyecto recibe una insolación media anual de 7 horas de sol aproximadamente. Los valores más altos ocurren en las épocas de marzo y octubre, coincidiendo con las fechas del equinoccio de primavera y otoño respectivamente, y los menores durante los meses de Junio, Julio y Diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada lluviosa. (CVG-TECMIN, 2008).

2.1.2.11 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual esta por el orden de 75%, según los datos de las estaciones cercanas al área. Alcanza sus mayores valores (entre 80% y 82%), en los meses de máxima precipitación (Junio, Julio y Agosto), y los mínimos durante Marzo y Abril, comprendidos entre 63% y 66%. (CVG-TECMIN, 2008).

2.1.2.12 Vientos

La velocidad media anual del viento estimada para la zona, está cerca de los 2 m/s, con dirección prevaeciente Este – Noreste (ENE), mayor en marzo y más baja en Agosto. (CVG-TECMIN, 2009).

2.2. Geología Regional

2.2.1. Cuenca Oriental de Venezuela

Con respecto a la descripción de la Cuenca Oriental de Venezuela se toman los datos aportados por González de Juana (1980), en Barrios R. (2010), donde señala los siguientes aspectos:

Esta cuenca está situada en la zona centro – Este de Venezuela formando una depresión topográfica y estructural, limitada al sur por el curso del río Orinoco desde la desembocadura del río Arauca hacia el Este hasta Boca Grande, siguiendo de modo aproximado el borde septentrional del Cratón de Guayana; al Oeste por el levantamiento de El Baúl y su conexión estructural con el mencionado cratón, que sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao y al Norte, por la línea que demarca el piedemonte meridional de la Serranía del Interior Central y Oriental. Hacia el Este, la cuenca continua por debajo del golfo de Paria, incluyendo la parte situada al Sur de la Cordillera Septentrional de la isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al Este de la costa del Orinoco, (González de J., 1980).

En Venezuela, esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 km en sentido Oeste – Este, una anchura promedio de 200 km de Norte a Sur y un área total aproximada de 165.000 km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre, (González de J., 1980).

La cuenca actual es asimétrica, con su flanco Sur ligeramente inclinado hacia el Norte y un flanco Norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco Meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el Norte. Se ha obtenido producción de petróleo en ambos

flancos de la cuenca, bajo condiciones estratigráficas y estructurales diferentes, (González de J., 1980).

El espesor de las columnas sedimentarias terciarias varía desde pocos centenares de metros en los bordes meridional y occidental, hasta 6 y 8 km en las partes profundas de la cuenca. Toda ella presenta un suave declive hacia el este, de forma que en la parte meridional de Trinidad el espesor de sedimentación terciaria excede 10 – 12 km. El volumen total de sedimentos terciarios se estima en alrededor de medio millón de kilómetros cúbicos, (González de J., 1980).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Se han realizado numerosas investigaciones de esta índole en Venezuela que servirán de apoyo metodológico para el desarrollo del presente Trabajo de Grado.

Salcedo, (2018) presentó la tesis de grado “CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO ALUVIAL UBICADO ENTRE LAS QUEBRADAS CHACAÍTO Y SEBUCÁN, REGIÓN NORESTE DEL VALLE DE CARACAS” en dicho estudio se caracterizó hidrogeológicamente la zona entre las Quebradas Chacaíto y Sebucán, a través de la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual, para permitir aportar un mayor entendimiento del movimiento y flujo del agua subterránea. Para lograr esta investigación se dividió la metodología en tres fases, se elaboró una base de datos en las áreas de hidrogeología, geología, geografía, geofísica, geomorfología, geotecnia y geoquímica, posteriormente se interpretaron los datos con el fin de caracterizar el acuífero; y se realizó la integración hidrogeológica en un modelo conceptual y numérico 3D. lo cual permitió establecer la configuración de las capas que componen el acuífero, en donde se intercalan estratos acuíferos con acuitardos. Todo lo tratado en la tesis es pertinente al tema a desarrollar en esta investigación y por lo tanto servirá de soporte.

El INAMEH, el Laboratorio Nacional de Hidráulica y el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y los Recursos Naturales (2010) prepararon conjuntamente un documento titulado “Recursos Hídricos Subterráneos de Venezuela” en el cual se efectúa una descripción generalizada de las características hidrogeológicas del país.

Dicho estudio proporcionará las bases o características regionales de las aguas subterráneas en la zona de estudio analizada en la presente investigación.

Cedeño (2008) elaboró el trabajo de grado titulado “Características geohidrológicas de los acuíferos ubicados en El Tigre, municipio Simón Rodríguez, estado Anzoátegui, Venezuela”. Este estudio servirá como complemento metodológico para el desarrollo de la presente investigación ya que en ella se analiza sistemáticamente cada una de las condicionantes operativas que intervienen en la explotación de acuíferos mediante la explotación de pozos de agua.

Echeverría (1985) elaboró el trabajo de grado titulado “Geohidroquímica de los acuíferos de Los Caribes y Cardozo, Ciudad Bolívar, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela”. A través de esa investigación se podrá seguir un esquema operacional para analizar metodológicamente algunas de las características de un acuífero lo cual será de mucha importancia en la ejecución de la investigación que aquí se desarrolla.

Barrios, R. (2010), realizó un trabajo de investigación en la Universidad de Oriente Núcleo Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología denominado “Caracterización geológica de las arenas basales de la Formación Mesa y superiores de la Formación Las Piedras en el campo El Carito-Mulata, de la sub-cuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela, estado Monagas, Venezuela”. El presente estudio tiene como objetivo caracterizar las arenas basales de la Formación Mesa y superiores de la Formación Las Piedras en el campo El Carito - Mulata, para determinar su extensión lateral, características estructurales, variaciones de espesores, ambiente de sedimentación, la calidad y procedencia genética de las aguas, que permitirá a los futuros proyectos el aprovechamiento de los acuíferos. La metodología consistió en la búsqueda y selección de información (registros eléctricos, informes técnicos) en el Centro de Información Técnica de Exploración y Producción, en las

bases de datos de PDVSA (SIMDE), elaboración de secciones estratigráficas y estructurales con la finalidad de revisar los límites laterales y verticales de los acuíferos, elaboración de mapas isópacos estructurales, análisis de electrofacies y determinación del paleoambiente, definir el origen de las aguas de formación a partir de análisis físico-químicos y bacteriológicos y aplicar el método de Sulín para su clasificación. De la interpretación de las secciones estratigráficas se observó la continuidad lateral de los acuíferos que litológicamente presentan arenas con intercalaciones de sedimentos limo arcilloso. Las secciones estructurales arrojaron que las arenas están dispuestas de forma sub horizontal, y evidencia que la formaciones Mesa y Las Piedras no fueron afectadas por esfuerzos compresivos o extensivos. Los mapas isópacos-estructurales reflejan que las Formación Mesa y parte superior de la Formación Las Piedras se depositaron sobre una superficie de erosión adoptando la forma de ella. Del análisis de registros de pozos y el mapa de paleoambiente se interpretó un ambiente deltaico por la presencia de canales distributarios, barras de canales y llanuras de inundación. De los análisis físico-químicos se determinó que las aguas presentan pH y valores de sólidos totales disueltos aceptables para el consumo humano y que son de origen meteórico según el método de Sulín y que corresponden a un acuífero libre.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1 Acuíferos

Son aquellas formaciones geológicas capaces de contener agua y permitir su movimiento a través de sus poros, cumpliendo dos funciones importantes; almacenar agua y conducirla. Este movimiento del agua a través de un acuífero no se realiza necesariamente en forma idéntica en toda su extensión, ya que ello es dependiente de las propiedades y características del acuífero. Esto conduce a considerar la isotropía y anisotropía de los acuíferos. Así cabe indicar que existe una amplia gama de

formaciones con capacidades muy diversas para almacenar y transmitir el agua. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.2 Estructura de un Acuífero

Un acuífero es un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea. En un acuífero "libre" se distinguen: una zona de saturación, que es la situada encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona, que lo separa de la zona de aireación, es el nivel freático y varía según las circunstancias, descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga, y asciende en épocas húmedas. Extendiéndose hacia arriba desde el nivel freático se encuentra la franja capilar, en la cual, el agua subterránea es mantenida por la tensión superficial en los poros de la roca. El área situada por encima del nivel freático que abarca la franja capilar y el cinturón de humedad del suelo se denomina Zona de Aireación. (Custodio y Llamas, 1976).

3.2.3. Tipos de acuíferos

Para hacer una clasificación más exhaustiva de los tipos de acuíferos se toman los aportes realizados por Edward E. (1975) en Barrios, R. (2010), los cuales señalan al respecto los siguientes:

La clasificación de los acuíferos varía según el factor que se tome en cuenta para hacerlas. Atendiendo al grado de confinamiento, es decir, a la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, distinguimos los siguientes tipos:

3.2.3.1 Acuífero libre, freático o no confinado

Es aquel que presenta una superficie libre de agua sujeta a la presión atmosférica. Esa superficie freática se encuentra a un nivel denominado freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no. Está formado en general por un estrato permeable o relativamente impermeable. En los pozos que atraviesan total o parcialmente este tipo de acuífero el agua alcanza el mismo nivel que tendría dentro de la formación geológica, es decir, el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal para alcanzar el agua a presión atmosférica). En algunos acuíferos libres formados por partículas finas, el drenaje por gravedad no es instantáneo y el acuífero entrega el agua con cierto retraso después que desciende el nivel freático. Estos acuíferos se conocen como libres con entrega retardada. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.2 Acuífero confinado, cautivo o a presión

Se trata de una formación geológica completamente saturada de agua que se encuentra confinada entre dos estratos impermeables o prácticamente impermeables (uno inferior y otro superior). El agua contenida en este tipo de acuíferos se encuentra a una presión superior a la atmosférica, de manera que en aquellos pozos que asciende rápidamente hasta que se estabiliza a un nivel denominado piezométrico. Así, al imaginar una serie de pozos atravesando un acuífero confinado, y unimos los niveles que alcanza el agua en cada uno de ellos, obtendríamos una superficie piezométrica que no coincide con la superficie freática que tenía el acuífero en estado natural. Si el nivel piezométrico queda por encima de la cota del terreno, se habla de pozos surgentes, mientras que si queda por debajo de esta se denomina pozo artesiano. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.3 Acuífero semiconfinado

Son una variante de los acuíferos confinados, y se caracterizan porque están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (acuicierre o acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuíferos, la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo por ejemplo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo, que actuara como recarga de acuífero. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.4 Acuífero semilibre

Supone una situación intermedia entre un acuífero libre y uno semiconfinado. En este caso, la capa confinante superior es un estrato semipermeable o acuitardo, de características tales que la componente horizontal del flujo no puede ignorarse. Es el caso de un acuífero formado por granos gruesos, limitado en la parte inferior por una formación impermeable y en la parte superior por una formación de granos finos con conductividad hidráulica saturada inferior a la del acuífero, pero no tan baja como para considerarla semipermeable. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.5 Acuífero colgado

Este tipo se da en aquellas ocasiones en las que existe una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda por tanto atrapada en esta capa formando una “bolsa de agua” o lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada. Los acuíferos colgados se dan con más frecuencia de lo que se pueda suponer, aunque a veces solo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se limitan después de una recarga muy excepcional. No supone un recurso muy fiable, ya que si se perfora del todo, puede ocurrir que el pozo

construido actúe facilitando el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.6 Acuíferos formados por depósitos no consolidados

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente arenas, gravas o mezclas de ambas, de origen geológico muy diverso. Según algunos autores el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo caen bajo esta categoría. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.7 Acuíferos formados por depósitos consolidados

Están constituidos por rocas consolidadas, cuyo origen puede ser diverso:

1. Calizas y dolomitas (fisuras, fracturadas y karstificadas).
2. Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas).
3. Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas). Las características de los acuíferos en rocas volcánicas son variables dependiendo de las propiedades físicas y químicas de la erupción que las originó, así como de su edad. Las zonas más permeables están relacionadas con fracturas y materiales piroclastos.
4. Algunas rocas cristalinas (p.el. Granitos fracturados). (Barrios, R., 2010).

3.2.3.8 Acuíferos fisurados o kársticos

Los acuíferos fisurados y/o kárstificados son aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas de materiales como calizas, dolomias, basaltos y

granitos. Las curvas de estalactitas son un ejemplo muy conocido de este tipo de acuíferos que son los katstificados. A través de los poros (huecos) que existen entre los granos de un volumen de arena y grava (permeabilidad intergranular). Este tipo de acuífero es característico en zonas cercanas a montañas. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.9 Acuíferos mixtos

Cuando la permeabilidad es debida a una combinación de las dos anteriores. Se dan en materiales como las calcoarenitas.

Otra clasificación que pueden tener los acuíferos depende de la importancia relativa de los mismos que corresponde a la capacidad o bondad relativa del acuífero en la región en que se encuentra. Esta condición es relativa teniendo en cuenta, entre otros, la clase de porosidad, su extensión y su espesor. Evaluados estos elementos en los acuíferos existentes en cada región estudiada, se clasifican en muy importantes, de media o de poca importancia. Considerando que un acuífero debe proporcionar caudales económicamente aprovechables, una formación geológica que sea capaz, por ejemplo, de producir 1 l/s no se considera como acuífero, en un lugar donde haya otras en que sea posible captar 50 l/s o más. Sin embargo, en una región árida, donde no haya otras posibilidades, esa formación, que proporcione 1 l/s para resolver las necesidades de una pequeña población, constituye sin duda un acuífero, aunque pobre. (Barrios, R., 2010).

3.2.3.10 Acuícluido

Del latín "claudere" que significa encerrar o cerrar, se define como aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Dentro de este grupo pueden incluirse los cienos y légamos (arcillas por lo general) de origen deltaico y/o de estuario, que a pesar de poseer grandes cantidades de agua (superior a 50% en volumen) no son hidrogeológicamente aptos para la construcción de captaciones de aguas subterráneas. (Aguasuelos Ingeniería, 1993).

3.2.3.11 Acuitardo

Del latín "tardare" que significa retardar, hace referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos. Por ejemplo, un nivel de arcillas limosas o arenosas puede comportarse como acuitardo, si está dispuesto por encima o debajo de un acuífero más importante, al cual puede recargar, o incluso recibir agua del mismo. (Aguasuelos Ingeniería, 1993).

3.2.3.12 Acuifugo

Del latín "fugere" que significa huir, a aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo, un macizo granítico no alterado, o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación. (Aguasuelos Ingeniería, 1993).

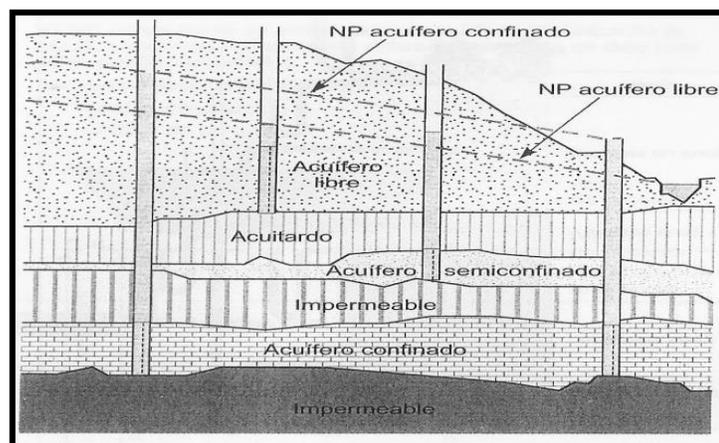


Figura 3.1 Tipos de acuíferos y niveles piezométricos. (Custodio y Llamas, 1996).

3.2.4 Balance hídrico

Los balances hídricos se suelen realizar de forma periódica (diaria, mensual) en la zona más superficial del terreno donde tienen lugar los procesos de evapotranspiración (suelo edáfico generalmente), aunque también se han aplicado en la zona no saturada y en el propio acuífero, variando en esta escala temporal y espacial de la recarga. El balance de agua en un acuífero se plantea entre dos flechas entre las que se observa la variación del nivel freático. El volumen almacenado por encima del nivel freático original se iguala a la recarga, considerando otros posibles flujos de entrada o de salida desde otros acuíferos o por bombeos. (Aguilera, G., 2009).

3.2.5 Balance de suelos

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo. (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

3.2.6 Infiltración

Es el proceso bajo el cual un flujo de agua penetra al suelo por su superficie. La tasa de infiltración f medida en mm/hr, está influenciada por muchos factores, tales

como la densidad y el tipo de cobertura vegetal, humedad inicial, pendiente del terreno, porosidad y permeabilidad del suelo, calidad del agua e intensidad de precipitación. (Pravia, J., 1995).

3.2.7 Coeficiente de infiltración

Es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

Los valores sugeridos de estos componentes, que conforman el coeficiente de infiltración se muestran en la siguiente Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Componentes del coeficiente de infiltración
(Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

Por pendiente	Pendiente	kp
Muy plana	0.02%-0.06%	0.30
Plana	0.3%-0.4%	0.20
Algo plana	1%-2%	0.15
Promedio	2%-7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06
Por cobertura vegetal		kv
Cobertura con zacate menos del 50%		0.09
Terrenos cultivados		0.10
Cobertura con pastizal		0.18
Bosques		0.20
Cobertura con zacate menos del 75%		0.21

3.2.8 Precipitación

Son el resultado de la condensación del vapor de agua, y bajo ese término se engloban todas las aguas meteóricas que caen en la superficie de la tierra bajo diversas formas: en forma líquida (lluvia), sólida (nieve y granizo) u oculta (rocío o helada blanca). (Benítez, A., 1963).

Según Benítez, A., (1963), podemos distinguir tres tipos de precipitación:

1. Convectiva: es típica de las zonas tropicales y se lleva a cabo por el calentamiento de aire cerca de la superficie terrestre, este aire caliente se expande y asciende por la disminución de densidad. En este proceso de aire caliente ascendente toma vapor del ambiente y asciende a gran velocidad. En las capas superiores toma lugar un enfriamiento dinámico causando condensación y posteriormente precipitación.

2. Orográfica: ocurre cuando las barreras montañosas obligan a las corrientes de aire (vientos) a elevarse. Las lluvias de las zonas de barlovento son de este tipo.

3. Ciclónica: esta asociada con el movimiento de masas de aire de centros de alta presión a centros de baja presión. Esta diferencia de presión es causada por el calentamiento irregular de la superficie terrestre.

3.2.9 Condensación

Es el primer paso en el mecanismo de la precipitación y esta puede producirse por una de las siguientes causas:

1. Por enfriamiento dinámico o diabático de la masa de aire

2. Por la mezcla de masas de aire con que están a diferentes temperaturas
3. Por enfriamiento ocurrido en una de ellas por dos masas de aire en contacto
4. Enfriamiento por radiación. (Benítez, A., 1963).

3.2.10 Evaporación

Es el proceso bajo el cual la masa de agua de la tierra, lagos y mares regresa a la atmósfera, en forma de vapor. Debido a que hay un constante intercambio de moléculas de agua entre la superficie evaporante y la parte atmosférica inmediatamente sobre ella. La evaporación es función de la radiación solar, de la diferencia en presión de vapor entre la superficie del agua y el aire circundante, de la velocidad del viento, de la presión de vapor y de la calidad del agua evaporante. (Benítez, A., 1963).

3.2.11 Transpiración

Este ocurre entre el suelo, las plantas y la atmósfera. El suelo actúa como un reservorio de agua, del cual las plantas extraen el agua para transportarlas en el sistema de raíces, tronco y ramas, por un sistema de conducción de baja resistencia llamado xilema. Las hojas contienen células mesofílicas esponjosas en su superficie desde la cual se produce la evaporación, estos son los llamados orificios estomatales por donde se escapa el vapor de agua hacia la atmósfera. La razón de transpiración se determina dividiendo el peso de agua transpirado por una planta durante su crecimiento y el peso de material producido por la misma. (Benítez, A., 1963).

3.2.12 Evapotranspiración

Es el resultado del proceso por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente, o a través de las plantas, vuelve a la atmosfera en forma de vapor, es decir, la evapotranspiración es la suma de la transpiración más la evaporación, y el término, sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando los estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua. Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y grado de desarrollo de la planta, la misma se muestra en la Tabla 3.2 (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

Tabla 3.2 Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Grassi, 1976), en (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

PROFUNDIDAD DE RAÍCES	
Cultivo	Metros
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1,7
Banano	0,5-0,8
Caña de azúcar	1,20-2
Frijol	0,5-0,7
Cebolla	0,3-0,5
Cítricos	1,20-2,0
Zacate	0,3-0,5
Bosques	2,0-3,0

En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca. Esta evapotranspiración promedio de la cuenca, la asumiremos que es igual a la evapotranspiración potencial (ETP). (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

3.2.13 Fracción de lluvia interceptada por el follaje

Se define como coeficiente de follaje (Cfo) el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno. Para el 12% de retención $Cfo = 0.12$. Para el 20 de retención $Cfo = 0.20$. (Schosinsky, G. 2006)

3.2.14 Escorrentía

Es la parte de lluvia que ni se infiltra en el terreno ni se pierde por evaporación, y que por consiguiente, discurre libremente sobre la superficie del suelo formando cursos de agua superficial. (Benítez, A., 1963).

3.2.15 Escorrentía superficial

Es aquella que alcanza el punto considerado, habiendo circulado siempre sobre la superficie del terreno, esta es asimilable a la escorrentía directa. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. (Schosinsky, G., y Losilla, M., 2000).

.2.16 Escorrentía directa

Es aquella que pasa poco tiempo sobre la superficie del terreno después de haber llovido o de haberse fundido las nieves. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.17 Escorrentía subterránea

Es aquella que llega al punto después de haber circulado un trayecto más o menos largo dentro de un acuífero o embalse subterráneo. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.18 Esguurrimiento

Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. El flujo superficial se produce mientras el agua no llegue a cauces bien definidos, una vez que llega a este se convierte en esguurrimiento en corrientes (Bolinaga, J., 1999).

3.2.19 Tiempo de concentración

En el caso del método racional, el tiempo de concentración es igual al tiempo que se tarda una gota de agua en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio en cuestión. (Bolinaga, J., 1.999):

3.2.20 Tipos de aguas

3.2.20.1 Magmáticas

Son primitivas, brotan en relación con los filones metálicos o eruptivos, poseen temperaturas elevadas de más de 50° C., tienen un caudal, composición y temperaturas constantes, las sales de calcio, magnesio y los nitritos son raros o no existen. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.2 Telúricas

Son aguas de filtraciones, que brotan de cualquier terreno, es decir, sin relación directa con los filones metálicos o eruptivos; su caudal es variable según el régimen de lluvias y estaciones, la temperatura no es demasiado elevada (de menos de 50° C.), la mineralización es tenue y su concentración está en relación inversa al caudal, no tiene elementos con características de emanaciones metálicas o de metaloides profundos (boro, flúor, cobre, nitrógeno, etc.) sino en presencia de oxígeno. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.3 Aguas potables

El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según unas normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.4 Agua pura

Se obtiene por destilación en los laboratorios, de esta manera se separan los gases y sales en disolución. (CORPOVEN, 1991)

3.2.20.5 Agua dura

Es aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio, son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.6 Aguas connatas

Las aguas connatas son aquellas que han estado encerradas en sistemas hidráulicos cerrados y no han formado parte del ciclo geológico por una cantidad considerable de tiempo geológico; aguas formadas al mismo tiempo que las rocas que las contienen. Estas aguas no circulan, pero se mueven a través de los sedimentos como parte del proceso de compactación y migración. Las aguas connatas generalmente son saladas, contienen de 20000 a 25000 mg/l de sólidos disueltos y se caracterizan por presentar altas concentraciones de sulfatos y carbonatos. (CORPOVEN, 1991).

