

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PAÉZ

**DISEÑO DE REDES DE MONITOREO
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL
HATO DONA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA.
ESTADO CARABOBO**

Autores: Rafael Alberto De Stefano Hernández.

C.I: 23.797.228

Urb. Yuma II, calle N



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN
EL HATO DOÑA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA. ESTADO CARABOBO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Rafael Alberto De Stefano Hernández.

CI: 23.797.228

Tutor: Ing. Oscar González.

CI: 21.020.189

San Diego, Diciembre del 2018.



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

F-CV-016-2018-IICR

Valencia, 31 de Octubre de 2018.

Ciudadanos:
Rafael De Stefano
C.I: 23.797.228
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 31-10-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado **DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL HATO DOÑA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO** presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Oscar González, C.I: 21.020.189 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/fr

ANEXO D



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: De Stefano Hernández	Nombres: Rafael Alberto	C.I.: 23.797.228
Dirección: El Parral, Valencia Carabobo		Teléfono: 0416-5438543
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Ingeniería Civil	Índice Académico	12,35
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autores		
Nombre: <u>RAFAEL ALBERTO DE STEFANO HERNÁNDEZ</u> , Teléfono: <u>0416-5438543</u>		
Título del Trabajo: <u>DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.</u>		
Breve Explicación: El propósito de la presente investigación será diseñar una red de monitoreo de aguas subterráneas en el municipio de Valencia estado Carabobo, con el fin de lograr una gestión eficaz y un control en los acuíferos y aguas subterráneas del municipio, logrando un diseño de monitoreo de redes óptimo en ubicación y tiempos de muestreo para lograr estimaciones confiables de los parámetros de calidad del agua subterránea y de los niveles del agua subterránea .		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto: Valencia – Edo. Carabobo		
Tiempo de Desarrollo: 8 meses		
Tutor Académico propuesto: Ing. Oscar Gonzales		

APROBADO _____ NO APROBADO _____

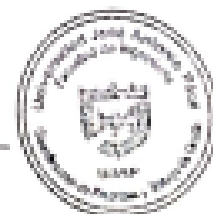
COMITÉ DE EVALUACIÓN

COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

Yally Franco
Nombre

Yally Franco
Firma

14-06-2018.
Fecha



DIRECCIÓN DE ESCUELA
Querly Castilla
Nombre

Querly Castilla
Firma

14-06-2018
Fecha



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Oscar J. González R. titular de la cédula de identidad N.º 21.020.189, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano Rafael Alberto De Stefano H.; titular de la cédula de identidad 23.797.228 titulado **"DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL HATO DOÑA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA. ESTADO CARABOBO."**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 31 días del mes de Julio del año 2018.

Ing. Oscar González R.
CI: 21.020.189



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL

San Diego, Diciembre 2018

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL PROYECTO DE TRABAJO
DE GRADO**



Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado:
**"DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN
EL HATO DOÑA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA. ESTADO
CARABOBO"**. ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su
aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico
correspondiente.

Ing. Oscar González R.

Tutor Académico

Ing. Alicia de Pizzella

Tutor Metodológico

	<u>27-7-18</u>
Firma	Fecha
	<u>27-7-18</u>
Firma	Fecha

ÍNDICE

CONTENIDO	Pp
INDICE DE FIGURAS	Ix
RESUMEN INFORMATIVO	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I. EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación.....	5
1.3 Objetivos de la Investigación.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance y Limitación.....	6
II. MARCO TEÓRIO	
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	11
2.2.1 Estado del arte en las redes de monitoreo piezométrico.....	11
2.2.2 Marco estadístico	13
2.2.3 Marco de modelación	16
2.2.4 Metodología de diseño optimo espacio-temporal de una red de monitoreo	19
2.2.5 Modelo estocástico	20
2.2.6 Filtro de Kalman	21
2.2.7 Estimación de los momentos a priori.....	23
2.2.8 Función para minimizar la varianza del error de la estimación.....	24
2.3 Definición de términos básicos.....	26
III. MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipos de la Investigación.....	29
3.2 Diseño de la Investigación.....	29
3.3 Nivel de Investigación.....	29
3.4 Población	30
3.5 Muestra	30
3.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	30
3.7 Fases Metodológicas.....	31
IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1 Análisis de los resultados.....	36

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones.....	58
5.2 Recomendaciones.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PP
1 Tabla 1. Identificación geográfica de los pozos en estudio.	31
2 Figura 1. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río ganador o efluente	36
3 Figura 2. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río perdedor o efluente	37
4 Figura 3. Época del año lluviosa en que el río se comporta de manera influyente	38



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL
HATO DOÑA FLORA, MUNICIPIO VALENCIA. ESTADO CARABOBO.**

Autor(a): Rafael Alberto De Stefano Hernández.

Tutor(a): Oscar González.