Es importante resaltar que por su naturaleza las aguas connatas van desde agua fresca en ambientes sedimentarios continentales hasta salinas en ambientes marinos, pudiendo ser modificadas por las reacciones químicas que ocurren en el subsuelo durante la compactación y diagénesis o al mezclarse con aguas meteóricas. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.7 Aguas meteóricas

Geológicamente las aguas meteóricas son aquellas de reciente contacto con el ciclo hidrológico, su edad es menor que la de las rocas que la contienen. Aquí se incluyen el agua de lluvia y nieve, aguas superficiales y aguas subterráneas en movimiento. Químicamente las aguas meteóricas se caracterizan por presentar bajas concentraciones de sólidos disueltos, su valor por lo general, es menor de 10000 mg/l y normalmente presenta cantidades considerables del ion carbonato.

El agua meteórica es menos salada que el agua connata y tiene un rango más amplio de composición química. No hay un incremento sistemático de la

concentración con la profundidad. Usualmente contienen cantidades considerables del ión carbonato y escasamente contienen calcio y magnesio. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.8 Aguas termales

Estas pueden ser magmáticas, que proceden de las profundidades de la tierra y que contienen iones metálicos, o bien radiactivos, junto a su elevada temperatura. También pueden ser juveniles, que son aguas de fuentes resurgentes de la circulación subterráneas de aguas infiltradas por fisuras de las capas rocosas o especiales terrenos porosos, se forma así el agua geotermal. Cada tipo de agua termal depende de la profundidad y de los terrenos por los cuales atraviesa y de las características del terreno donde surja. (CORPOVEN, 1991). (Figura 3.2)



Figura 3.2 Aguas termales de Moisés
Venezuela. (CORPOVEN, 1991).

3.2.20.9 Aguas juveniles

Las aguas juveniles son aquellas que ascienden desde el manto de la tierra y nunca han formado parte del Ciclo Hidrológico, son difíciles de identificar con precisión. (Soto, C. 1977).

3.2.21 Humedad del suelo

Se emplea para referirse al agua retenida por el suelo, y así distinguirla del agua subterránea propiamente dicha. Los procedimientos más exactos para medirla son los de laboratorio, siempre que la muestra del suelo se extraiga y transporte con las debidas precauciones para conservar íntegra su humedad. Pero en la práctica, es útil y rápido el determinar (in situ), la humedad del suelo y para ello se emplean diversos métodos y aparatos, que deben ser previamente calibrados con medidas de laboratorio. Algunos son: Bloques porosos absorbentes

1. Tensiómetros
2. Métodos que relacionan conductividad eléctrica del suelo con su contenido de humedad
3. Métodos geofísicos. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.22 Humedad equivalente

Es el grado de humedad, determinado en el laboratorio, de una muestra que se ha sometido a una fuerza centrífuga 1000 veces superior a la de la gravedad (presión de 10 atmósferas aproximadamente) durante un tiempo de unos 40 minutos. El hecho de esta determinación se debe a que la humedad equivalente es un valor muy próximo al de capacidad de campo y sustituye su determinación. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.23 Capacidad de campo

Es el grado de humedad de una muestra que ha perdido su agua gravífica. Este concepto es de gran importancia en agricultura ya que en la zona de acción de las

plantas representa el agua que, transcurrido un tiempo generalmente unos tres (3) días, después de un riego o de una lluvia, queda en el terreno, parte de la cual podrá ser aprovechada por la vegetación para sus funciones biológicas. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.24 Punto de marchitez permanente

Es el grado de humedad de un suelo que rodea la zona radicular de la vegetación, tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la de retención del agua por el terreno y en consecuencia las plantas no pueden extraerla. Al igual que la capacidad de campo es un concepto eminente agronómico, pero que juega un importante papel en fenómenos como la evapotranspiración de indiscutible influencia sobre el ciclo hidrológico. Su determinación en laboratorio, sigue un método similar al empleado para determinar la humedad equivalente, sometiendo la muestra a presión centrífuga del orden de 15 atmósferas y hallando después su grado de humedad. Naturalmente su valor real depende del tipo de vegetación que exista sobre el suelo, y solo a partir de experiencias de marchitamiento de plantas podrá obtenerse en cada caso. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.25 Nivel freático

Cuando la precipitación cae en el continente, una parte se evapora, otra parte se escapa por escurrimiento en las corrientes, la otra satura el suelo. A medida que esta agua baja hacia la superficie, alguna cantidad se adhiere al material por el cual se mueve y detiene su descenso, esta región se conoce con el nombre de zona de aeración y el agua que se queda en su interior se le denomina agua suspendida. Por lo tanto, los espacios porosos de esta zona contienen tanto aire como agua. (Wicander y Monroe, 1999 en Barrios, R., 2010).

Debajo de la zona de aeración, se encuentra la zona de saturación, donde todos los poros están llenos de agua subterránea. La base de la zona de saturación varía de un lugar a otro, pero regularmente se extiende a la profundidad en la que se halla una capa impermeable o hasta donde la presión confinada cierra todos los espacios abiertos. La franja capilar se extiende irregularmente hacia arriba algunos centímetros a varios metros, a partir de la zona de saturación. En esta región el agua asciende a causa de la tensión superficial, en forma muy parecida a como asciende el agua en una toalla de papel.

La superficie que separa la zona de aeración de la zona inferior de saturación se le conoce con el nombre de nivel freático. En general la configuración del nivel freático es una copia menor del terreno superficial; es decir sus mayores elevaciones están debajo de las colinas y las menores en los valles. Sin embargo, en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas el nivel freático es bastante plano y está por debajo del nivel de los valles fluviales.

Varios factores contribuyen a la configuración superficial del nivel freático de una determinada región, entre los cuales se pueden mencionar. Las diferencias regionales en la cantidad de lluvias, permeabilidad y la velocidad del movimiento del agua subterránea. (Wicander y Monroe, 1999 en Barrios, R., 2010).

3.2.26 Polígonos de Thiessen

El fundamento teórico de este método, consiste en atribuir a cada pluviómetro una zona de influencia determinada. Estas zonas quedan delimitadas de forma que un punto situado dentro de ellas este siempre más cercano, en distancia horizontal, del pluviómetro cuyos datos se consideran que de cualquier otro pluviómetro. (Benítez, A., 1963).

3.2.27 Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas se pueden definir como el agua almacenada en los espacios abiertos de las rocas y el material sin consolidar del subsuelo, es decir son las que se filtran por las fisuras de las rocas , o por las grietas , para penetrar en el subsuelo para formar corrientes , manto y empapar las rocas porosas..

Sobre las aguas subterráneas Wicander y Monroe (1999), en Barrios, R., (2010), en señalan los siguientes aspectos:

3.2.27.1 Porosidad, permeabilidad y transmisibilidad

La porosidad y la permeabilidad son propiedades físicas importantes de los materiales terrestres, además, de que son, en gran parte, la causa de la cantidad, disponibilidad y movimiento del agua subterránea. El agua se infiltra en la tierra porque el suelo, los sedimentos y las rocas tienen espacios abiertos o poros.

“La porosidad es el porcentaje del volumen total de un material que es un espacio poroso o intersticial. La mayoría de las veces la porosidad consiste en los espacios entre las partículas del suelo, los sedimentos y las rocas sedimentarias; también hay otro tipo de porosidad formado por grietas, fracturas, fallas y vesículas de las rocas volcánicas” (Wicander y Monroe, 1999 en Barrios, R., 2010).

Por consiguiente, la porosidad varía entre los distintos tipos de rocas y depende del tamaño, la forma y la disposición del material que compone la roca. Por lo tanto, todas las rocas ígneas y metamórficas, así como muchas calizas y dolomías, poseen una porosidad muy baja porque están compuestas de cristales firmemente unidos, no obstante, su porosidad aumenta si fracturan o disuelve el agua subterránea. (Wicander y Monroe, 1.999 en Barrios, R., 2010).

Aunque la porosidad determina la cantidad de agua subterránea que puede retener una roca, no garantiza que se pueda extraer el agua, por cuanto la capacidad de un material para transmitir los fluidos es su permeabilidad, ésta depende no solo de la porosidad, sino también del tamaño de los poros o fracturas y sus interconexiones. (Wicander y Monroe, 1.999 en Barrios, R., 2010).

➤ Porosidad: Es el volumen poroso por unidad de la formación. Es la fracción del volumen total de una muestra que está ocupada por poros o espacios vacíos. La porosidad está representada por la letra griega ϕ . (Schlumberger, 1999).

La porosidad de las formaciones del subsuelo puede cambiar considerablemente. Los carbonatos densos (calizas, y dolomitas) y las evaporitas (sales, anhidritas y yeso) pueden tener cero porosidad, para todos los efectos prácticos. Por su parte, las areniscas bien consolidadas pueden tener de 10% a 15% de porosidad, mientras que las no consolidadas pueden tener un 30% más de porosidad; mientras que las lutitas o arcillas pueden tener una porosidad mayor de 40% llena de agua pero generalmente estos poros individualmente considerados, son por lo general tan pequeños, que la roca es impermeable al flujo de los fluidos. (Schlumberger, 1999). (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Clasificación cualitativa de la porosidad. (Schlumberger, 1999).

Clasificación	Φ (%)
Despreciable	<5
Baja	5< Φ <10
Buena	10< Φ <20
Excelente	>20

La porosidad depende principalmente de los siguientes factores:

- a. El empaque geométrico,
- b. El escogimiento,
- c. La cementación,
- d. La angularidad y el grado de redondez,
- e. La granulación y
- f. La solución de minerales a través de aguas circulantes (aumenta la porosidad). (Schlumberger, 1999).

3.2.28 Movimiento del agua Subterránea

La velocidad del agua subterránea varía enormemente y depende de muchos factores. La velocidad va de 250 m por día en algunos materiales extremadamente permeables, a menos de algunos centímetros por años en los materiales casi impermeables. En la mayoría de los acuíferos ordinarios la velocidad promedio del agua subterránea es de algunos centímetros por día. (Wicander y Monroe, 1.999 en Barrios, R., 2010).

La gravedad proporciona la energía para el movimiento descendente del agua. Por consiguiente, el agua que penetra en el suelo pasa por la zona de aeración y la de saturación. Cuando llega al nivel freático, el líquido continúa su movimiento por la zona de saturación, desde las áreas en las que este nivel está más elevado hacia

aquellas donde es más bajo, como en las corrientes, lagos y lagunas. (Wicander y Monroe, 1.999 en Barrios, R., 2010).

3.2.29 Modificaciones del sistema de agua subterránea y sus efectos

La densidad demográfica y la superpoblación han conllevado al uso irracional del agua subterránea en la mayoría de los países del mundo, por consiguiente sino se hace uso de la misma con más prudencia, en el futuro no habrá una provisión suficiente de agua subterránea pura, por cuanto se han producido grandes modificaciones en el sistema de producción de este recurso natural valioso, lo cual puede traer muchas consecuencias , entre las que se destacan: 1) Descenso del nivel freático, lo cual hace que los pozos se sequen; 2) pérdida de presión hidrostática, causante de que los pozos que tenía flujo libre deben ser bombeados ; 3) intrusión de agua salada; 4) hundimientos, y 5) contaminación del suministro de agua subterránea. (Wicander y Monroe, 1.999 en Barrios, R., 2010).

3.2.30 Caracterización de Sistemas de Agua Subterránea

Un acuífero es una formación geológica capaz de suministrar agua subterránea útil a pozos y manantiales. (Banco Mundial, 2011).

Todos los acuíferos tienen dos características fundamentales: capacidad de almacenar agua subterránea y capacidad de permitir el flujo del agua subterránea. Pero el grado en que se presentan estas propiedades varía mucho de una formación geológica a otra y su magnitud puede variar con la estructura geológica, de unos cuantos km² a muchos miles de km². (Banco Mundial, 2011).

Los elementos más importantes de la diversidad hidrogeológica son: gran variación de la capacidad de almacenamiento de la unidad acuífera (almacenaje), entre sedimentos granulares no consolidados y rocas fracturadas muy consolidadas

gran variación del espesor saturado del acuífero entre diferentes tipos de depósitos, lo que da como resultado un amplio rango de potencial de flujo de agua subterránea (transmisibilidad), (Banco Mundial, 2011).

3.2.31 ¿Cómo fluye el agua subterránea?

El vasto almacenamiento de muchos sistemas de agua subterránea (mucho mayor que el de los embalses más grandes hechos por el hombre) es su característica más distintiva. Como consecuencia, la mayor parte del agua subterránea está en movimiento lento continuo desde áreas de recarga natura (producto de la precipitación que excede los requerimientos de las plantas) hacia las áreas de descarga de los acuíferos (como manantiales e infiltración hacia cursos de agua, humedales y zonas costeras). (Banco Mundial, 2011).

Se pueden encontrar formaciones de agua dulce más profundas, pero la extracción de este recurso frecuentemente da como resultado una infiltración inducida de los acuíferos suprayacentes y no la intercepción de un flujo importante de agua subterránea profundo e independiente. El almacenamiento de un acuífero transforma regímenes de recarga natural muy variables en regímenes de descarga natural más estables. También da como resultado tiempos de residencia de agua subterránea que por lo general se calculan en décadas o siglos y en ocasiones incluso en milenios, con grandes volúmenes de la llamada ‘agua subterránea fósil’ (reliquia de episodios pasados de clima diferente) que aún permanecen almacenados. (Banco Mundial, 2011).

En sitios en los que los acuíferos se encuentran bajo estratos mucho menos permeables, las capas suprayacentes de estos últimos confinan (en diverso grado) las aguas subterráneas de los acuíferos. Esto da como resultado cierto grado de aislamiento de la superficie del terreno inmediatamente suprayacente, pero no del

sistema de agua subterránea en general. El abatimiento del manto freático inducido por el bombeo de la sección confinada de un acuífero a menudo se propaga rápidamente a la sección no confinada. En diversos escenarios hidrogeológicos, se pueden superponer capas de acuíferos no profundos no confinados y profundos confinados con infiltraciones hacia abajo y hacia arriba entre capas, según las condiciones locales, (Banco Mundial, 2011).

3.2.32 Calidad de las Aguas Subterráneas

Las características físicas y químicas de las aguas subterráneas dependen de varios factores. Los tres principales son: ambiente climático, ambiente geológico y acción del hombre o contaminación. El agua subterránea tiende a ser dulce (es decir, de muy baja salinidad) y potable (puede ser bebida sin riesgo). Sin embargo en ocasiones las capas freáticas son demasiado ricas en sales disueltas como para ser consumida, y eso mismo puede resultar inconveniente también para otros usos determinados. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

La circulación subterránea tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos, pero en ocasiones éstos llegan al acuífero por contaminación debida a los usos humanos, como fosas sépticas o residuos agrícolas. El agua subterránea puede contaminarse por otras causas antropogénicas, como la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy solubles usados en la agricultura, que suele ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población. Algunos contaminantes se originan de la erosión natural de las formaciones rocosas. Otros contaminantes provienen de descargas de fábricas, productos agrícolas, o químicos utilizados por las personas en sus hogares y patios. Otras causas la forman los abonos químicos minerales, especialmente los nitratos, que son el contaminante inorgánico más conocido y quizás uno de los que genera mayor preocupación. (Custodio, E. y Llamas, M., 1976).

3.2.33 Relación entre agua subterránea y agua superficial

Diagnosticar la relación entre el agua superficial con un acuífero subyacente es un componente importante de la caracterización de sistemas de agua subterránea. Es importante distinguir entre: arroyos y ríos de los que depende un acuífero como fuentes significativas de su recarga total ríos que a su vez dependen significativamente de la descarga de un acuífero para mantener su flujo en estiaje. Las relaciones más comunes se presentan en la Figura 3, aunque se debe resaltar que en algunos casos los ríos pueden fluctuar, según la estación, entre dos de las condiciones descritas. (Banco Mundial, 2011).

Este paradigma aceptado comúnmente puede ser falso y llevar a una seria ‘doble contabilización de recursos’ en las regiones más áridas – las tasas de recarga varían con la derivación o el control del caudal del río, modificaciones a la irrigación con agua superficial, cambios en la vegetación natural o tipo de cultivos en las zonas de recarga, reducción de las fugas de redes urbanas de abastecimiento de agua y de la filtración de aguas residuales in-situ, descenso del manto freático, etc. (Banco Mundial, 2011).

Se pueden hacer las siguientes observaciones genéricas sobre los procesos de recarga de los acuíferos: las áreas con aridez creciente tienen una tasa más baja y menos frecuente de flujo descendente hacia el manto freático y, por lo general, la recarga por precipitación directa se vuelve progresivamente menos importante que la recarga indirecta por escurrimiento superficial y la recarga artificial incidental que proviene de la actividad humana las estimaciones del componente directo de recarga por precipitación casi siempre resultan más confiables que las del componente indirecto de recarga por escurrimiento. (Banco Mundial, 2011).

3.2.34 Contaminación de los Acuíferos

Se suelen distinguir dos tipos de procesos contaminantes de las aguas subterráneas: los "puntuales" que afectan a zonas muy localizadas, y los "difusos" que provocan contaminación dispersa en zonas amplias, en las que no es fácil identificar un foco principal. (Echarri, L., 1988).

Actividades que suelen provocar contaminación puntual son:

- a. Lixiviados de vertederos de residuos urbanos y fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.
- b. Lixiviados de vertederos industriales, derrubios de minas, depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados, gasolineras con fugas en sus depósitos de combustible, entre otras.
- c. Pozos sépticos y acumulaciones de excrementos líquidos procedentes de las granjas.

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. La dirección que sigue el flujo del agua del subsuelo influye de forma muy importante en determinar en qué lugares los pozos tendrán agua contaminada y en cuáles no. Puede suceder que un lugar relativamente cercano al foco contaminante tenga agua limpia, porque la corriente subterránea aleja el contaminante de ese lugar, y al revés. (Echarri, L., 1988).

La contaminación difusa suele estar provocada por:

- a. Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- b. Explotación excesiva de los acuíferos que facilita el que las aguas salinas invadan la zona de aguas dulces, por desplazamiento de la interface entre los dos tipos de aguas.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas. (Echarri, L., 1988).

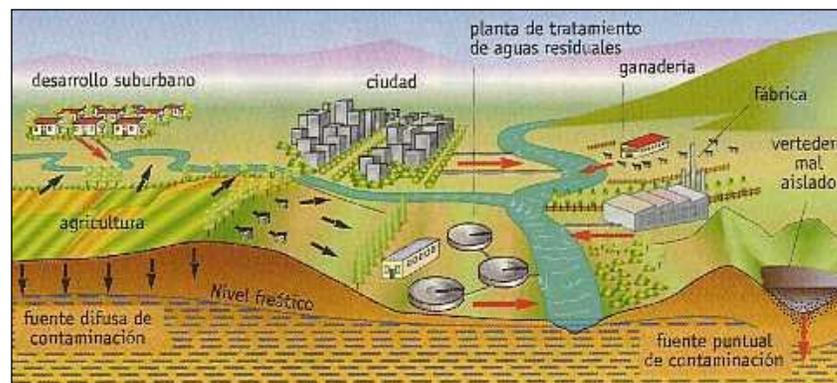


Figura 3.3. Fuentes Puntuales y Difusas de Contaminación de las Aguas Subterráneas (Echarri, L., 1988).

3.2.35 Caracterización geológica de los yacimientos

3.2.35.1 Modelo estratigráfico

El objetivo básico del modelo estratigráfico es demostrar la arquitectura de las unidades de flujo presentes en el área determinada y su incidencia en la generación del modelo sedimentológico. (PDVSA-CIED, 1997).

El primer paso para la construcción de éste consiste en realizar una correlación regional con perfiles o registro eléctricos de pozos y a la vez una correlación detallada del horizonte estratigráfico prospectivo basándose en marcadores litológicos confiables en el área, tales como lutitas marinas y lignitos, que muestran buena continuidad lateral en la secuencia sedimentaria y que se aprecian en los registros. (PDVSA-CIED, 1997).

3.2.35.2 Modelo estructural

El objetivo de este proceso es definir la orientación y geometría de los elementos estructurales del área de estudio que pudieran intervenir en el entrapamiento del yacimiento de interés y permiten determinar la posición exacta del yacimiento en el subsuelo. La estructura a diferencia de la sedimentación, es un aspecto geológica de gran consistencia a lo largo de la secuencia estratigráfica, y de importancia al momento de definir eventos tectónicos. (Holmes, A., 1962).

La construcción del modelo estructural se basa en la sísmica y registros de pozos con el objeto de demostrar la profundidad de las estructuras a través de mapas estructurales de topes marcadores y planos de fallas. (PDVSA-CIED, 1997).

El Datum en las secciones estructurales es un valor numérico de profundidad desde el cual se cuelgan los perfiles de los pozos que se estudien. La dirección o rumbo de este tipo de secciones depende del objetivo para la cual se realiza; si el objetivo es mostrar las mayores prominencias estructurales, las secciones se realizan en dos direcciones, paralela al eje de la estructura y perpendiculares a la misma, en esta última se muestra el buzamiento real de la estructura como fallas existentes. (Holmes, A., 1962).

3.2.35.3 Modelo sedimentológico

La caracterización sedimentológica de un yacimiento comprende una serie de procesos cuya finalidad es establecer la geometría, orientación, distribución y calidad física de los depósitos. Esta información es posteriormente integrada con la proveniente de otras disciplinas permitiendo establecer la arquitectura de unidades de flujos y los yacimientos presentes en el área. (Holmes, A., 1962).

3.2.36 Correlación

La correlación puede ser definida como la determinación de unidades estratigráficas o estructurales equivalentes en tiempo, edad, o posición estratigráfica. Con el propósito de preparar secciones y mapas del subsuelo, las dos fuentes principales de data de correlación son las secciones sísmicas y los perfiles eléctricos de pozos. Fundamentalmente, las curvas de registros de pozos eléctricos son usadas para delinear los límites de las unidades del subsuelo. (Rivadulla, R., 2004).

Una correlación precisa es sumamente necesaria para una interpretación geológica confiable. La data presentada por un registro de pozo es representativa de las formaciones del subsuelo encontradas en una perforación. Un registro correlacionado proporciona información del subsuelo, como los topes y bases de las formaciones, profundidad y tamaño de fallas, la litología, profundidad y espesor de las zonas productivas, porosidad y permeabilidad de zonas productivas y profundidad a las disconformidades. La información obtenida de los registros correlacionados es la materia prima usada para la preparación de mapas del subsuelo. Estos incluyen fallas, estructuras, saltos, discordancias y una variedad de mapas Isópaco o de espesor. En general, la correlación consiste en comparar la información existente entre diferentes pozos, para establecer un corte geológico de un área, lo cual requiere conocer los siguientes datos básicos de un pozo: la profundidad del horizonte

seleccionado (tope y base), la altura de la mesa rotaria con referencia al nivel del mar (E.M.R) y la profundidad vertical verdadera (TVD). (Rivadulla, R., 2004).

Para el trabajo de correlación, es mejor correlacionar registros de pozos que tienen el mismo tipo de curvas; sin embargo, esto no siempre es posible. (Rivadulla, R., 2004).

3.2.37 Terminología general en las medidas de los registros

El conocimiento de varias medidas de profundidad en los registros es importante para convertir las profundidades de los registros a profundidades usadas para el mapeo. La siguiente es una lista de medida, sus abreviaciones, y definiciones de términos en profundidad. (Rivadulla, R., 2004). (Figura 3.4).

1. KB: distancia desde la mesa rotatoria al nivel del mar.
2. MD (Profundidad medida): distancia medida a lo largo de la senda de un pozo taladrado desde el KB al TD (profundidad total del pozo) o cualquier punto de correlación entre ellos.
3. TVD (Profundidad vertical verdadera): distancia vertical desde el KB a cualquier punto del subsuelo.
4. SSTVD (Profundidad vertical verdadera del nivel del mar): distancia vertical desde el nivel del mar a cualquier punto del subsuelo.
5. Pozo vertical: pozo perforado con 90° respecto a la horizontal, usualmente el nivel del mar.

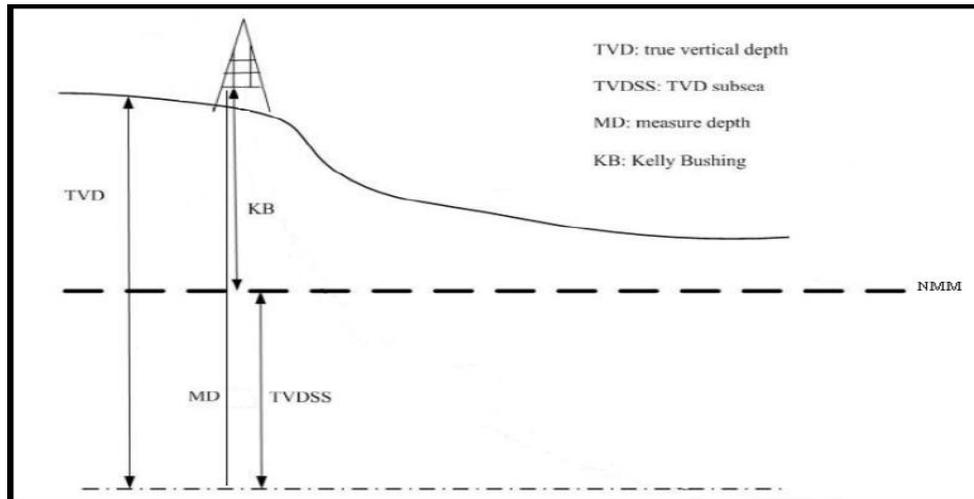


Figura 3.4 Diagrama que muestra la terminología general de medidas de registros. (PDVSA-CIED, 1997)

La medida SSTVD es la única medida de profundidad desde un datum común de referencia, el nivel del mar. Por lo tanto, SSTVD es la profundidad más frecuentemente usada para el mapeo.

El registro de las medidas de profundidad de un pozo vertical o direccional para el mapeo son usualmente corregidas para SSTVD. Para pozos verticales el SSTVD = $KB - TVD$. (Rivadulla, R., 2004).

3.2.38 Mapas geológicos

Se definen de una manera muy general como aquellos que muestran la distribución de las rocas y la forma o distribución de las estructuras geológicas, bien sean de la superficie o del subsuelo. (Rivadulla, R., 2004).

Los mapas más utilizados en geología de yacimientos es el mapa estructural, el mapa isópaco, mapa de facies, el mapa de superficie de fallas, los mapas de

isopropiedades, los mapas de geoquímica y geofísicos entre otros que contemplan con su información el modelo geológico establecido. (Rivadulla, R., 2004).

3.2.38.1 Mapas estructurales

Los mapas estructurales del subsuelo por lo general son construidos para horizontes estratigráficos específicos, con el fin de mostrar en una forma plana las formas geométricas tridimensionales de estos horizontes. Dichos mapas son elaborados a partir de la correlación de datos obtenidos de registros de pozos e interpretaciones de secciones sísmicas. Por lo tanto, uno de los parámetros primarios a considerar en el desarrollo de una interpretación estructural razonable es la correcta elaboración de las correlaciones. (Rivadulla, R., 2004).

Está conformado por los contornos o curvas estructurales; estas son curvas que conectan puntos de igual valor con respecto a un nivel de referencia (generalmente el nivel del mar, por lo que a cada profundidad le sustrae el valor correspondiente a la mesa rotatoria). Estos no se cruzan ellos mismos, ni se cruzan a otros. Pasan entre puntos que tienen mayor o menos valor que el del contorno. Los intervalos deben ser constantes para todo el mapa. Su trazado da información sobre el rumbo del estrato mapeado, el buzamiento del mismo, la morfología de la estructura (pliegues, anticlinales, homoclinales, entre otros.), el desplazamiento y trazas de fallas. (Rivadulla, R., 2004).

3.2.38.2 Mapas de electrofacies

Son mapas que representan las condiciones paleográficas reinantes durante el tiempo de depositación de las arenas, haciendo uso de las electrofacies. Las electrofacies son las respuestas del perfil de pozo ante una determinada litología saturada de fluidos, que permite establecer una columna litológica vertical, para

identificar secuencias sedimentarias y correlacionar secciones de un pozo a otro. Los perfiles más utilizados con esta finalidad son potencial espontáneo y rayos gamma. (Rivadulla, R., 2004).

El mapa de electrofacies tiene como finalidad mostrar la naturaleza y la dirección de las gradaciones que puede sufrir un horizonte en particular, podemos visualizar la distribución de las distintas facies identificadas en cada pozo, lo que permite compararlas con otros atributos de las arenas, para así complementar la evaluación de las condiciones de estas con respecto a la posición estructural, geometría, extensión y características de producción. (Rivadulla, R., 2004).

3.2.38.3 Mapas isópacos

Es la representación cartográfica de las variaciones en espesor de cuerpos o de entidades en el subsuelo. Un mapa isópaco es extremadamente útil debido a que proporciona información directa sobre el lugar de máximo espesor, o de la terminación lateral de las formaciones porosas o permeables que pueden coincidir con trampas estratigráficas; además de proporcionar las bases para la interpretación de la historia geológica de una región durante la sedimentación de las formaciones consideradas, la forma de la cuenca, la posición de la línea de costa, áreas de levantamiento, entre otras. (PDVSA-CIED, 1997).

3.2.38.4 Mapas isópacos de arena neta

Son representaciones en un plano horizontal del espesor permeable de un cuerpo de arena. (PDVSA-CIED, 1997).

3.2.39 Cuenca hidrográfica

Es una zona de la superficie de la terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (Aparicio, F., 1992).

3.2.39.1 Características morfométricas de la cuenca

La morfometría de cuencas hidrográficas y de drenajes, es una herramienta que permite determinar características importantes de forma y comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico, que más adelante se convierten en base para el análisis de particularidades de cada una de las cuencas y para la posterior formulación de líneas de manejo prioritarias, relativas a la red hídrica. (Aparicio, F., 1992).

- El parteaguas: es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. (Aparicio, F., 1992).
- El área de la cuenca (Km²): es define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas. (Aparicio, F., 1992). Esta área corresponde a toda la superficie drenada por la microcuenca, la cual intercepta el cauce principal en un producto de interés. (CVG-TECMIN, 2009).
- La corriente principal de una cuenca: es la corriente que pasa por la salida de la misma, esta se aplica solo a las cuencas exorreicas, las demás corrientes de una

cuenca se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene una y sólo una corriente principal. Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias o a los puntos de salida, son llamadas cuencas tributarias o subcuenca. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación. Por ello, se han propuesto un cierto número de indicadores de dicho grado de bifurcación, algunos de los cuales son los siguientes:

1. El orden de corrientes: este orden es el mismo que el orden de una cuenca. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, pero, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3.
 2. La densidad de corrientes (D_s): definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área.
 3. La densidad de drenaje (D_d): definida como la longitud de corrientes por unidad de área. $D_s = \frac{N_s}{A}$, $D_d = \frac{L_s}{A}$, donde N_s : número de corrientes perennes e intermitentes. L_s : longitud total de las corrientes y A : área de la cuenca. (Aparicio, F., 1992).
- Patrón de drenaje: la distribución espacial de los drenajes en una cuenca se denomina patrón. Esta distribución está directamente relacionada con aspectos físicos de la cuenca como material parental, presencia de fallas, topografía, etc. En líneas generales, la determinación del patrón de drenaje en una cuenca, permite

describir la relación de la red hídrica con las características fisiográficas del espacio en que se desarrolla. (Aparicio, F., 1992).

- Régimen: el régimen de un drenaje está definido por la disponibilidad de agua en su cauce, en función de las épocas de lluvia, y de grados de alteración del terreno. De esta forma se clasifican los drenajes en permanentes, si el flujo de agua por su cauce es continuo en cualquier época del año y a lo largo de todo el curso, semi-permanentes si el flujo hídrico está influenciado directamente tanto por las épocas de lluvia como por los cambios presentes a lo largo del cauce por uso del suelo principalmente, que hacen profundizar el flujo y presentar discontinuidad superficial, y finalmente intermitentes cuando se presenta flujo superficial de agua solo en épocas de invierno. (Aparicio, F., 1992).
- Pendiente media del cauce principal (S_m): establece la inclinación promedio que tiene los cauces desde el nacimiento hasta su desembocadura. La pendiente se determina usando la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{D_v}{L}$$

Donde:

1. S_m : Pendiente media del cauce principal
2. D_v : Desnivel del cauce. (Diferencia de cotas desde la naciente y la desembocadura).
3. L : Longitud del cauce principal.

- **Perímetro:** Corresponde a la medida longitudinal en Km de la línea divisoria o parteaguas. (CVG-TECMIN, 2009).
- **Longitud axial (Lax):** Se expresa en Km y es la distancia en línea recta medida desde la desembocadura del colector principal hasta el punto más alejado de la microcuenca. (CVG-TECMIN, 2009).
- **Longitud del cauce principal (L):** Se refiere al recorrido en Km del cauce principal de la microcuenca, desde su nacimiento hasta el punto de cierre. En el caso de las cabeceras del cauce estén fuera del área de estudio, esta longitud se referirá únicamente al recorrido localizado dentro del área. (CVG-TECMIN, 2009).
- **Tiempo de concentración (Tc):** Es el tiempo requerido por un volumen unitario de escurrimiento superficial, para trasladarse desde el punto más remoto en la divisoria de la cuenca hasta la salida, $T_c = \left(\frac{0,886 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$ en horas.

Donde:

1. L: es la longitud del cauce principal (Km).
 2. H: es la diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m). (CVG-TECMIN, 2009).
- **Factor de Forma (Ff):** Es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca, y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. (Aparicio, F., 1992). Aquellas que poseen un del factor forma cercana a 0.875,

valor ideal de una cuenca estrictamente circular, diremos que estamos en presencia de cuencas hidrográficas productoras de crecientes. Dos cuencas que tengan igual área y semejantes características fisiográficas e iguales condiciones de precipitaciones, pero factores de formas diferentes, presentarán diferentes crecientes. El factor forma se determina usando la siguiente ecuación:

$$Ff = \frac{A}{Lax^2}$$

Donde:

1. Ff: Factor forma.
 2. Ac: Área de la cuenca (Km²)
 3. Lax: Longitud axial de la cuenca (Km). (Aparicio, F., 1992).
- Coeficiente de compacidad (Kc): Es una relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia con la misma superficie de la cuenca. Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):
- a. Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda
 - b. Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5 Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga
 - c. Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75 Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

K_c será siempre mayor que 1, mientras mayor sea su valor, mayor será la irregularidad de la forma circular. El coeficiente de compacidad se determina usando la siguiente ecuación:

$$K_c = 0,285 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

1. K_c : Coeficiente de compacidad
2. P : perímetro de la cuenca Km
3. A : área de la cuenca Km². (Aparicio, F., 1992).

➤ Índice de alargamiento (I_a): es otro parámetro que muestra el comportamiento de forma de la cuenca, pero esta vez no respecto a su redondez, sino a su tendencia a ser de forma alargada, en relación a su longitud axial, y al ancho máximo de la cuenca. (Aparicio, F., 1992). Aquellas cuencas que presentan valores mayores a uno, presentan un área más larga que ancha, obedeciendo a una forma más alargada, que la de aquellas donde la proporción entre largo y ancho de la cuenca, está inclinada hacia la segunda dimensión, directamente relacionada con la forma redondeada, determinada en los índices anteriores. Igualmente, este índice permite cuencas haciendo referencia a la dinámica rápida o lenta del agua en los drenajes y su potencial erosivo o de arrastre. El índice de alargamiento se determina usando la siguiente ecuación:

$$I_a = \frac{L_{max}}{A_{max}}$$

Donde:

1. Ia: Índice de alargamiento.
2. Lmax: Longitud máxima de la cuenca.
3. Amax: Ancho máximo de la cuenca. (Aparicio, F., 1992).

3.2.40 Sondeos eléctricos verticales

Un sondeo eléctrico consiste en establecer la curva de variación con la profundidad de la resistividad aparente de un terreno a través de medidas en superficie realizadas con ayuda de un dispositivo de cuatro electrodos AMNB. La profundidad de investigación puede regularse variando la distancia entre los electrodos A, B de corriente. Corrientemente se emplean las S.E.V. o S.E. para designar los sondeos eléctricos. (Astier, J., 1975).

Los dispositivos electródicos más empleados son el Schlumberger y el Wenner, ambos son rectilíneos y simétricos. Durante largo tiempo, algunos prospectores han preferido el dispositivo Wenner ya que con él, la medida de la diferencia de potencial ΔV resulta más fácil al ser mayor la distancia MN. Sin embargo, con el instrumental disponible actualmente, esta ventaja ha perdido su razón de ser y el dispositivo Schlumberger es cada día más empleado por las razones siguientes:

- a. En general, entre dos medidas sucesivas sólo se desplazan dos electrodos, lo que supone un ahorro de tiempo.
- b. Las perturbaciones debidas a heterogeneidades locales en la proximidad de los electrodos MN, o AB, son limitadas y fácilmente comprobables por lo que no supone ninguna dificultad la eliminación de su influencia. (Astier, J., 1975).

La escuela Schlumberger, que es la seguida por la mayoría de los geofísicos, expresa la resistividad aparente ρ_a en función de la distancia $AB/2$ y la representación grafica se hace en coordenadas logarítmicas. El que en abscisas se representen los valores de $AB/2$ o una fracción constante de $AB/2$. La adopción de coordenadas logarítmicas está justificado para las dos (2), razones siguientes:

- a. Poner de manifiesto que en prospección eléctrica la influencia de una capa disminuye con su profundidad.
- b. Dar el mismo valor a las variaciones de resistividad de las capas conductoras y de las resistivas. (Astier, J., 1975).

3.2.40.1 Interpretación de los sondeos eléctricos

- **Primera fase:** consiste en individualizar las diferentes capas resistivas y conductoras que lo componen y calcular la resistencia transversal y calcular la resistencia transversal de las primeras y la conductancia longitudinal de las segundas. Generalmente, este trabajo se realiza por superposición a ábacos trazados en coordenadas logarítmicas. (Astier, J., 1975).
- **Segunda fase:** es la obtención de los espesores de las capas a partir de su conductancia o resistencia. Esto permite la identificación geológica de las capas y el conocimiento de su resistividad a escala regional. La identificación geológica de las capas resulta tanto más fácil cuanto menor es su número y más débil su buzamiento. Cuando la estratigrafía es más compleja y los buzamientos mayores, dicha identificación se ve facilitada por la disposición de los sondeos eléctricos en perfiles, lo que resalta la evolución de las curvas y facilita el seguir las capas de

referencia. La columna de resistividades puede establecerse con ayuda de sondeos eléctricos sobre afloramientos, de testificaciones eléctrica o, lo que es preferible, de sondeos eléctricos de calibrado al lado de perforaciones. Estos últimos permiten determinar las resistividades verdaderas de las capas. En ausencia de afloramientos y perforaciones se realiza una estimación aproximada de las resistividades teniendo en cuenta la probable naturaleza geológica de las capas y los valores limiten compatibles con la forma de las curvas de sondeos eléctricos. (Astier, J., 1975).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

4.1 Tipos de investigación

La investigación a realizarse es de tipo descriptivo ya que la investigación descriptiva comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de las condiciones existentes en el momento. Suele implicar algún tipo de comparación o contraste, y puede intentar descubrir relaciones causa-efecto presentes entre variables no manipuladas, pero reales. (Ortiz, F., 2004).

Esta investigación se orientará hacia un nivel descriptivo ya que consistirá en generar información útil, la cual nos permitirá conocer el potencial de aguas subterráneas para ser explotadas para un fin de aprovechamiento medioambiental.

Según Arias, F., (2006), la investigación descriptiva se clasifica en:

- a) Estudios de medición de variables independientes: su misión es observar y cuantificar la modificación de una o más características en un grupo, sin establecer relaciones entre éstas. Por consiguiente, en este tipo de estudio no se formulan hipótesis, sin embargo, es obvia la presencia de variables. En el presente caso con el infiltrómetro de anillo simple, se realizarán varias mediciones de infiltración en el área de estudio, obteniendo el valor de infiltración.

- b) Investigación correlacional: su finalidad es determinar el grado de relación o asociación (no casual) existente entre dos o más variables. En estos estudios, primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de

hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. Aunque la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones casuales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno. A través del análisis e interpretación de los sondeos eléctricos verticales, se efectuará la correlación con el fin de delimitar la posición de los acuíferos.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es documental y de campo, ya que una investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos y una investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (Arias, F., 2006).

En este proyecto, el diseño de la investigación es de tipo documental ya que se recopilarán datos de precipitación, insolación media mensual y evaporación, y de campo debido a que se realizará una inspección del tipo de vegetación que existe en el área de estudio y se efectuarán mediciones de infiltración.

4.3 Población de la investigación

Según Ortiz, F., (2004), la población es un conjunto formado por todos los elementos que poseen una serie de características comunes a todos ellos y en este caso la población está constituida por los acuíferos que se encuentran en el subsuelo del área de estudio.

4.4 Muestra de la investigación

Según Ortiz, F., (2004), la muestra es una parte o fracción representativa de una población, universo o colectividad que ha sido obtenida con el fin de investigar ciertas características del mismo. Por consiguiente, en esta investigación la muestra tiene las mismas dimensiones que la población.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Una investigación no tiene sentido sin la aplicación de técnicas para la recolección de información, estas conducen a la verificación del problema planteado, mientras que los instrumentos empleados llevan a la obtención de los datos de la realidad.

A continuación se describen las técnicas e instrumentos a utilizar para la recolección de los datos de esta investigación.

4.5.1 Observación directa

Según Ortiz, F., (2004), la observación es participante directa cuando el investigador forma parte activa y asume comportamiento del grupo observado obteniendo así, los datos más importantes que estén en relación directa con el problema de investigación.

4.5.2 Revisión Bibliográfica

Para llevar a cabo este trabajo resulta necesario acudir a fuentes bibliográficas que permitan ampliar los conocimientos acerca del tema en estudio. Esta técnica se basa en la obtención de información mediante la revisión de material bibliográfico tales como: textos, manuales de la organización, tesis e informes.

4.5.3 Equipos utilizados

1. Computadora
2. Escáner
3. Impresoras
4. Fotocopiadoras
5. Mapas de cuencas hidrográficas de la zona
6. Software computarizados
7. Calculadoras científicas

8. Resmas de papel bond tamaño carta
9. Estación de trabajo
10. Infiltrómetro de anillo simple
11. Cronómetro
12. GPS

4.6 Flujograma de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una metodología general, que abarca la integración de varias actividades a fin de caracterizar el acuífero, mediante técnicas y herramientas utilizadas, las cuales se pueden observar en detalle en el siguiente esquema. (Figura 4.1)

El desarrollo de esta investigación estuvo regido por el cumplimiento de las siguientes etapas:

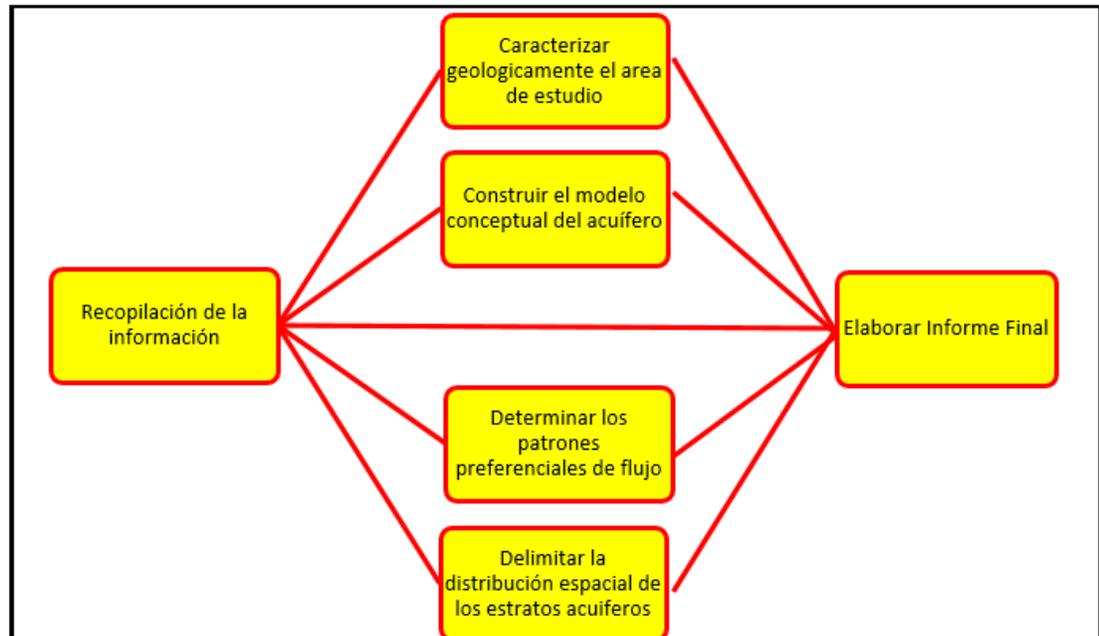


Figura 4.1. Flujograma de la investigación.

4.6.1 Búsqueda y revisión de información

Esta etapa inicial se basó en la búsqueda de material bibliográfico cartográfico y obtención de datos de campo, a fin de validar la información necesaria y revisar referencias originales y actuales del campo para dar cumplimiento con el objetivo de este estudio.

4.6.2 Delimitación del área de estudio

El área objeto de estudio, ha sido previamente ensayada por CVG-TECMIN, es por ello que se realizó la compilación y búsqueda de material y mapas que delimitan la zona de trabajo.

4.6.3 Determinación de parámetros

El potencial de las aguas subterráneas de un acuífero, representa la máxima cantidad de agua a sustraer del acuífero, para que no sea sobreexplotado. Dicho potencial se estima mediante la recarga al acuífero, que se determina conociendo en primer lugar, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje. En segundo lugar, se requiere conocer la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie. En tercer lugar, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo.

4.6.3.1 Fracción de lluvia interceptada en el follaje

Lluvias menores de 5 mm mensuales, no van a generar infiltración ya que se considera que en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por el follaje sin llegar al suelo (Schosinsky y Losilla, 2000). Además, se considera que la retención de la lluvia en follajes, es del 12% de la precipitación mensual. Sin embargo, en bosques muy densos, la retención de la lluvia se considera en un 20% (Linsley et al., 1958). Definiremos como coeficiente de follaje (C_{fo}) el porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno. Para el 12% de retención $C_{fo} = 0.12$. Para el 20 de retención $C_{fo} = 0.20$.

Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicará la siguiente ecuación:

a. Ecuación para el cálculo de la retención mensual de lluvia por follaje.

b. Si P es menor o igual a 5 mm/mes, $Ret = P$ (Ec.4.1)

- c. Si el producto $(P)(Cfo)$ es mayor o igual de 5 mm/mes, $Ret = (P)(Cfo)$ menor de 5, $Ret = 5$.

Donde:

1. P = Precipitación mensual del mes (mm/mes).
2. Ret = Retención de lluvia en el follaje (mm/mes).
3. Cfo = Coeficiente de retención del follaje, para bosques muy densos $Cfo = 0.20$, otros $Cfo = 0.12$ (adimensional).

4.6.3.2 Pruebas de infiltración

De acuerdo a los conocimientos adquiridos durante la carrera, en el área se realizaron los ensayos de infiltración, con los cuales se obtuvieron los datos necesarios de infiltración del suelo para así determinar el promedio de la misma.

En esta etapa se tomaron puntos de interés para realizar los ensayos de infiltración, a fin de obtener una serie de datos para la elaboración de gráficos de descenso y velocidad en función del tiempo, todo esto con el objetivo de determinar la infiltración promedio y la escorrentía de los suelos.

Para la realización del ensayo de infiltración se hizo un reconocimiento correspondiente de la zona en estudio, posterior a ello se ubicaron los puntos donde se requería ejecutar dicho ensayo.

Se realizaron varias infiltraciones, las cuales se ejecutaron en los puntos previamente ubicados, la elaboración de las mismas se realizó con la utilización de un infiltrómetro de anillo simple, agua y un cronómetro.

Básicamente, para el desarrollo de esta experiencia hay que enterrar el cilindro unos pocos centímetros en el suelo. Luego, se agregó agua hasta una altura no mayor a 10 cms a modo de que ejerza una carga hidráulica. Finalmente con la regla y el cronómetro, se mide la variación de la altura del agua en el tiempo. Al principio, esta variación será mayor y luego tenderá a estabilizarse. El tiempo de estabilización dependerá del tipo de suelo en el cual se esté haciendo la prueba.

Luego se tomaron las lecturas de tiempo cada vez que el nivel de agua descendía 1 cm., hasta completar las lecturas necesarias.

Uno de los factores que más influyen en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (K_{fc}), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación (Schosinsky y Losilla, 2000):

$$K_{fc} = 0.267 \ln(fc) - 0.000154 fc - 0.723 \quad (\text{Ec.4.2})$$

Donde:

1. K_{fc} (adimensional) = coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura de suelo);
2. f_c (mm/día) = Infiltración básica del suelo.

Para aplicar esta ecuación, el rango de f_c ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de f_c menores a 16 mm/día, $K_{fc} = 0.0148 f_c/16$. Para valores de f_c mayor a 1568 mm/día, $K_{fc} = 1$. Con las observaciones mencionadas en el párrafo anterior, el cálculo del coeficiente de infiltración por textura del suelo, se representa en la siguiente ecuación: (Schosinsky y Losilla, 2000):

Ecuación para calcular el coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc}):

- a. -Si f_c se encuentra entre 16 y 1568 mm/día, $K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154 f_c - 0.723$.
- b. -Si f_c es menor a 16 mm/día $K_{fc} = 0.0148 f_c/16$
- c. -Si f_c es mayor de 1568 mm/día $K_{fc} = 1$

El valor de f_c corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno. También se puede obtener con el permeámetro de Guelph o con la prueba de Porchet, ambas aplicadas a una profundidad no mayor de 30 cm. Sin embargo, pueden existir diferencias entre los métodos utilizadas.

El valor de K_{fc} , fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo, nos permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto. Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i), basado en la siguiente ecuación:

Ecuación para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo:

- a. Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es mayor de 1, $C_i = 1$
- b. Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es menor o igual a 1, $C_i = K_p + K_v + K_{fc}$ (Ec.4.3)

Donde:

1. C_i = coeficiente de infiltración (adimensional)
2. K_p = fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional)
3. K_{fc} = fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional).

El coeficiente de infiltración es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración. Los valores sugeridos de estos componentes, que conforman el coeficiente de infiltración se muestran en la Tabla 4.1.

4.6.3.3 Cálculo de infiltración pluvial mensual

En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han de considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 4.1) y el coeficiente de infiltración (ecuación 4.3).

El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i)(P - Ret) \quad (Ec.4.4)$$

Donde:

1. P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en (mm/mes).
2. C_i = Coeficiente de infiltración (adimensional) (ecuación 4.3).
3. P = Precipitación mensual en (mm/mes) (dato meteorológico).
4. Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes) (ecuación 4.1).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1.

Tabla 4.1. Componentes del coeficiente de infiltración
(Schosinsky y Losilla, 2000)

Por pendiente	Pendiente	Kp
Muy plana	0.02%-0.06%	0.30
Plana	0.3%-0.4%	0.20
Algo plana	1%-2%	0.15
Promedio	2%-7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06
Por cobertura vegetal		Kv
Cobertura con zacate menos del 50%		0.09
Terrenos cultivados		0.10
Cobertura con pastizal		0.18
Bosques		0.20
Cobertura con zacate menos del 75%		0.21

4.6.3.4 Cálculo de la escorrentía superficial

La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la siguiente ecuación:

$$ESC = P - Ret - Pi \quad (Ec.4.5)$$

Donde:

1. ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.
2. P = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

3. Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 4.1)
4. P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 4.4).
(Schosinsky y Losilla, 2000).

4.6.3.5 Balance del suelo

Para el balance del suelo, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Dicho cálculo se obtiene de acuerdo con el apartado de “Infiltración” descrito anteriormente. Posteriormente, es necesario conocer la capacidad de campo y el punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se estiman mediante la Tabla 4.2. También es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se ha de realizar el balance. O sea, el balance se realizará en un prisma rectangular, que tiene en la cara superior un cuadrado de 1 metro de lado y de profundidad, la de las raíces, con capacidad de absorción del agua en el suelo. La Tabla 4.3 muestra la profundidad mencionada de raíces de algunas plantas. (Schosinsky y Losilla, 2000)

La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces; por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad igual a la mostrada en la Tabla 4.2. (Schosinsky y Losilla, 2000).

Tabla 4.2. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelo (Schosinsky y Losilla, 2000).

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2-6	6-12	1,55-180
Franco-arenoso	4-8	10-18	1,40-1,60
Franco	8-12	18-26	1,35-1,50
Franco-arcilloso	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcillo-arenoso	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcilloso	15-19	31-39	1,20-1,30

La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es igual a la capacidad de campo, es entonces cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración. La mínima humedad que puede tener un suelo es aproximadamente igual al punto de marchitez, pues con humedades menores la planta muere. De lo anterior se deduce que un suelo, no saturado, a profundidades mayores que la profundidad de raíces se encuentra a capacidad de campo.

4.6.3.6 Cálculo de la evapotranspiración

La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando los estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua. Cuando la humedad del suelo llega al punto de marchitez permanente, la planta no transpira y muere. En ese sentido, asumiremos que la evapotranspiración potencial real va a ser

proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Esto es, si una planta a capacidad de campo evapotranspira 3 mm por día, siendo la capacidad de campo del suelo 12%, el punto de marchitez permanente de 2% y el suelo se encuentra a una humedad de 6%, la evapotranspiración potencial real (ETPR) de la planta será de:

$$ETPR = (HS - PM)(ET) / (CC - PM) \quad (\text{Ec.4.6})$$

$$ETPR = ((6 - 2) / (12 - 2)) * 3 = 1.2 \text{ mm/d}$$

Donde:

1. ETPR (mm/día) = Evapotranspiración potencial real.
2. HS (%) = Humedad del suelo
3. ET (mm/día) = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo.
4. CC (%) = Capacidad de campo.
5. PM (%) = Punto de marchitez permanente. (Schosinsky y Losilla, 2000).

Tabla 4.3. Profundidad de raíces de diferentes cultivos (Grassi, 1976).

PROFUNDIDAD DE RAÍCES	
Cultivo	Metros
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1,7
Banano	0,5-0,8
Caña de azúcar	1,20-2
Frijol	0,5-0,7
Cebolla	0,3-0,5
Cítricos	1,20-2,0
Zacate	0,3-0,5
Bosques	2,0-3,0

Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y grado de desarrollo de la planta. (Schosinsky y Losilla, 2000).

En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca. Esta evapotranspiración promedio de la cuenca, la asumiremos que es igual a la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones

meteorológicas los tienen. Por este motivo, se utilizará la ecuación de Blaney y Criddle: (Schosinsky y Losilla, 2000):

$$\text{ETP (mm/mes)} = (8.10 + 0.46 T) P_s \quad (\text{Ec.4.7})$$

Donde:

1. ETP = Evapotranspiración potencial en (mm/mes)
2. T = Temperatura media mensual en (grados centígrados) (dato meteorológico)
3. P_s = Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (%)

Existen tablas que tienen los porcentajes de luz solar para las diferentes latitudes, tanto del hemisferio norte como del sur. (Schosinsky y Losilla, 2000)

4.6.4 Caracterización del mapa de cuencas hidrográficas

Es importante señalar que para efectos de este estudio, se realizó una gran división entre los ríos Orinoco y Uraoa y en una segunda subdivisión se delimitaron las cuatro subcuencas más importantes que dirigen su escurrimiento directo al Orinoco por su margen izquierdo.

Para la delimitación de las subcuencas se interpretó el siguiente material cartográfico:

- a. Ortoimagen de radar del Proyecto Cartosur a escala 1:50.000, hojas 7641-I, 7641-II del año 2003.
- b. Cartas de MARNR-LAGOVEN a escala 1:25.000, hojas 7641-I, 7641-II.
- c. Mapa base de Proforca a escala 1:100.000.

Se elaboró una síntesis a través de agregaciones y desagregaciones de las unidades hidrográficas, en donde se delimitaron las principales divisorias del agua, la cual consistió en la obtención de los parámetros que ayudan a definir el comportamiento hídrico de una subcuenca (anexo 04), tales como:

1. Área (A) expresada en Km².
2. Perímetro (P) expresada en Km.
3. Longitud axial (Lax) se expresa en Km.
4. Longitud del cauce principal (L) en Km.
5. Factor forma (Ff): se utilizó la siguiente formula, $Ff=A/(Lax)^2$, donde: A es el área de la cuenca (Km²) y Lax es la longitud axial (Km).
6. Coeficiente de compacidad (Kc): este se realizó con la siguiente formula $Kc=0,282\frac{P}{A^{1/2}}$, donde P es el perímetro de la cuenca (Km) y A es el área de la cuenca en km².
7. Tiempo de concentración (Tc): este se calculó con la siguiente formula $Tc=\left(\frac{0,886\times L^3}{H}\right)^{0,385}$ en horas, donde L es la longitud del cauce principal (Km) y H es la diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m).

8. Pendiente media del cauce principal (Sm): El cálculo de la pendiente media del cauce principal se realizó utilizando la fórmula para cuenca relativamente llanas, $\left[\frac{(H^M - H^m)}{100 \times L} \right]$ (m/Km), donde $(H^M - H^m)$ es el desnivel del cauce principal (m) y L es la longitud del cauce principal (Km).

4.6.5 Ubicación de pozos con SEV

La ubicación de los pozos con sondeos eléctricos verticales fue llevada a cabo por PDVSA a través de su filial PDVSA Agrícola, a fin de constatar la presencia de aguas subterráneas con el fin de perforar pozos profundos para el suministro de agua en el lote de terrenos destinado al CIAS Monagas.

Se procedió a utilizar una evaluación geofísica utilizando sondeos eléctricos verticales, específicamente por el método Schlumberger, para determinar el comportamiento permeable de los diferentes estratos, niveles freáticos y profundidades de topes de roca, en dos áreas seleccionadas, con el fin de determinar la posible ocurrencia de acuíferos para el aprovechamiento de agua subterránea, mediante la construcción de pozos profundos para abastecer la demanda del proyecto CIAS Monagas.

4.6.6 Elaboración y correlación de columnas litoestratigráficas y de SEV

De acuerdo a la descripción estratigráfica de los horizontes que fueron interceptados o atravesados por cada uno de los pozos perforados en el área de estudio es posible la construcción de un modelo a través del cual se correlacione el estrato acuífero predominante.

4.6.7 Elaboración de mapas

4.6.7.1 Mapa Isópaco

Una vez realizada la correlación se determinaron los espesores de arena neta, tomando como referencia un valor promedio entre la línea base de lutita y la línea de arena. Teniendo dichos espesores, se plasmaron en un mapa base a escala 1:50.000 y se trazaron las líneas isópacas cada 4 metros, luego se escanearon los mapas para proceder a digitalizar en AutoCAD 2010.

Estos muestran la orientación, distribución de las arenas de interés en el área de estudio y las geometrías, lo que facilitó la identificación e interpretación del tipo de depósito.

4.6.7.2 Mapa Piezométrico

El mapa piezométrico se ha planteado con la finalidad de representar la piezometría de la zona y las principales direcciones de flujo subterráneo en un único soporte cartográfico en el entorno de los sistemas de información geográfica.

La elaboración de un mapa de estas características debe apoyarse, como paso previo, en la definición de un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico y en la determinación de las condiciones de contorno que rigen el flujo subterráneo en los distintos acuíferos estudiados. La integración del conocimiento hidrogeológico acerca de la estructura y del funcionamiento de los acuíferos permitirá interpretar, para una fecha y en unas condiciones de flujo determinadas, la información suministrada por las redes de observación de las aguas subterráneas y por los datos hidrológicos complementarios.

El mapa piezométrico se realiza a escala 1:50.000, los contornos fueron trazados cada 1 metro, seguidamente se procede a escanearlo para su digitalización en AutoCAD 2010.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Caracterización climática de la zona de estudio

Para la caracterización climática, necesaria en la evaluación de los acuíferos del área de estudio, los parámetros hidroclimáticos requeridos son Precipitación, Insolación y Evaporación.

5.1.1 Clima

Para establecer la caracterización climática de la zona de estudio, se trabajó con datos de portales WEB que proporcionan datos sobre el clima. WeatherBase es una web que se lanzó básicamente con el objetivo de ayudar a los turistas y empresarios a obtener información sobre el clima en el área que planean visitar. Sin embargo, actualmente ha ampliado sus servicios y actualmente sirve como una fuente definitiva para obtener información detallada del clima de áreas locales e internacionales. Desde el sitio web oficial de WeatherBase, se pueden obtener libremente los promedios climáticos, pronósticos meteorológicos, entre otros. En la tabla 5.1 se presenta un resumen de los datos del clima correspondientes a Puerto Ordaz tomados del sitio web de WeatherBase

MONTHLY - WEATHER AVERAGES SUMMARY <small>[Show All Data]</small>													[F] °C		
Average Temperature													Years on Record: 112		
C	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	27.1	26.1	26.5	27.3	28	27.9	27	26.7	27.1	27.5	27.7	27.2	26.3		
Average Precipitation													Years on Record: 112		
mm	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	1084.4	48.6	24.6	24.2	30.5	100.3	196	185.4	152.7	87.3	75.1	77.6	82.1		
Average Number of Days With Precipitation													Years on Record: 112		
Days	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	158	13.4	8	6.9	7.2	13.8	20.3	20.7	18.1	11.5	10.6	12.8	14.7		
Average Length of Day													Years on Record: 30		
Hours	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	12.5	12.1	12.2	12.4	12.4	12.9	13	12.9	12.7	12.5	12.3	12.1	12		
Average Relative Humidity													Years on Record: 112		
%	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	76.2	76.8	72.4	68.3	69.4	73.9	81.4	81.2	80.4	77.1	75.8	78	79.5		
Average Dew Point													Years on Record: 112		
C	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	22.5	21.7	21.1	20.9	21.9	22.8	23.5	23.2	23.4	23.1	23	23	22.5		
Average Wind Speed													Years on Record: 112		
km/h	ANNUAL	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
	7.7	7.9	9.7	10.8	10.4	9	6.8	5.8	5.8	6.1	6.5	6.8	7.2		

Tabla No. 5.1 Resumen climatológico Puerto Ordaz. Fuente:
<https://www.weatherbase.com/>

El área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. En el área de estudio se registra una temperatura media anual que oscila alrededor de los 27°C y su evaporación promedio supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.

5.1.2 Precipitación

Para la caracterización de la precipitación se tomaron los valores registrados por la estación Puerto Ordaz ya que queda en el área de influencia de la población objeto de estudio. Cabe destacar que actualmente es muy difícil obtener datos hidroclimáticos de entes oficiales. La estación consultada pertenece a la red internacional AWEKAS, que es la abreviatura de *Automatic WEather map (alemán KArte) System*. Es un sistema que procesa los datos de estaciones meteorológicas privadas en forma de gráficos, genera mapas y los evalúa. En la figura 5.1 se señalan los datos con la ubicación y el tipo de instrumentación que posee dicha estación

AWEKAS Automatisches Wetterkarten System
wir machen mehr aus Ihrem Wetter

Tablas Información Foro Servicio Mi AWEKAS

Información de la estación Ciudad Guayana

Nombre de la estación	Ciudad Guayana
País	Venezuela 🇻🇪
Altitud	113 m
Posición geográfica 📍	62° 43' 23.6" Oeste / 8° 17' 19.6" Norte
Transferencia de datos	Meteobridge Direct Link
Ultima actualización	27.5.2023 22:18
AWEKAS Plus	SI 🟢
AWEKAS id	10686

Blog de la estación [editar](#)

12-12-2020 Se agrega a la estación el monitoreo de la calidad del aire, esto se hace con un AirLink de Davis Instruments. 21-11-2020 Se cambia el servidor de meteorología (Meteobridge) del MR3020V1 al WR902ACV3.8, permitiendo retomar el envío de tweets desde el servidor.

Información de la estación

	Tipo de estación	Davis Vantage Pro 2 (Plus)
	sensores que estan en uso	
	Temperatura	protector de radiación ventilado 1
	Presión aire	1
	Precipitación	1
	Anemómetro	Altura desde el suelo: 10 m 1
	UV	1
	Radiación solar	1

Figura 5.1 Datos de ubicación e instrumentación de la estación meteorológica Puerto Ordaz

La estación posee registros desde el año 2013 a la fecha. Los valores de precipitación para cada año se muestran en la figura 5.2. En la tabla 5.2 se da un resumen de la precipitación anual registrada.

Tabla 5.2 Resumen precipitación anual. Fuente: estación AWEKAS, Puerto Ordaz

Año	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Precp. (mm)	1169.1	1330	1244.7	1037.6	1235.9	1804.7	1584.2	1575.9	1562.5	1559

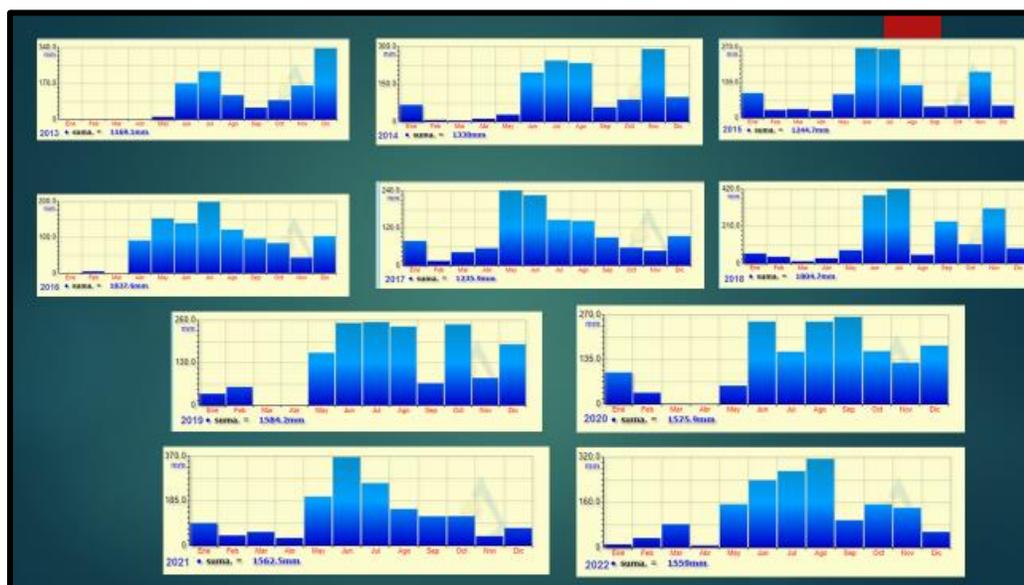


Figura 5.2 Precipitación anual. Período 2013 -2022. Fuente: estación AWEKAS, Puerto Ordaz

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico (Junio, Julio y Agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la convergencia intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano. En estos tres meses se recoge casi el 50% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en

la época de sequía (Marzo y Abril), coincidiendo con el equinoccio de primavera. (CVG-TECMIN, 2009).

5.1.3 Evaporación

El servidor Giovanni posee datos de evaporación. A continuación, se presenta el gráfico con la serie de tiempo, promedio de área de evaporación terrestre mensual $0,5 \times 0,625$ grados. [MERRA-2 Modelo M2TMNXLND v5.12.4] las unidades están en $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para el período enero 1998 a noviembre 2022-Nov, para el área de Chaguaramas

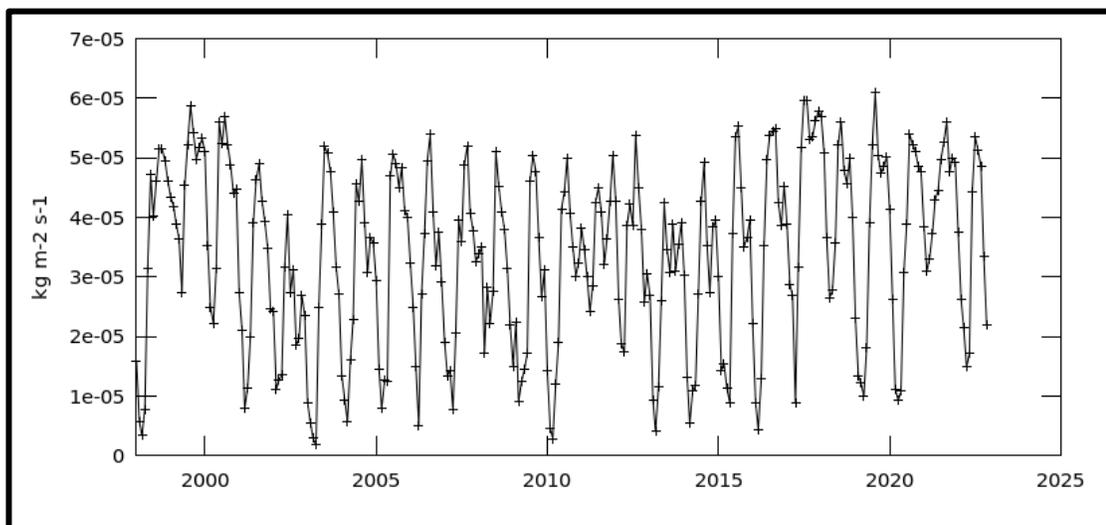


Figura 5.3 Serie de tiempo, promedio de área de evaporación terrestre mensual. Período Enero 1998 – Noviembre 2022. Fuente: servidor Giovanni, NASA

La evaporación promedio anual en la zona es elevada, presentando un valor promedio de $3 \times 10^{-05} \text{ Kg/m}^2\text{s}$. Esta variable climática no tiene una variación de alto rango, sin embargo es posible diferenciar en su comportamiento temporal, dos épocas donde ocurren los valores más altos, lo cual coincide con las épocas de equinoccio de primavera y otoño.

En estos meses (marzo y septiembre) ocurren altas temperaturas, mayor cantidad de horas de brillo solar, baja humedad relativa, así como un aumento de la velocidad del viento. Por otra parte, la evaporación registra sus valores más bajos durante los meses de Junio y Diciembre, es decir, en las épocas de mayor pluviosidad y menor temperatura respectivamente.

5.1.4 Temperatura

Los registros del sitio WEB *Weatherbase* se resumen en el gráfico de la figura 5.7. La temperatura oscila entre 26.1 °C y 28 °C y un promedio anual de 27.1 °C.

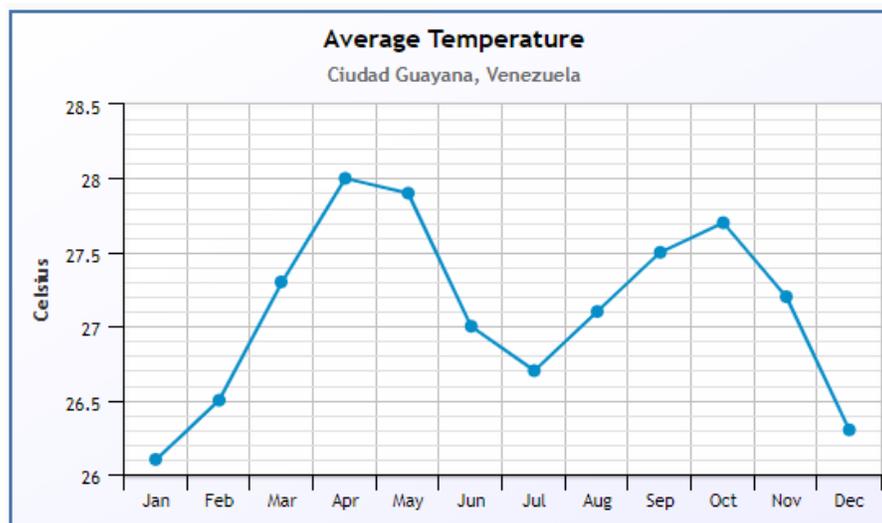


Figura 5.4 Temperatura Promedio. Distribución mensual. Estación Ciudad Guayana. (<https://www.weatherbase.com/>).

En la zona, la temperatura promedio anual es de unos 27°C, por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterminia, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío no supera los 5°C.

La distribución anual de la temperatura, al igual que la evaporación es de tipo bimodal. Se observa que las mayores temperaturas ocurren en la primavera astronómica, Marzo - Abril, con un máximo secundario en Septiembre – Octubre (otoño astronómico). Las temperaturas más bajas se registran en el lapso Diciembre – Febrero (invierno astronómico) y en el mes de Junio, coincidiendo con la época de máxima pluviosidad. Por otra parte, la amplitud térmica anual promedio es de 2,2 °C, lo que ratifica la condición de isothermia del clima del área. (CVG-TECMIN, 2009)

5.1.5 Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmosfera.

El área del proyecto recibe una insolación media anual de 7 horas de sol aproximadamente.

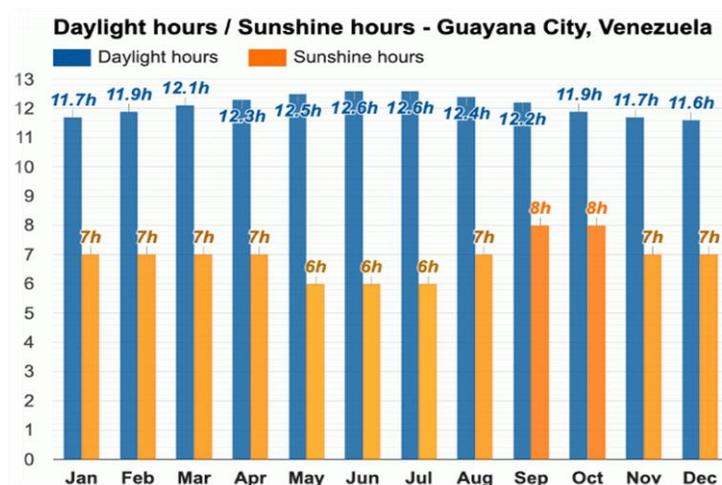


Figura 5.5 Variación anual de la insolación (horas).
Estación Ciudad Guayana
(<https://www.weather-atlas.com/>)

5.1.6 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual esta por el orden de 75%, según los datos de las estaciones cercanas al área. Alcanza sus mayores valores (entre 80% y 82%), en los meses de máxima precipitación (Junio, Julio y Agosto), y los mínimos durante Marzo y Abril, comprendidos entre 63% y 66%. (CVG-TECMIN, 2008). En la gráfica 5.6 se presentan los registros del sitio web www.weatherbase.com/

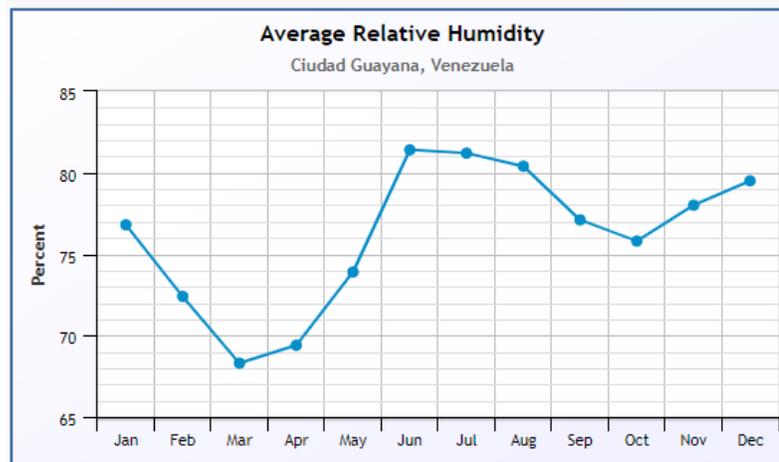


Figura 5.6 Humedad Relativa Promedio. Estación Ciudad Guayana <https://www.weatherbase.com/>

5.1.7 Vientos

La velocidad media anual del viento estimada para la zona, está cerca de los 2 m/s, con dirección prevaeciente Este – Noreste (ENE), mayor en Marzo y más baja en agosto. La estación Macagua muestra una velocidad registrada con el Anemocinómetro a 10 m del suelo de 1,83 m/s, para el período 1986 – 2006.

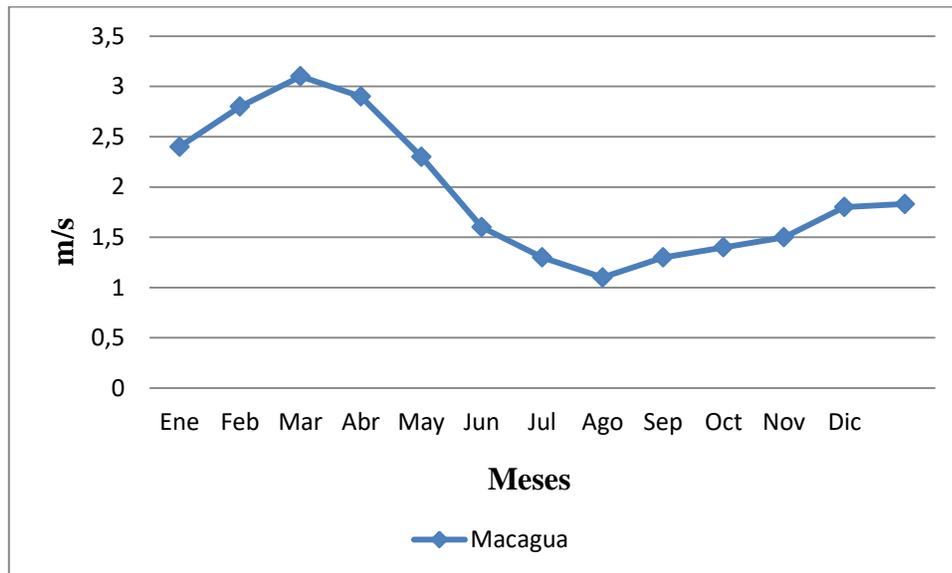


Figura 5.7 Gráfico de Variación Anual de la Velocidad del Viento (m/s). Estación Macagua. CVG-TECMIN 2009. Datos originales de EDELCA.

5.2 Características de la infiltración en el área de estudio

Es un hecho conocido que la infiltración de las aguas pluviales y las aportaciones laterales que drenan en un área o cuenca hidrológica, aunado a las extracciones producidas por la evaporación, la evapotranspiración o el bombeo, son procesos cuyos efectos inciden en las variaciones de los niveles del agua en los pozos y, por ende, del almacenamiento subterráneo. La separación y estimación certera de cada uno de estos parámetros, es la meta fundamental cuando se intenta realizar un balance hidrogeológico (Pérez, H., 2010).

También acota Pérez Hernández (2010):

“Las pruebas de infiltración realizadas en los suelos del sur de los estados Anzoátegui y Monagas, han mostrado seguir aceptablemente patrones según el modelo de Philip. La evaluación de la recarga vertical en el sur de Monagas, durante mediciones en pozos dispuestos en una malla rectangular durante el

año 1981 en el área actual de Carabobo (Cerro Negro), han conducido a valores de la recarga vertical durante el lapso de seguía del orden de 3 cm/mes y las características hidráulicas de los acuíferos (Transmisibilidad y Pendiente calculadas), no difieren notablemente de los valores obtenidos mediante pruebas de bombeo en otras zonas de la región. Las mediciones de niveles en los campos de pozos en las inmediaciones del río Orinoco, así como los gradientes hidráulicos observados, indican la existencia de un significativo aporte de flujos subterráneos desde las mesetas hacia este río, lo que quizás tenga una influencia regional que pueda extenderse más allá de los llanos orientales.

En el área de estudio se realizaron 10 pruebas de infiltración utilizando el método de anillo simple (Apéndice B, Figuras B.1 hasta Figura B.10). El valor de infiltración básica obtenido, se muestra en la Tabla 5.3 que se presenta a continuación:

Tabla 5.3 Resultados de pruebas de infiltración.

Prueba de infiltración	Velocidad de infiltración	
	No	(cm/min)
1	0.20	12.0
2	0.55	33.0
3	0.30	18.0
4	0.30	18.0
5	0.03	1.8
6	0.08	4.8
7	0.08	4.8
8	0.10	6.0
9	0.25	15.0
10	0.20	12.0

5.3 Correlación y análisis de los resultados de los sondeos eléctricos verticales.

Para la ubicación altimétrica de los acuíferos se efectuó la correlación, análisis y reinterpretación de la información arrojada por los sondeos eléctricos verticales presentados en los informes respectivos de Pulido (2011) a los fines de delimitar la posición de los acuíferos en cada una de los lotes de terreno del proyecto.

5.3.1 Lote GR

En las Figuras D.1 y D.2 (Apéndice D) correspondiente al lote GR1 se observa un estrato con características de arena permeable saturada que mantiene un espesor aproximado de 150 m, según el comportamiento de la correlación en sentido Norte – Sur; sin embargo, este estrato permeable saturado disminuye su espesor hacia el Oeste, conservando su mayor potencia en los alrededores del SEV9. La profundidad de este acuífero se presenta entre los 25 m y 80 m.

En el lote GR2 (Apéndice D, Figuras D.3 y D.4) se observa la presencia de un estrato saturado de aproximadamente 150 m de espesor que se encuentra a una profundidad de unos 30 m en los alrededores del SEV6 pero que profundiza su tope en todas las direcciones hasta los 50 m.

Las Figuras D.5 y D.6 (Apéndice D), correspondiente al lote GR3, muestra un estrato con características de resistividad de arena fina saturada de unos 100 me de espesor que se amplía en potencia hacia la zona Sur. Estos materiales permeables presentan su tope entre los 50 m y 75 m de profundidad. En cuanto al lote GR4, se observa en las Figuras D.7 y D.8 un estrato con características de arenas finas saturadas con una potencia promedio de 150 m que se amplía y profundiza hacia la zona sur del lote. Asimismo, es necesario acotar que las profundidades del tope de

estos materiales se presentan muy someros 25 m hacia la zona Oeste del lote pero puede alcanzar hasta más de 100 m de profundidad en las demás direcciones. De acuerdo a la reinterpretación obtenida de los sondeos, apreciamos que los resultados concuerdan con los arrojados por Pulido (2011)a.

5.3.2 Lote PI

Se coincide con las apreciaciones presentadas por Pulido (2011)d en la cual se asevera que los SEV indicaron la presencia de materiales poco porosas que no hacen presumir la presencia de acuíferos importantes. Las arenas que pudiesen almacenar agua se encuentran a profundidades someras que no alcanzan los 20 m (Apéndice D, Figura D.9).

5.3.3 Lote PA

La correlación de los SEV en sentido Noroeste – Sureste, muestran la presencia de suelos permeables con buenas características de acuíferos desde una profundidad de 60 metros (142 msnm aproximadamente) hasta casi los 100 m de profundidad (equivalente a la cota de 182 msnm aproximadamente) en el sentido antes mencionado. Este acuífero presenta una potencia o espesor de 200 m a 250 m aproximadamente, que se mantiene en todo el sentido de la correlación efectuada (Apéndice D, Figura D.10). notando una vez más que los resultados muestran semejanza a los de Pulido (2011)e.

5.3.4 Lote GE

La reinterpretación de los SEV a través de la correlación efectuada en sentido Norte - Sur muestra la presencia de materiales porosos que se presumen buenos acuíferos y que mantienen su espesor de 150 m y una profundidad aproximada de 75

m (cota de 150 msnm aproximadamente) en este sentido de la correlación. Pulido (2011)c Sin embargo, una correlación de los SEV en sentido Este – Oeste presenta el mismo acuífero pero mostrando variaciones en la profundidad del tope de este estrato permeable saturado (entre 50 m y 150 m) aún cuando parece mantener el espesor aproximado antes mencionado (Apéndice D, Figuras D.11 y D12).

5.3.5 Lote PP

Se detecta un posible acuífero de material permeable saturado a una profundidad aproximada de 100 m que presenta un espesor que oscila entre los 150 m y los 200 m aproximadamente. Pulido (2011)b. (Apéndice D, Figuras D.13 y D.14).

5.4. Construcción del modelo hidrogeológico conceptual del acuífero

Teniendo a la descripción estratigráfica de los horizontes que fueron interceptados durante la realización de los pozos perforados, fue posible la construcción de un modelo a través del cual se correlacionó el estrato acuífero. Tabla 5.4.

Se realizaron columnas litoestratigráficas, para posteriormente realizar una correlación del estrato acuífero predominante, tal y como se muestra en la Figura E1 del Apéndice E, con datos de la CVG (2011).

Posteriormente habiendo delimitado los topes y bases, se obtuvo el espesor de la arena de interés, para realizar el mapa isópaco, el cual nos representa a través de contornos, los espesores de la unidad estratigráfica en estudio (anexo 05).

Tabla 5.4. Modelo de correlación hidrogeológico descriptivo

POZO	ABA	GR-1	GE-13	GR-3	GE-43	PA-II	PA-I	Incu-7
PROFUNDIDAD TOPE ESTRATO ACUIFERO (m)	22.5	39.0	18.0	16.0	51.0	16.0	30.0	34.7
DESCRIPCION ESTRATO ACUIFERO	Arena de grano medio	Arena de grano medio a grueso						
PROFUNDIDAD BASE ESTRATO ACUIFERO (m)	51.0	51.0	63.0	33.0	69.0	61.1	57.0	53.3
ESPESOR DE LA ARENA	28.5	12	45	17	18	45.1	27	18.6

La correlación de las columnas estratigráficas de los pozos perforados en el área de estudio (Apéndice E, Figura E1), permiten delimitar espacialmente los siguientes estratos como acuíferos principales:

1. En el pozo ABA: Entre 22.5 m y 51 m de profundidad, se encuentra presente un estrato de arena de grano medio.
2. En el pozo GR-1: Entre 39 m y 51 m de profundidad, se encuentra presente un estrato de arena media a gruesa con características de buen acuífero.

3. En el pozo GE-13: Entre 18 m y 63 m de profundidad, existe la presencia de un estrato de arena media a gruesa que puede permitir el almacenamiento y flujo del agua.
4. En el pozo GR-3: Entre 16 m y 33 m de profundidad, está presente un estrato de arena media a gruesa.
5. En el pozo GE-43: Entre 51 m y 69 m de profundidad, se encuentra un estrato de arena media a gruesa.
6. En el pozo PA-II Entre 16 m y 61 m de profundidad, se observa un estrato constituido por arena media a gruesa.
7. En el pozo PA-I: Entre 30 m y 57 m de profundidad, se puede observar un estrato de arena media a gruesa.
8. En el pozo Incu-7: Entre 34.7 m y 53.3 m de profundidad, se puede observar un estrato de arena media a gruesa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El área de estudio presenta una precipitación media mensual que oscila entre 22.7 mm y 220.8 mm para un total anual de 1204.3mm. Mientras que la insolación media mensual varía entre 6.1 hr sol/día y 7.8 hr sol/día. Finalmente, la temperatura media mensual se encuentra alrededor de los 27.3 °C.
2. Las pruebas de infiltración mediante anillo sencillo arrojó una velocidad de infiltración media aproximada de 12.5 cm/hr.
3. La cuenca hidrogeológica contribuyente fundamental para los acuíferos del área de estudio se encuentra ubicada en la parte Norte y drena o aporta sus flujos en dirección hacia el Sur alimentando los acuíferos en cuestión. Cabe destacar que la extensión superficial de la cuenca hidrogeológica contribuyente posiblemente supere en gran medida el área abarcada por los lotes del área de estudio en Monagas y debido a que geológicamente pertenecen a sedimentos de igual naturaleza y edad, se constituyen también en acuíferos de significativo rendimiento.
4. La interpretación de los resultados de los SEV, revelan que existe un volumen apreciable de estratos de arena permeable, representados por una variedad de al menos cuatro tipos de arenas, entre ellas se pueden mencionar, suelos arenosos, arenas finas no saturadas y arenas finas muy saturadas en profundidad.
5. Los SEV ejecutados en la zona estudiada, muestran las posibilidades de localización de agua subterránea, es decir, representan sitios favorables para la

perforación de pozos para abastecimiento de agua subterránea, debido a que muestran suelos arenosos, arenas finas no saturadas y arenas finas muy saturadas, que son el soporte de posible agua subterránea.

6. De acuerdo con la interpretación de los resultados, existen estratos permeables, de suelos arenosos, arenas finas no saturadas y arenas finas muy saturadas que permiten el almacenamiento de agua por debajo de los 70 metros de profundidad.
7. En el modelo hidrogeológico conceptual descriptivo desarrollado para el área de estudio se advierte la presencia correlacionable de estratos de arena media a gruesa que poseen características suficientes para ser considerada como depósito acuífero y que se encuentra presente en casi todos los lotes de terreno del área de estudio.
8. En los pozos ubicados en el lote PP se puede delimitar los acuíferos productores entre los 16 m y 61 m de profundidad aproximadamente. Asimismo, en el lote ABA se mantiene en este rango de profundidades el estrato acuífero predominante entre los 22 m y los 51 m. En los lotes GR entre profundidades que van desde los 16 m hasta los 51 m se delimitan un estrato de arena media a gruesa con excelentes características como acuífero. Finalmente, en el lote GE se delimita un estrato acuífero entre los 18 m y los 69 m de profundidad.
9. Existe una clara vinculación entre la presencia de los morichales, ríos y lagunas presentes al Sur del área de estudio y los acuíferos estudiados, ya que estos últimos alimentan o drenan sus aguas en gran medida hacia estos elementos de la hidrografía de la zona, los cuales de una forma u otra finalmente, descargan sus aguas en el río Orinoco.

Recomendaciones

- 1.** Realizar campañas de mediciones de nivel estático del agua de los pozos perforados que permitan establecer comparaciones en los patrones preferenciales del flujo de agua subterránea.
- 2.** Se recomienda efectuar aforos diferenciales en los ríos que drenan la zona de estudio con la finalidad de estimar la recarga de agua hacia los acuíferos desde los ríos.

REFERENCIAS

Aguasuelos Ingeniería, S.C. (1993). **CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL ÁREA NORTE DE MONAGAS FASE IV.** Informe preparado para CORPOVEN. Monagas.

Aguilera, E. G. (2009). **CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.** 5 de Diciembre 2011, [<http://es.scribd.com/doc/31134700/Calculo-de-La-Recarga-Potencial-de-Acuiferos>].

Aparicio Francisco J. (1992). **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE.** Editorial Limusa, S.A. de C.V. Primera edición. Mexico, D.F. pp 19, 20, 21, 22, 140.

Arias, Fidias G. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** 5ta Edición. Editorial Episteme, C.A. Caracas-Venezuela. pp 25-31.

Astier Jean L. (1975). **GEOFÍSICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGÍA.** MASSON et Cie., Editeurs, Paris (Francia). Madrid. pp 77, 78, 79, 91.

Banco Mundial (2011). **CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.** 22 de Diciembre 2011, [[Http://water.worldbank.org/water/sites/worldbank.org.water/files/GWMATEBN02_sp.pdf](http://water.worldbank.org/water/sites/worldbank.org.water/files/GWMATEBN02_sp.pdf).]

Barrios, Roger (2010). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ARENAS BASALES DE LA FORMACIÓN MESA Y SUPERIORES DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS EN EL CAMPO EL CARITO-MULATA, DE LA SUBCUENCA DE MATURÍN, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.** Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra, Núcleo de Bolívar, Venezuela; trabajo de grado no publicado, P 198, pp 35-46.

Benítez, A. (1963). **CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, NUEVOS MÉTODOS.** Editorial Dossat. S.A. Madrid. pp 38, 50, 80.

Bolinaga, Juan (1999). **PROYECTOS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA.** Editorial Fundación Polar. Primera Edición Caracas-Venezuela. pp 118, 120.

CORPOVEN S.A. (1991). **CURSO DE PETROFÍSICA PARA GEÓLOGOS E ING. DE EXPLOTACIÓN.** Gerencia general de geología, pp 10-28.

Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). **HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.** Ediciones Omega, S.A. Primera edición. Barcelona. Tomo I. pp 259, 274, 275, 311, 323.

CVG TECMIN, C.A. (2008). **ESTUDIO GEOTÉCNICO, HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE UN LOTE DE TERRENOS DESTINADO AL COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA (CIAS MONAGAS), MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.** Puerto Ordaz. Pp

CVG TECMIN, C.A. (2009). **ESTUDIO GEOTÉCNICO, HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE UN LOTE DE TERRENOS DESTINADO AL COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA (CIAS MONAGAS), MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.** Puerto Ordaz. Pp.

Echarri, L. (1988). **CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.** Universidad de Navarra. Escuela de Ingenieros de San Sebastián. [<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto>].

Fajardo, j & Puerta, A (2007). **ESTUDIO BIOESTRATIGRÁFICO (FORAMINÍFEROS Y NANOPLANCTON CALCÁREO) DE LA FORMACIÓN CARAPITA, CAMPO OROCUAL, ESTADO MONAGAS, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA.** PDVSA Laboratorio Geológico el Chaure, pp35-46.

Franco, M. (1985). **CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO Y LA ESTIMACIÓN DEL ORDEN DE MAGNITUD DE LAS RESERVAS RENOVABLES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

Grassi, C. (1976). **“RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO, MÉTODOS DE RIEGO.”** CIDIAT. Mérida. Página 265.

González de Juana, C., Iturralde J., Picard X. (1980) **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Ediciones Foninves, Primera Edición, Caracas, Tomo II, pp 734 – 737.

Holmes Arthur (1962). **GEOLOGÍA FÍSICA.** Ediciones Omega. Barcelona-España. pp 78, 112, 128.

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE TECNOLOGÍA DE CARIPITO (IUDTDC 2011). **CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL ESTADO MONAGAS.** 22 de Diciembre 2011, [<http://www.iutcaripito.tec.ve/Ubicacion%20Geografica/caracteristicasgeograficas2.htm>.]

Ortiz U. Frida G. (2004). **DICCIONARIO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Editorial Limusa, S.A. México. pp 93-127.

PDVSA-CIED (1997) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE YACIMIENTOS.** Segunda edición PP 2-30.

Pérez Hernández, D. (2010). “**EL PROCESO DE INFILTRACIÓN Y RECARGA DE LOS ACUÍFEROS EN LOS LLANOS ORIENTALES DE VENEZUELA**”. Revista Geominas, Volumen 38, No 53. Ciudad Bolívar. Página 157 a 159.

Pravia L. José R. (1995). **APUNTES DE HIDROLOGÍA.** Segunda Edición. Universidad De Oriente. Núcleo Bolívar. pp 116.

Pulido F., C. (2011)a. **EVALUACIÓN GEOFÍSICA PARA LA UBICACIÓN DE POSIBLES POZOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA ASIGNADA A GRANJA REPRODUCTORA (LOTES 1, 2, 3 Y 4). PARA EL PROYECTO COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA CIAS MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.** Ciudad Guayana.

Pulido F., C. (2011)b. **EVALUACIÓN GEOFÍSICA PARA LA UBICACIÓN DE POSIBLES POZOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA ASIGNADA A PLAN PILOTO PARA EL PROYECTO COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA CIAS MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.** Ciudad Guayana.

Pulido F., C. (2011)c. **EVALUACIÓN GEOFÍSICA PARA LA UBICACIÓN DE POSIBLES POZOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA ASIGNADA A GRANJAS DE ENGORDE PARA EL PROYECTO COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA CIAS MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.** Ciudad Guayana.

Pulido F., C. (2011)d. **EVALUACIÓN GEOFÍSICA PARA LA UBICACIÓN DE POSIBLES POZOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA ASIGNADA A GRANJA DE**

INCUBACIÓN PARA EL PROYECTO COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA CIAS MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS. Ciudad Guayana.

Pulido F., C. (2011)e **“EVALUACIÓN GEOFÍSICA PARA LA UBICACIÓN DE POSIBLES POZOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA ASIGNADA A LA PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS (ABA) PARA EL PROYECTO COMPLEJO INTEGRAL AVÍCOLA SOCIALISTA CIAS MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS.”** Ciudad Guayana.

Rivadulla, Rosario. (2004) **CARTOGRAFÍA DE SUPERFICIE Y SUBSUELO.** FundaGeominas, Ciudad Bolívar, p 417.

Sánchez, J. (2008). **ACUÍFEROS SEMICONFINADOS.** Universidad de Salamanca. Departamento de Geología. [<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/semiconfinados.pdf>].

Schosinsky, N. Gunther. y Losilla, M. (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL.** Revista Geológica de América Central. No 23. pp 43-55.

Schosinsky, N. Gunther. (2006). **CÁLCULO DE LA RECARGA POTENCIAL DE ACUÍFEROS MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.** Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Revista Geológica de América Central.

Schlumberger. (1999) **INTERPRETACIÓN DE PERFILES DE POZOS.** CIED-PDVSA. Puerto La Cruz, Venezuela, p 145.

Soto C. (1977). **ORIGEN DE LAS AGUAS DE FORMACIÓN POST-EOCENO EN LA COSTA BOLÍVAR.** V congreso Geológico Venezolano. Caracas.

Yoris F. y Ostos M. (1997) **GEOLOGIA DE VENEZUELA.** Publicado en el W.E.C. de Schlumberger [CD-ROM] Caracas, Venezuela, pp 32-40.

España María E. (2003) **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA EN LOS YACIMIENTOS LCV-4, LCV-5, LCV-7 Y LCV-14, EN LA ARENA ROLLENTE SUPERIOR E INFERIOR UBICADOS EN EL CAMPO LA CEIBITA ÁREA MAYOR DE OFICINA, ESTADO ANZOÁTEGUI, PDVSA Anaco;** Venezuela, pp 45-70.

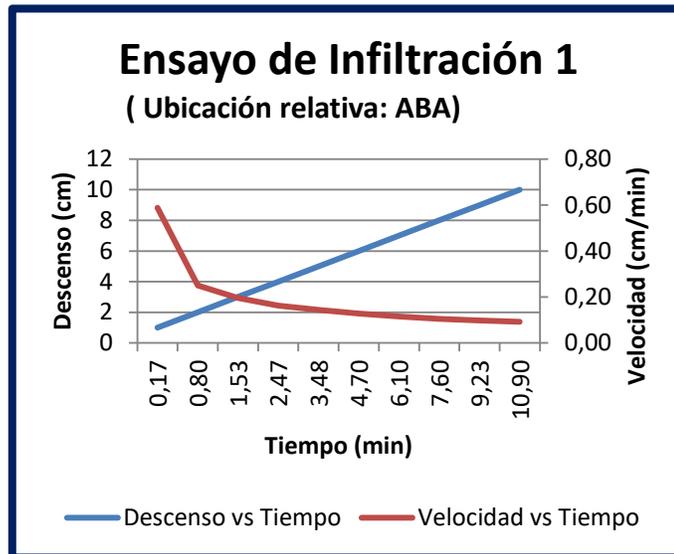
Salcedo, K. (2018) **“CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO ALUVIAL UBICADO ENTRE LAS QUEBRADAS CHACAÍTO Y SEBUCÁN, REGIÓN NORESTE DEL VALLE DE CARACAS”** Universidad Central de Venezuela. facultad de Ingeniería

Subieta, T. Carnevali, J. y Hunter, V. (1988). **EVOLUCIÓN TECTONOESTRATIGRÁFICA DE LA SERRANÍA DEL INTERIOR Y DE LA SUBCUENCA DE MATURÍN.** Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos. Vol. 12. N° 1. pp 31- 56.

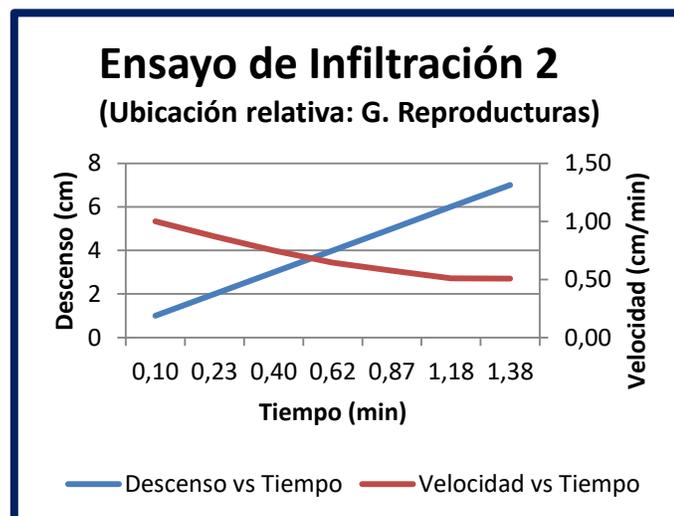
APÉNDICES

APÉNDICE B

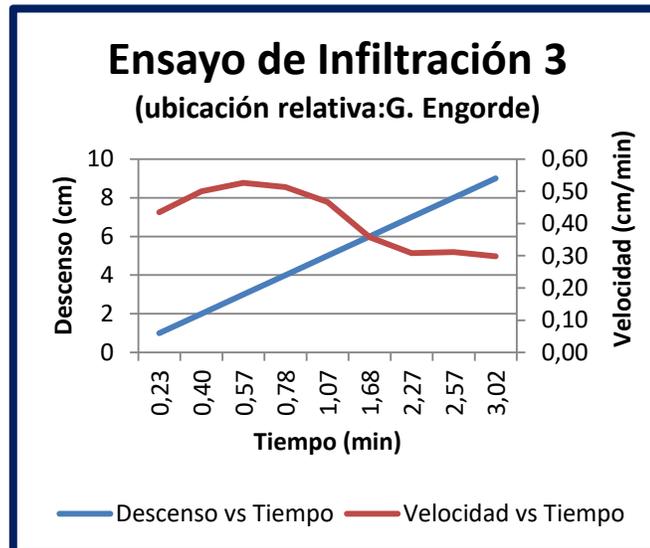
ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO



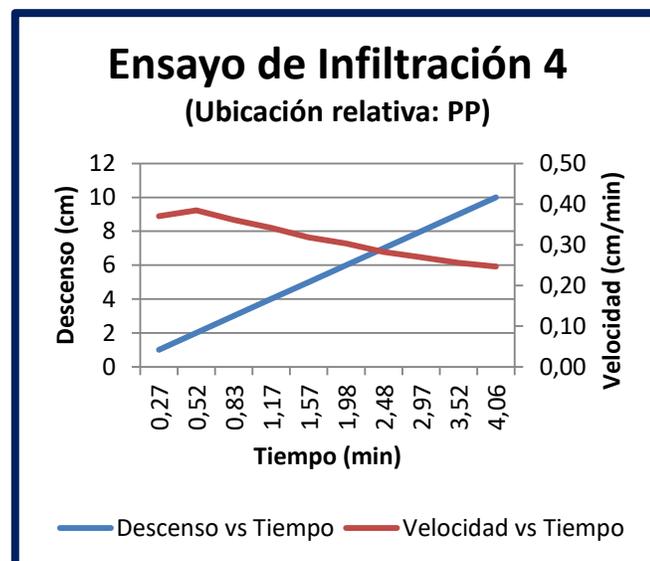
B.1. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 1, realizado en las coordenadas N940642 y E535784.



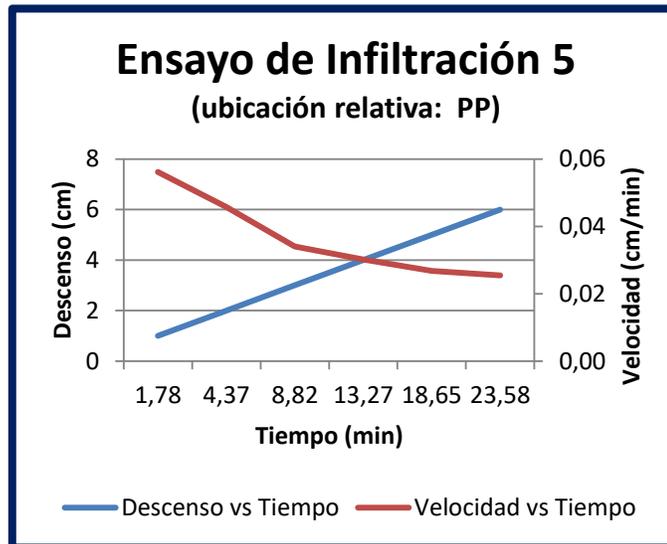
B.2. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 2, realizado en las coordenadas N940642 y E535784.



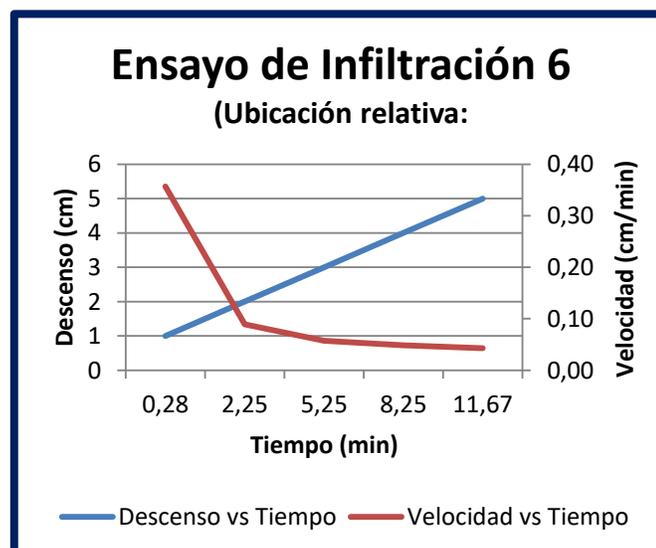
B.3. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 3, realizado en las coordenadas N944649 y E532502.



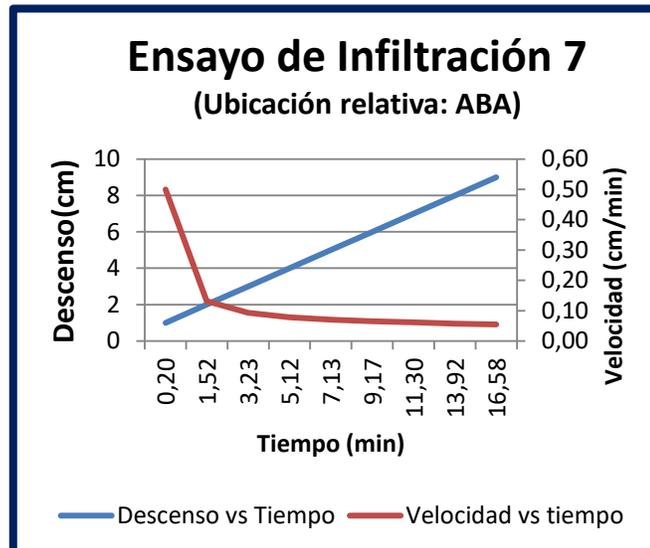
B.4. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 4, realizado en las coordenadas N945689 y E539835.



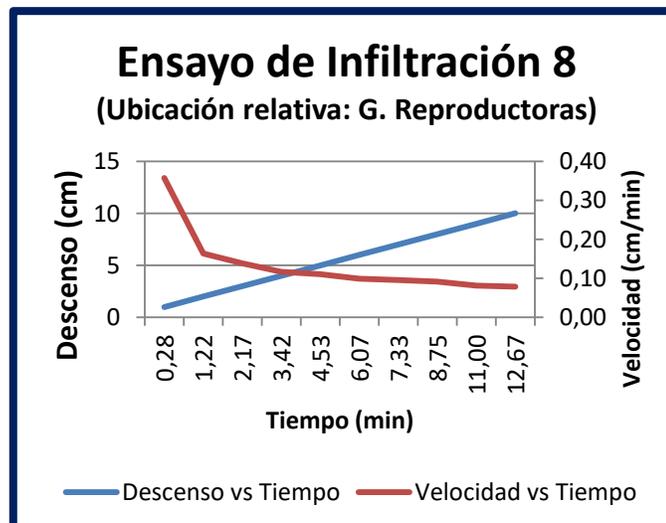
B.5. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 5, realizado en las coordenadas N542170 y E944690.



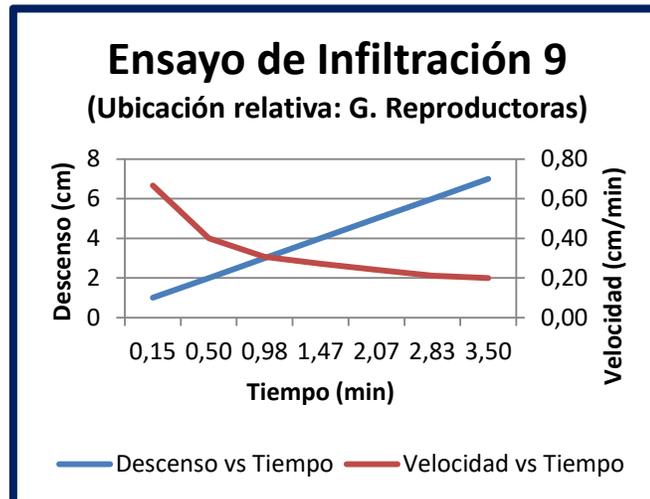
B.6. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 6, realizado en las coordenadas N945736 y E545510.



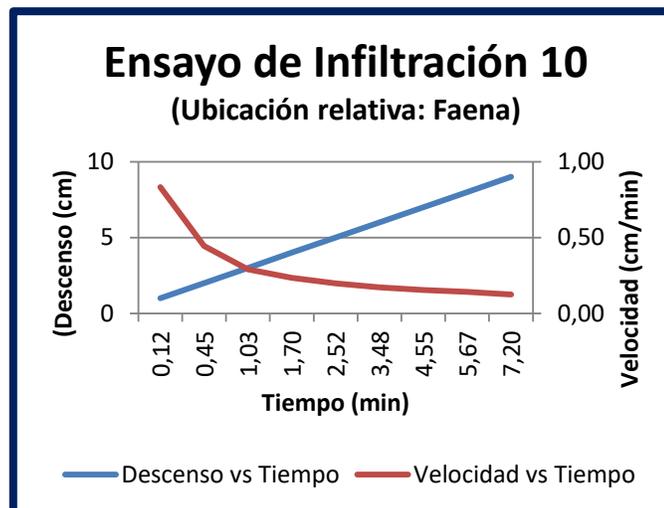
B.7. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 7, realizado en las coordenadas N950372 y E525898.



B.8. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 8, realizado en las coordenadas N951767 y E534095.



B.9. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 9, realizado en las coordenadas N947811 y E529746.

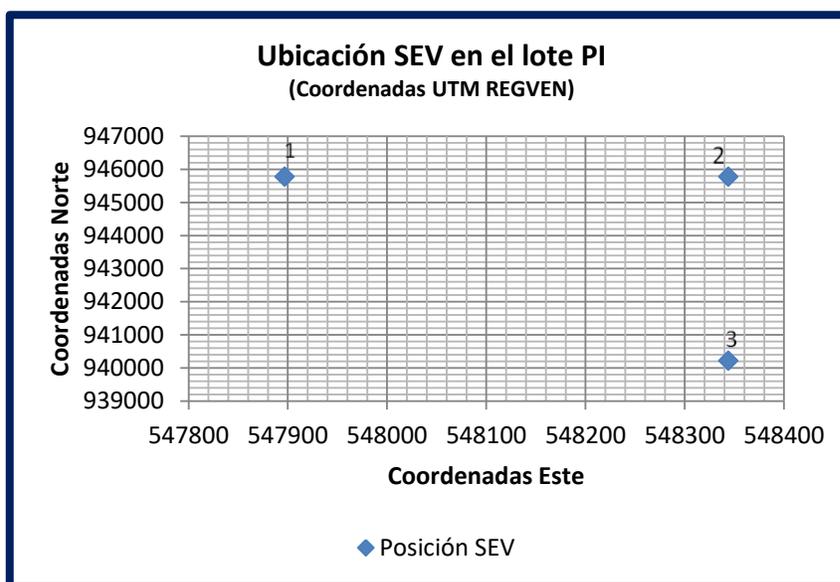


B.10. Gráfico de velocidad y descenso vs tiempo para el ensayo de infiltración número 10, realizado en las coordenadas N927696 y E517996.

APÉNDICE C
UBICACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

C.1. Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, del lote PI.

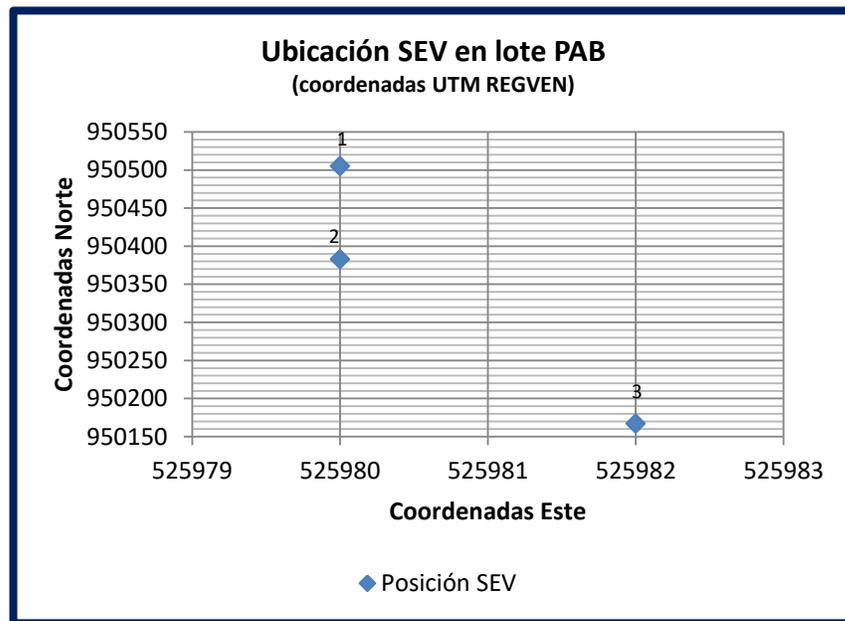
# Sondeo	Este	Norte
1	547897	945772
2	548344	945772
3	548344	940219



C.2. Figura Ubicación relativa de los SEV en el lote PI

C.3. Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, en el lote PAB.

# Sondeo	Este	Norte
1	525980	950505
2	525980	950383
3	525982	950167



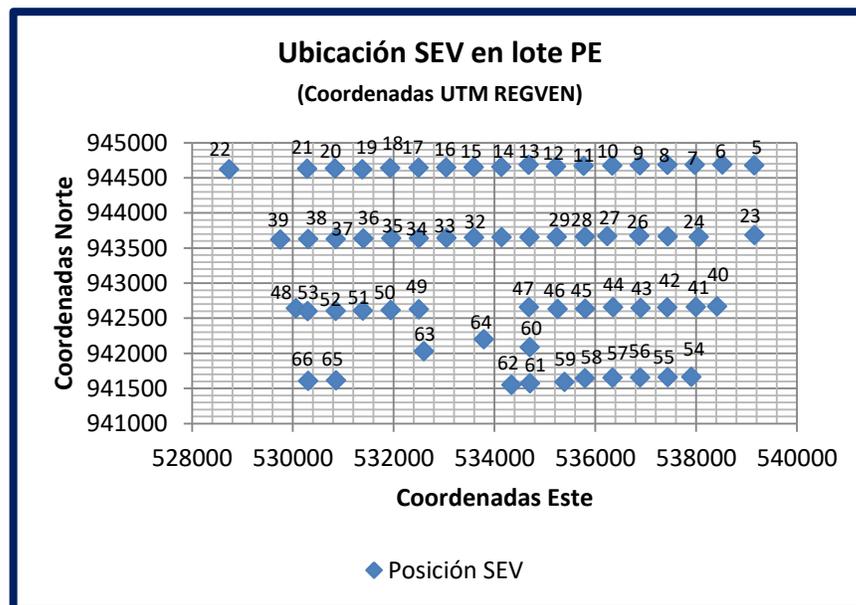
C.4. Figura Ubicación relativa de los SEV en lote PAB

C.5. Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, en lote PE.

# Sondeo	Este	Norte
5	539148	944679
6	538521	944687
7	537972	944686
8	537428	944684
9	536880	944678
10	536333	944672
11	535767	944668
12	535220	944663
13	534675	944683
14	534132	944656
15	533588	944650
16	533038	944647
Continuación Tabla C5	532490	944645
18	531929	944640

19	531377	944620
20	530832	944633
21	530280	944629
22	528732	944622
23	539155	943683
24	538051	943659
25	537432	943664
26	536872	943671
27	536232	943669
28	535791	943662
29	535236	943658
30	534693	943654
31	534141	943652
32	533594	943649
33	533044	943644
34	532498	943640
35	531949	943640
36	531397	943633
37	530852	943628
38	530301	943627
39	529752	943619
40	538412	942667
41	537994	942662
42	537425	942651
43	536898	942647
44	536349	942656
45	535800	942635
46	535251	942630
47	534680	942656
48	530062	942640
Continuación Tabla C5	532499	942626
50	531940	942614

51	531387	942608
52	530848	942605
53	530291	942601
54	537903	941662
55	537435	941661
56	536886	941656
57	536339	941653
58	535790	941644
59	535385	941593
60	534700	942087
61	534702	941571
62	534337	941551
63	532597	942030
64	533789	942200
65	530856	941616
66	530303	941608



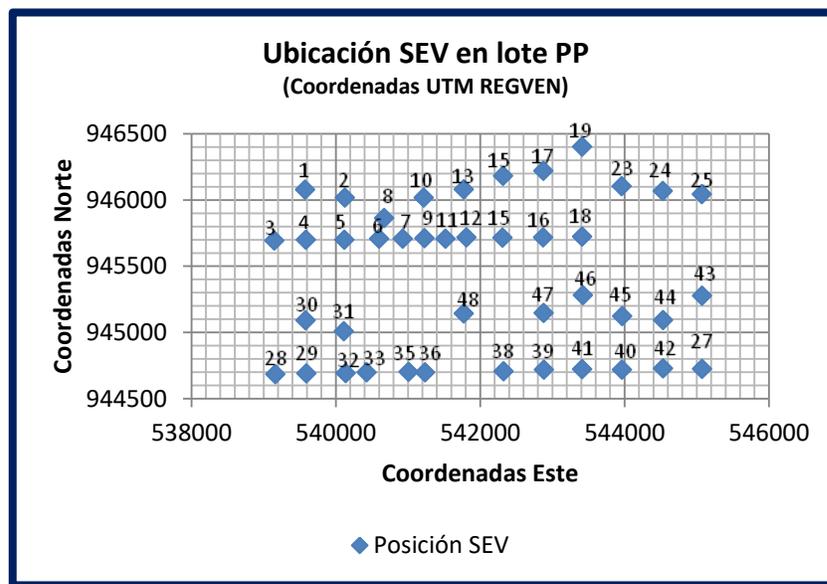
C.6. Figura Ubicación relativa de los SEV en lote PE.

C.7. Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, lote PP.

# Sondeo	Este	Norte
1	539575	946077
2	540128	946018
3	539150	945693
4	539585	945700
5	540120	945700
6	540600	945707
7	540929	945708
8	540671	945864
9	541229	945712
10	541218	946018
11	541520	945708
12	541810	945718
13	541774	946079
14	542311	945715
15	542317	946181
16	542871	945717
17	542875	946220
18	543414	945723
19	543412	946401
23	543959	946103
24	544530	946067
25	545072	946044
27	545074	944724
28	539162	944685
29	539592	944691
30	539584	945091
31	540112	945008
32	540136	944693
33	540429	944698
35	541007	944702
36	541235	944699
38	542323	944707

Continuación Tabla C7

39	542884	944719
40	543964	944718
41	543414	944722
42	544534	944728
43	545075	945277
44	544533	945093
45	543966	945123
46	543423	945280
47	542879	945146
48	541775	945142



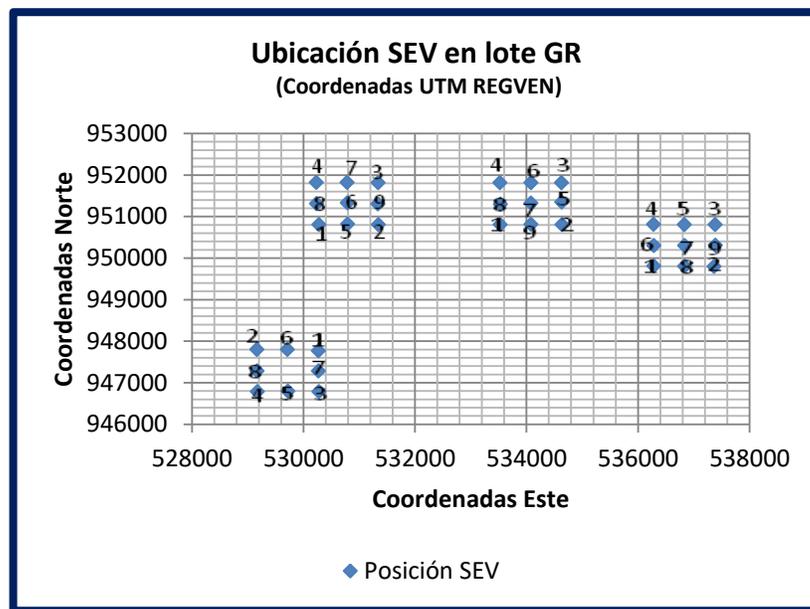
C.8. Figura Ubicación relativa de los SEV en el lote PP.

C.9. Tabla Coordenadas para la ubicación de los SEV, lote GR.

# Sondeo	Este	Norte
1	530268	947767
2	529162	947799
3	530278	946784
4	529171	946783
5	529720	946794
6	529713	947798
7	530269	947282
8	529169	947280
1	530278	950806
2	531343	950805
3	531339	951815
4	530229	951821
5	530790	950818
6	530787	951326
7	530781	951819
8	530234	951307
9	531335	951303
1	533529	950802
2	534637	950801
3	534628	951815
4	533522	951815
5	534631	951345
6	534079	951814

Continuación Tabla C9

7	534077	951320
8	533534	951298
9	534077	950811
1	536283	949808
2	537362	949795
3	537384	950804
4	536280	950810
5	536832	950802
6	536283	950300
7	536835	950302
8	536836	949803
9	537385	950306

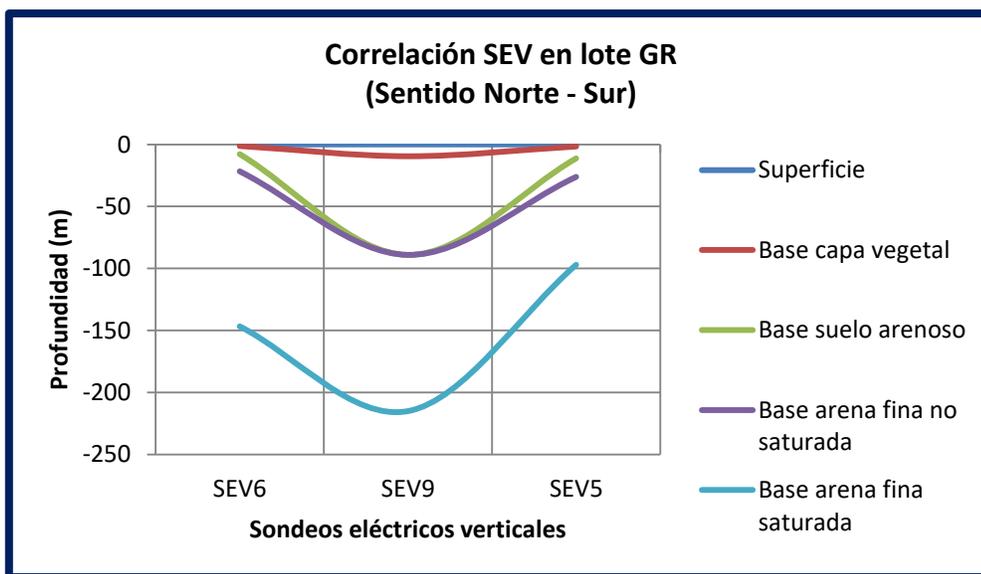


C.10. Figura Ubicación relativa de los SEV en lote GR.

APÉNDICE D
CORRELACIÓN DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

D.1. Tabla Correlación Norte-Sur, lote GR.

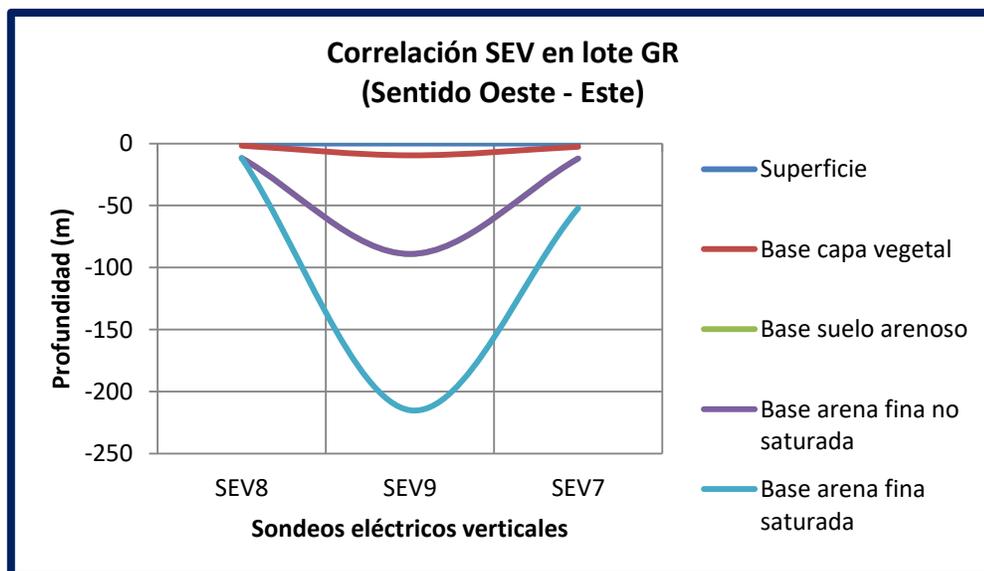
CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote GR		
	SEV6	SEV9	SEV5
Base			
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1,25	-9,54	-1,65
suelos arenosos	-7,82	-89,06	-11,21
arenas finas no saturadas	-21,7	-89,06	-26,18
arena finas saturadas	-146,7	-215,01	-97,03



D.2. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR, sentido Norte-Sur.

D.3. Tabla Correlación Oeste-Este, lote GR

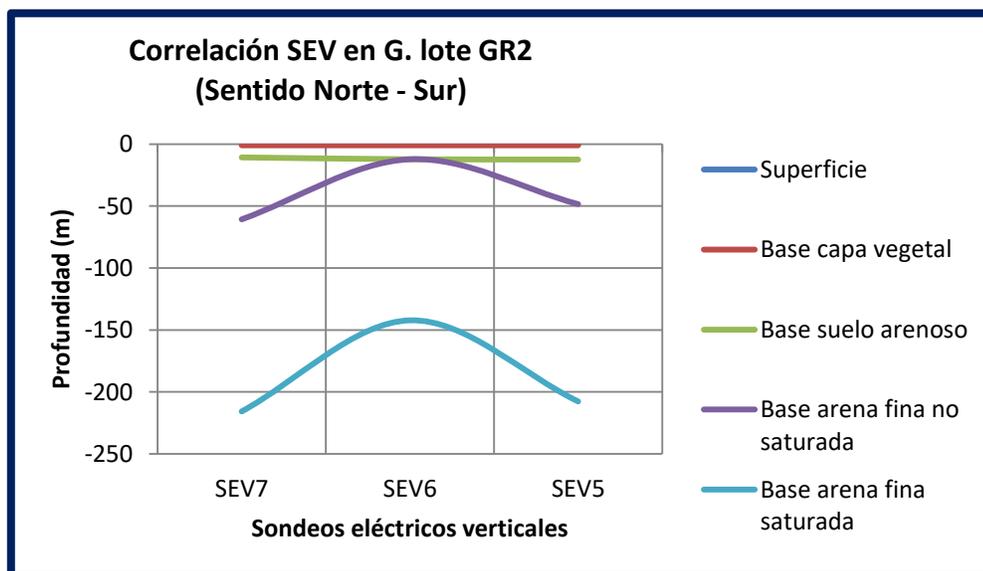
CORRELACIÓN OESTE -ESTE	Lote GR		
	SEV8	SEV9	SEV7
Base	SEV8	SEV9	SEV7
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1,75	-9,54	-2,62
suelos arenosos	-11,75	-89,06	-12,09
arenas finas no saturadas	-11,75	-89,06	-12,09
arena finas saturadas	-11,75	-215,01	-52,09



D.4. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR, sentido Oeste-Este.

D.5. Tabla Correlación Norte-Sur, lote GR2.

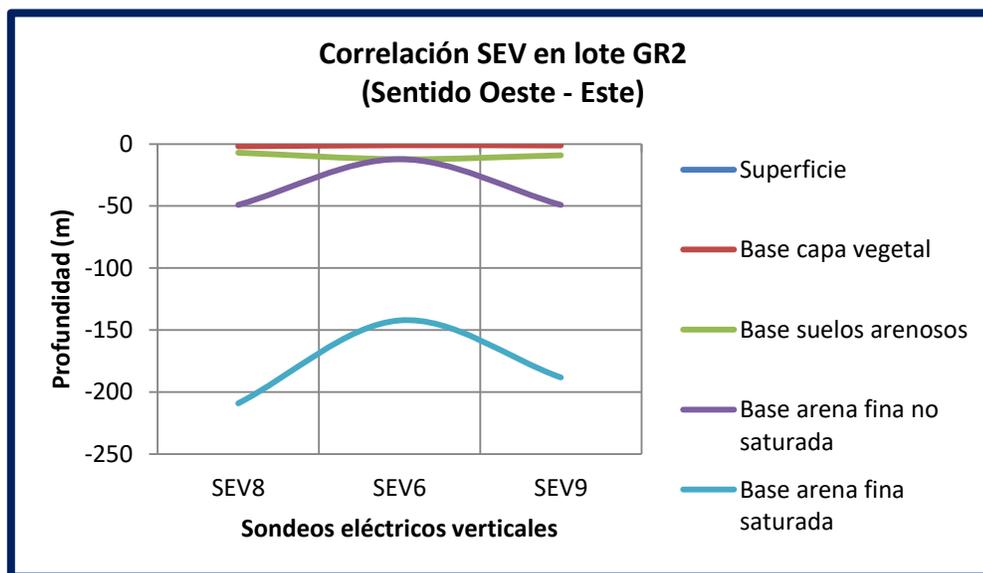
CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote GR2		
	SEV7	SEV6	SEV5
Base			
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1	-1	-0,99
suelos arenosos	-10,75	-12,25	-12,49
arenas finas no saturadas	-60,75	-12,25	-48,49
arena finas saturadas	-215,75	-142,25	-207,7



D.6. Figura Modelo de correlación de SEV, Lote GR2, sentido Norte-Sur.

D.7. Tabla Correlación Oeste-Este, lote GR2.

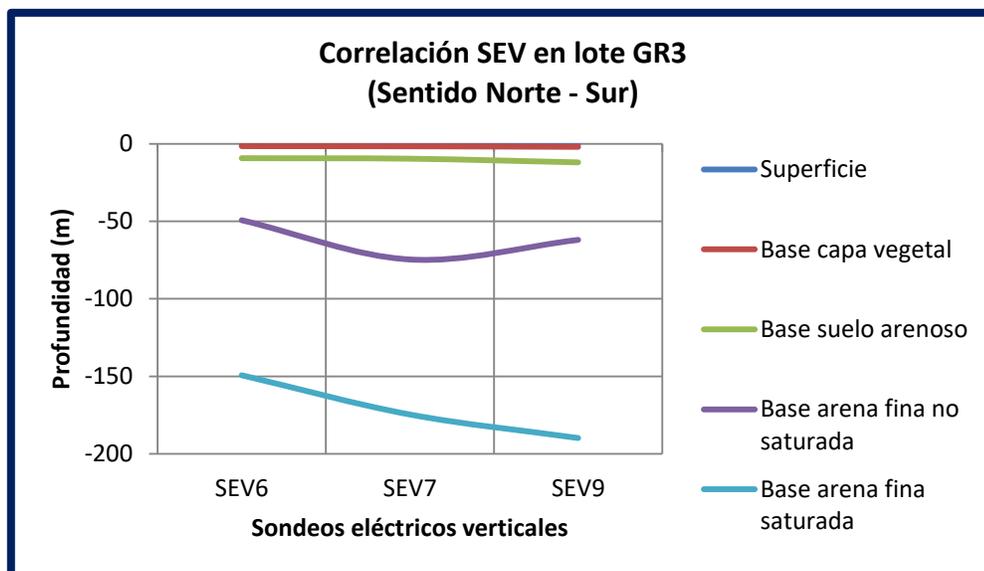
CORRELACIÓN OESTE-ESTE	Lote GR2		
	SEV7	SEV6	SEV5
Base			
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1	-1	-0,99
suelos arenosos	-10,75	-12,25	-12,49
arenas finas no saturadas	-60,75	-12,25	-48,49
arena finas saturadas	-215,75	-142,25	-207,7



D.8. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR2, sentido Oeste-Este.

D.9. Tabla Correlación Norte-Sur, lote GR3.

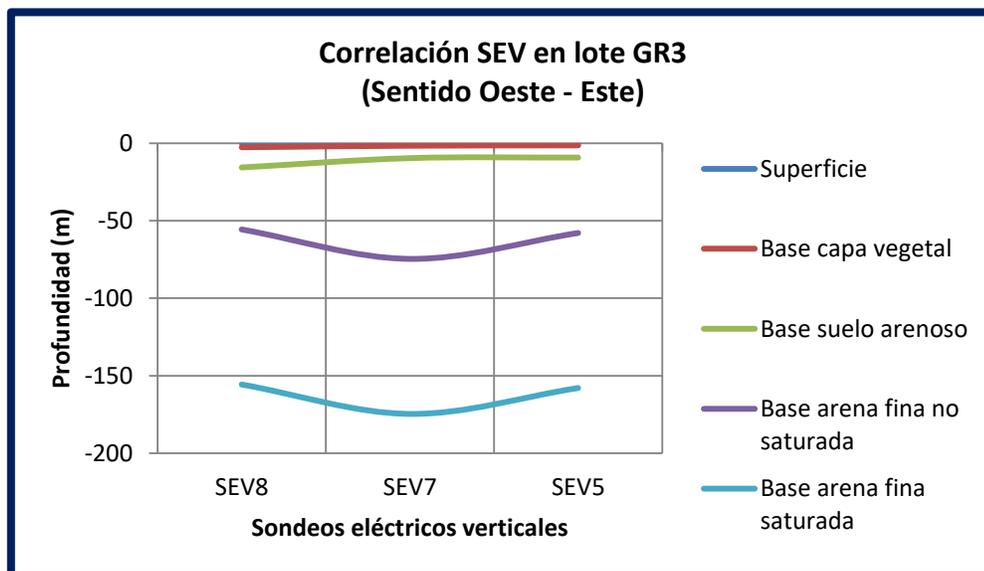
CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote GR3		
	SEV6	SEV7	SEV9
Base			
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1,55	-1,65	-2
suelos arenosos	-9,32	-9,65	-12
arenas finas no saturadas	-49,32	-74,65	-62
arena finas saturadas	-149,32	-174,65	-189,8



D.10. Figura Modelo de correlación de SEV, Lote GR3, sentido Norte-Sur.

D.11. Tabla Correlación Oeste-Este, lote GR3.

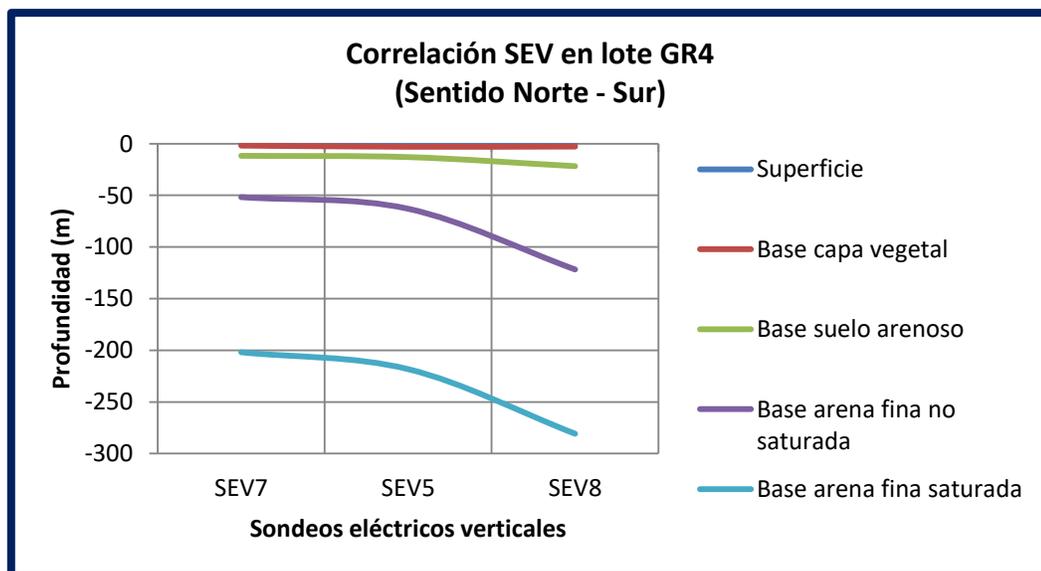
CORRELACIÓN OESTE -ESTE	Lote GR3		
Base	SEV8	SEV7	SEV5
superficie	0	0	0
capa vegetal	-2,67	-1,65	-1,45
suelos arenosos	-15,67	-9,65	-9,27
arenas finas no saturadas	-55,67	-74,65	-57,92
arena finas saturadas	-155,67	-174,65	-157,9



D.12. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR3, sentido Oeste-Este.

D.13. Tabla Correlación Norte-Sur, lote GR4

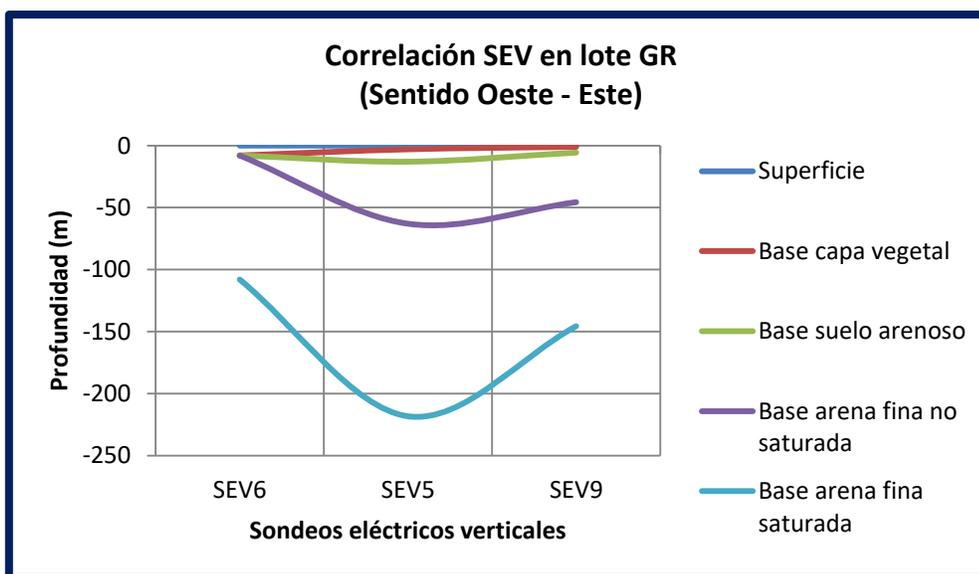
CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote GR4		
Base	SEV7	SEV5	SEV8
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1,88	-3	-2,78
suelos arenosos	-11,76	-13	-21,78
arenas finas no saturadas	-51,76	-63	-121,8
arena finas saturadas	-201,9	-218,24	-280,8



D.14. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR4, sentido Norte-Sur.

D.15. Tabla Correlación Oeste-Este, lote GR4.

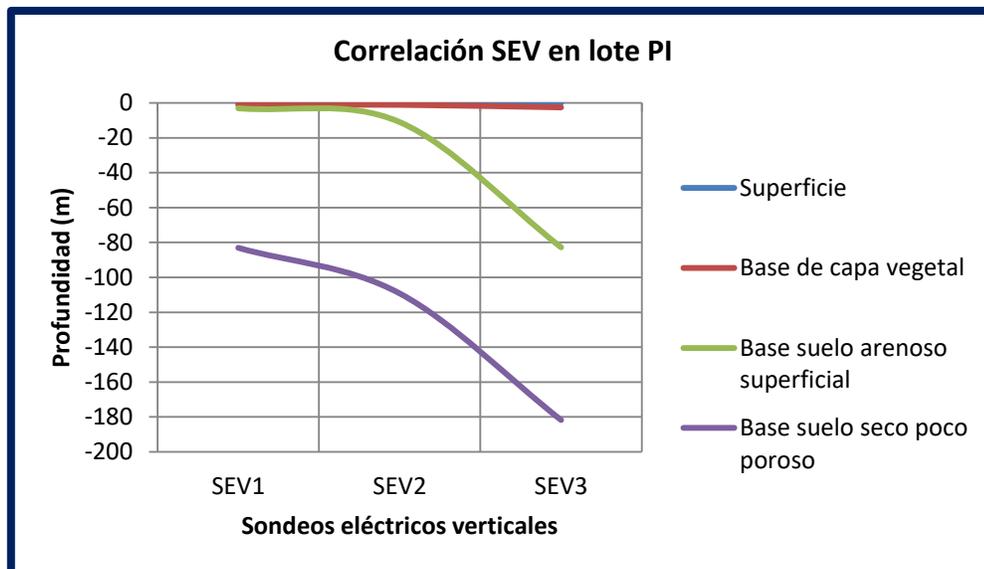
CORRELACIÓN OESTE -ESTE	Lote GR4		
	SEV6	SEV5	SEV9
Base			
superficie	0	0	0
capa vegetal	-8	-3	-1
suelos arenosos	-8	-13	-5,65
arenas finas no saturadas	-8	-63	-45,65
arena finas saturadas	-108	-218,24	-145,7



D.16. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GR4, sentido Oeste-Este.

D.17. Tabla Correlación, lote PI.

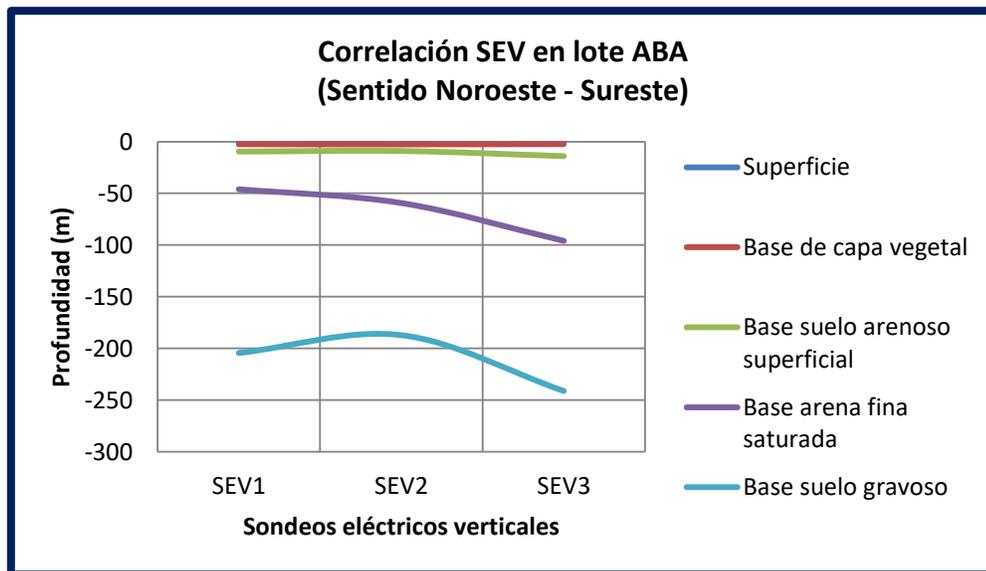
Base	SEV1	SEV2	SEV3
superficie	0	0	0
capa vegetal	-1,05	-1,11	-2,56
suelos arenoso superficiales	-3,05	-10,99	-82,77
suelos secos poco porosos	-83,05	-109,2	-181,8



D.18. Figura Modelo de correlación de SEV, lote PI.

D.19. Tabla Correlación Noroeste-Sureste, Lote ABA

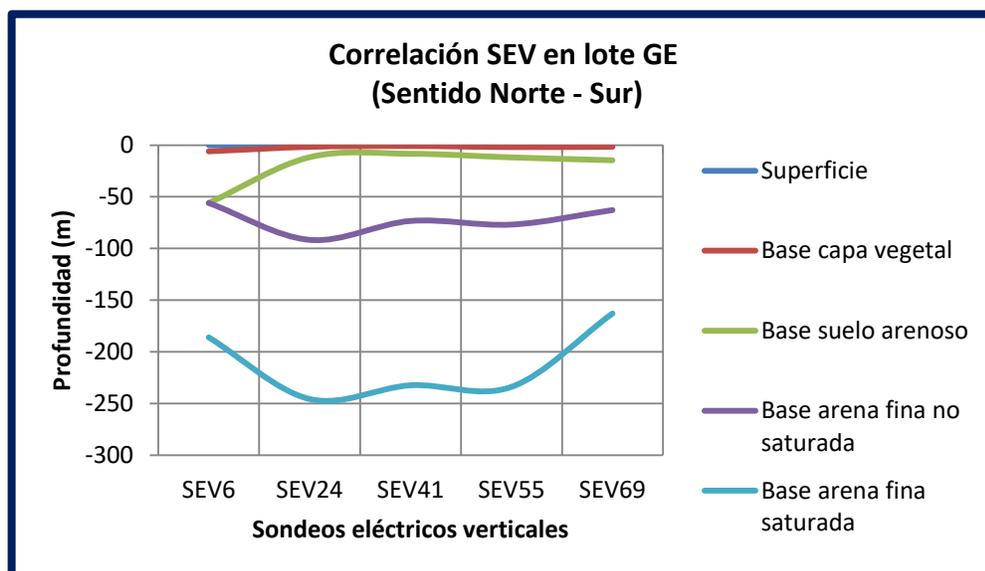
CORRELACIÓN NOROESTE-SURESTE	Lote ABA		
BASE	SEV1	SEV2	SEV3
superficie	0	0	0
capa vegetal	-2,5	-2,65	-2,35
suelo arenoso sup	-9,62	-9,05	-14
arenas finas saturadas	-46,02	-59,37	-96
suelo gravoso	-204,47	-187,19	-241,25



D.20. Figura Modelo de correlación de SEV, lote ABA, sentido Noroeste-Sureste.

D.21. Tabla Correlación Norte-Sur, lote GE.

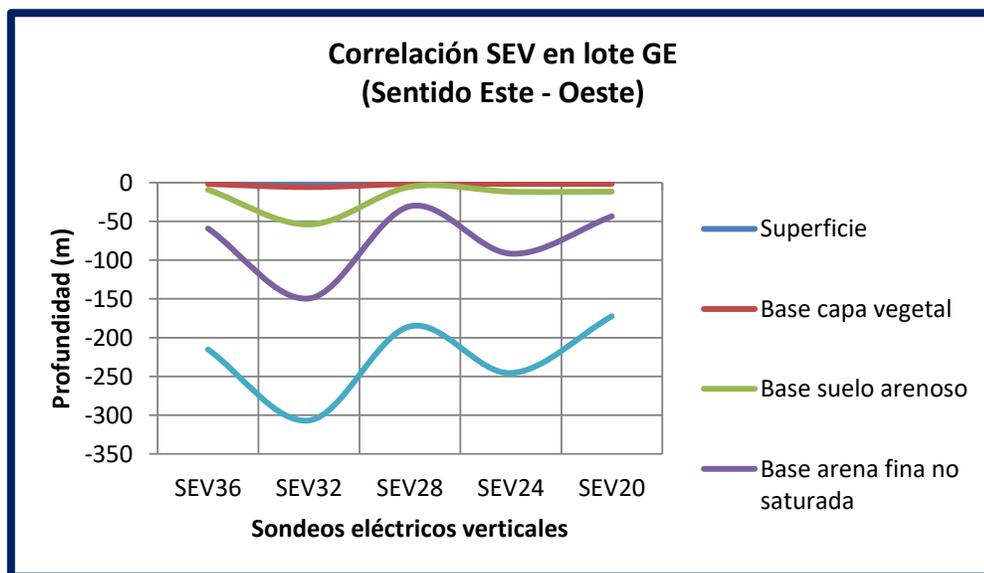
CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote GE				
	SEV6	SEV24	SEV41	SEV55	SEV69
BASE					
superficie	0	0	0	0	0
capa vegetal	-6	-1,66	-0,89	-1,88	-1,65
suelos arenosos	-56	-11,66	-8,36	-11,88	-14,65
arenas finas no saturadas	-56	-91,66	-73,36	-76,88	-62,86
arena finas saturadas	-186	-245,66	-232,36	-233,88	-162,86



D.22. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GE, sentido Norte-Sur.

D.23. Tabla Correlación Este-Oeste, lote GE.

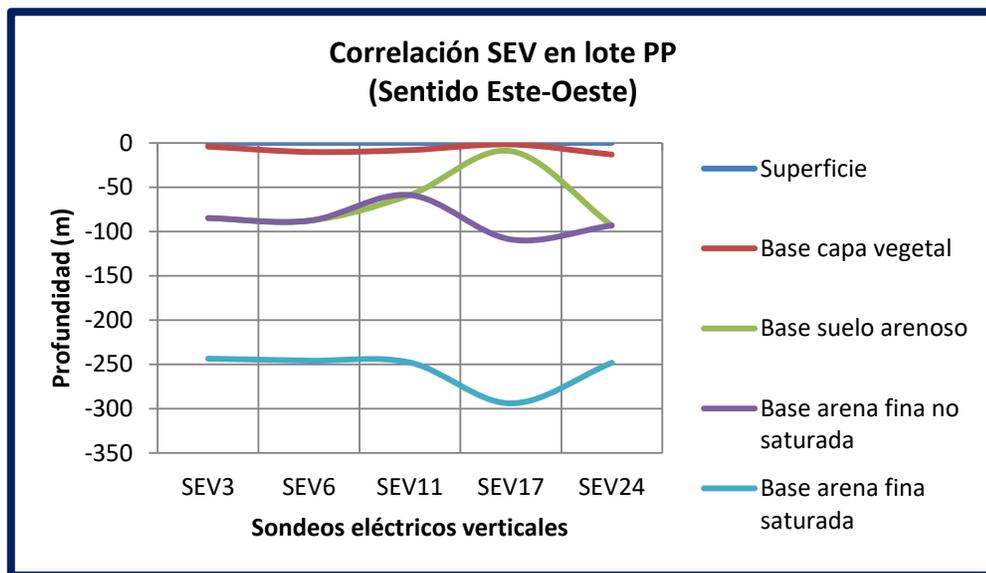
CORRELACIÓN ESTE-OESTE	Lote GE				
Base	SEV36	SEV32	SEV28	SEV24	SEV20
superficie	0	0	0	0	0
capa vegetal	-1,68	-5,74	-1,68	-1,66	-1,58
suelos arenosos	-9,15	-53,95	-5,45	-11,66	-11,58
arenas finas no saturadas	-59,15	-149,42	-30,45	-91,66	-43,45
arena finas saturadas	-215,26	-306,89	-185,45	-245,66	-172,45



D.24. Figura Modelo de correlación de SEV, lote GE, sentido Este-Oeste.

D.25. Tabla Correlación Este-Oeste, lote PP.

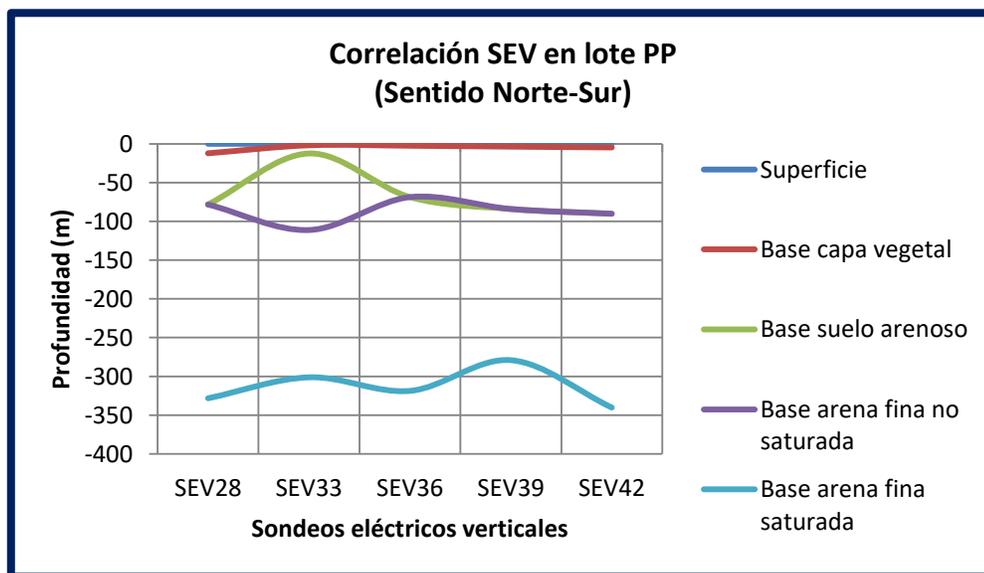
CORRELACIÓN ESTE-OESTE	Lote PP				
Base	SEV3	SEV6	SEV11	SEV17	SEV24
superficie	0	0	0	0	0
capa vegetal	-4,22	-10,25	-8,12	-1,78	-13,22
suelos arenosos	-84,88	-87,92	-58,92	-9,33	-93,22
arenas finas no saturadas	-84,88	-87,92	-58,92	-109,03	-93,22
arena finas saturadas	-243,6	-245,82	-247,92	-294,03	-248,22



D.26. Figura Modelo de correlación de SEV, lote PP, sentido Este Oeste.

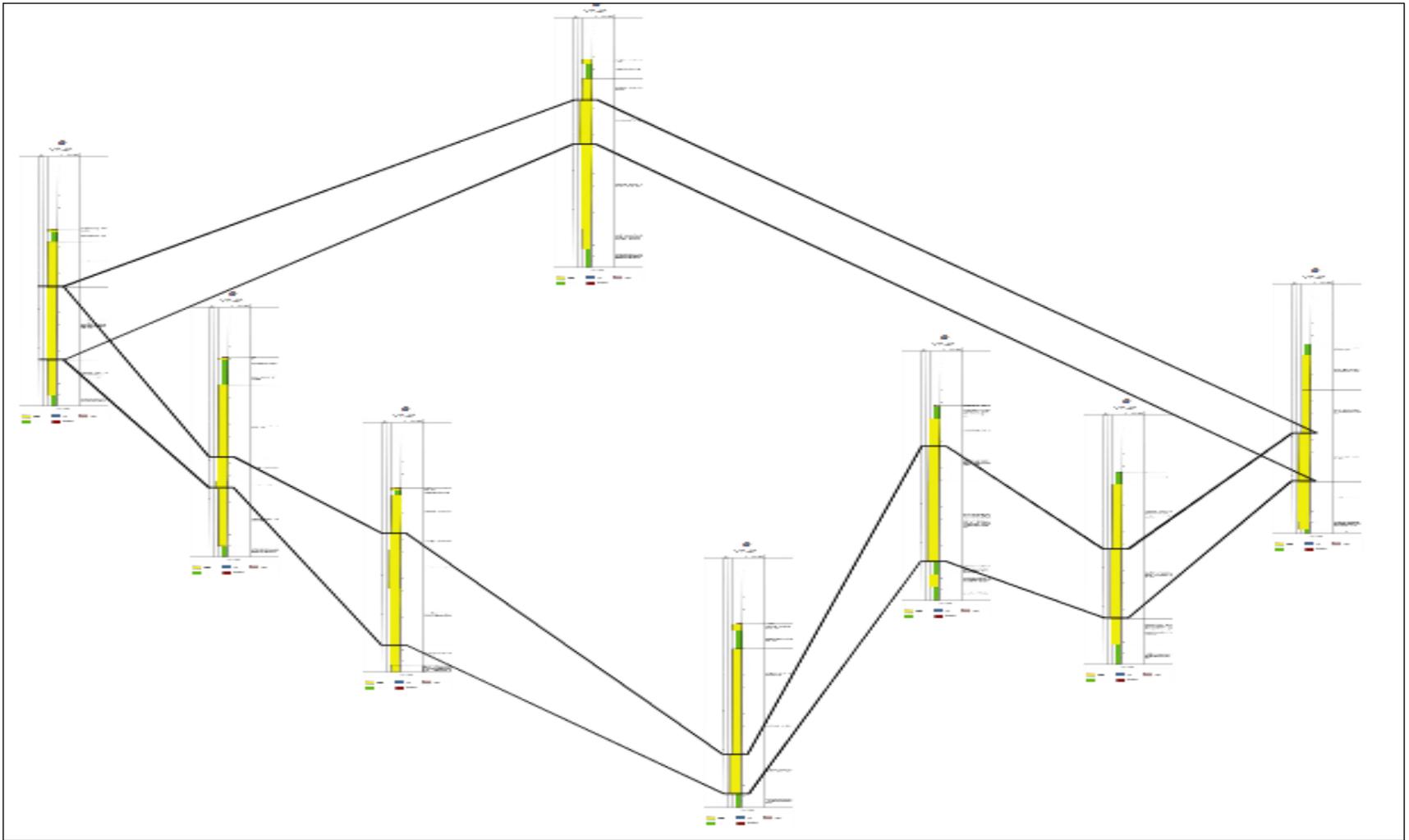
D.27. Tabla Correlación Norte-Sur, lote PP.

CORRELACIÓN NORTE-SUR	Lote PP				
Base	SEV28	SEV33	SEV36	SEV39	SEV42
superficie	0	0	0	0	0
capa vegetal	-12,2	-1,9	-2,5	-3,66	-4,67
suelos arenosos	-78,3	-12,45	-68,75	-84,09	-90,22
arenas finas no saturadas	-78,3	-111,21	-68,75	-84,09	-90,22
arena finas saturadas	-328,3	-301,21	-318,75	-279,09	-340,22



D.28. Figura Modelo de correlación de SEV, lote PP, sentido Norte-Sur.

APÉNDICE C
MODELO DE CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA



F1. Modelo de correlación litoestratigráfica con estrato acuífero.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS UBICADOS EN EL NORESTE DE LA POBLACIÓN DE CHAGUARAMAS, EN EL MUNICIPIO LIBERTADOR, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Guevara Díaz, Luzquemar Ariannys	CVLAC	24038371
	e-mail	Luzariannys07@gmail.com
	e-mail	
Guevara Díaz Luzquemayerlin Arianna	CVLAC	25493297
	e-mail	luzquemayerling@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Hidrogeología
Acuíferos
Chaguaramas
Balance de suelos

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Geo hidrología	Caracterización acuíferos

Resumen (abstract):

La siguiente investigación tiene por objeto principal caracterizar hidrogeológicamente los acuíferos de la zona noreste de la población de Chaguaramas del estado Monagas. Para ello se procederá siguiendo la metodología de una investigación de nivel descriptivo con un diseño de campo y experimental para lo cual se deberán caracterizar las condiciones geológicas y fisiográficas; asimismo, se dimensiona espacialmente el acuífero que ocupa el área de estudio, también se determinan los patrones de flujo preferencial de las aguas subterráneas en la zona y se establece la secuencia de los estratos que constituyen el acuífero. Entre los resultados más relevantes obtenidos es necesario resaltar que los sedimentos predominantes en la zona son de edad Reciente e hidrogeológicamente pertenecen a la Provincia de los Llanos orientales caracterizados por la presencia de acuíferos libres constituidos por arenas gruesas a finas. Los patrones preferenciales de flujo son convergentes hacia el sur aunque existe una divisoria de aguas que drena aguas hacia el noreste. La estratigrafía indica que el espesor de los acuíferos varía entre 30 y 40 metros aproximadamente

Palabras clave: Acuífero, flujo subterráneo, transmisibilidad de estratos

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Dafnis	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
España, Juan	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Echeverría, Beatriz	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2023	05	
-------------	-----------	--

LenguajeSpa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
tesisacuiferoschaguaramas.docx

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial : área hidráulica (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo:

Trabajo de Grado

Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Geológica

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *Martínez*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

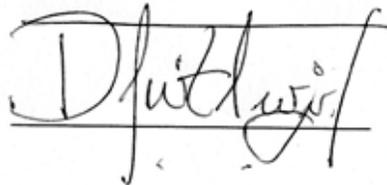
Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

AUTOR 1

Luzquemar Guevara

AUTOR 2

Luzquemayerlin Guevara



TUTOR

Ing. Dafnis Echeverría