Fecha: Diciembre, 2018

RESUMEN INFORMATIVO

La presente investigación posee como objetivo general diseñar redes de monitoreo de aguas subterráneas, en el Hato Doña flora, Valencia, Edo Carabobo, con la finalidad de estimar los parámetros hidráulicos de la misma, para aprovecharlos tanto en la administración del estado como su población. Metodológicamente se caracterizó por ser un diseño de investigación de campo no experimental, la cual observa los fenómenos tal cual como se dan en su contexto natural. La investigación se enmarca dentro de la investigación aplicada o proyecto factible, la población estuvo sujeta al acuífero en estudio ubicado en el municipio Valencia, Sector el Paíto. Como instrumento de recolección de datos se utilizó la técnica de observación estructurada ya que los autores construyeron un plan referente a las características a observar y a los datos que deben ser recolectados. A su vez se empleó un instrumento en el cual se medirán y evaluarán parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua. Una vez obtenida la información mediante las técnicas de recolección de datos, se procederá a analizar esta, para luego presentar la propuesta a través del diseño de redes de monitoreo de aguas subterráneas, como respuesta a la problemática planteada.

Descriptor: Diseño, redes de monitoreo, aguas subterráneas, parámetros, hidráulico, administración.

INTRODUCCIÓN

El agua representa uno de los recursos mas importantes que ha sido utilizado por la raza humana para su desarrollo y evolución, debido a la necesidad que tenemos de este recurso, el 97,5% del agua en el planeta tierra se encuentra en los mares y océanos, siendo nada mas que un 2,5% de este recurso agua dulce, y un 0,76% representado por las aguas subterráneas, lo cual nos puede dar una orientación a la importancia de estas mismas. Aproximadamente el 70% de todas las aguas extraídas de los ríos, lagos y acuíferos se utilizan para el riego de acuerdo al informe de los datos destacables del informe del 2015 de la ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU), siendo las aguas subterráneas las cuales representan uno de los métodos de accesibilidad al agua potable más utilizados en el planeta tierra debido a su accesibilidad en locaciones remotas y la calidad de esta misma.

La Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la Cultura (UNESCO), en su informe 2016, Agua y Empleo, calcula que tres de cada cuatro empleos en el mundo dependen en mayor o menor medida del agua. La escasez de agua potable y los problema de acceso a ella y el saneamiento pueden por lo tanto limitar el crecimiento económico y la creación de empleo en los próximos decenios. Este informe muestra también que el 78% de los 1.500 millones de trabajadores laboran en sectores dependientes del agua.

La explotación de este recurso por este método, en el estado Carabobo ha aumentado debido a la inestabilidad que ha presentado el suministro de este vital recurso por parte de las autoridades responsables y a su vez causado por su gran demanda de agua por su alta densidad poblacional, los pozos profundos han representado unos de los medios de abastecimiento de agua potable mas importantes en el estado, y para poder continuar la explotación de este recurso sin afectar nuestros acuíferos y tener retornos negativos, se deben tomar previsiones y planificaciones factibles y eficientes para lograr un aprovechamiento de este recurso correcto y adecuado, cumpliendo a su vez con uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

(ODS) establecidos en acuerdo por 193 países firmantes en la ONU, el cual esta enmarcado de numero 6 y dicta: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, para ello se debe velar en registrar todos los cambios que ocurren en los niveles de las aguas subterráneas es un proceso que ocurre lentamente en el subsuelo y en grandes extensiones, por lo que no es posible realizar su estudio con un solo levantamiento de datos, al contrario, se deben establecer redes de monitoreo continuas que permitan obtener la información necesaria para lograr una gestión eficaz de este recurso hídrico, así como controlar los impactos de la extracción del agua y monitorear agentes de contaminación que puedan afectar al acuífero. Las actividades básicas son: recolección, análisis y almacenamiento de un número determinado de datos en forma regular, conforme a circunstancias y objetivos específicos que persiga la red de monitoreo.

En el país se han realizado diversos estudios sobre el comportamiento del flujo subterráneo de los distintos acuíferos existentes; enfocándose en el acuífero metropolitano, para dichos estudios se han utilizado diversidad de métodos y equipos con los que se han obtenido la información necesaria para conocer dicho comportamiento, pero estos estudios han tenido la limitante que los datos proporcionados son de características puntuales en el tiempo debido a que no se han podido realizar estudios en forma continua al comportamiento del acuífero.

La naturaleza sabiamente aporta los elementos necesarios para el equilibrio ecológico y la sustentabilidad de sus benefactores, no obstante, diversos factores irrumpen ese equilibrio provocando el desbalance y posteriormente caos ambiental que obviamente termina afectando su propio entorno y por ende la población humana.

Tal es el caso del agua, que es un vital elemento de vida y que no solo sirve para aseo personal sino para la producción alimenticia del mundo y del propio ser humano así como de cualquier ser vivo que en el planeta exista. El difícil acceso al vital liquido debido a los problemas tanto de planificación urbanística como de contaminación de las aguas o poco mantenimiento en las plantas de tratamiento ha generado una creciente tendencia a la creación de pozos de agua, bien sea por su

potabilidad o por su fácil adquisición en comparación con un sistema de tuberías, el problema radica en la creación desmesurada de los mismo y el mal uso que a estos se les da. El conocimiento de los parámetros hidráulicos de los pozos de Valencia, permitirá emprender el monitoreo de su sustentabilidad y así evitar la sobre explotación, también generar una base de datos para las autoridades de Valencia para su desarrollo urbanístico a futuro y así obtener una buena administración del agua.

La estructuración del siguiente trabajo de grado se estructuró en 5 capítulos los cuales se resumen de la siguiente manera:

Capítulo I El Problema: planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación del problema, alcance y limitaciones.

Capítulo II marco teórico: Antecedentes de la investigación y bases teóricas.

Capítulo III Marco metodológico: Tipo de investigación, diseño de la investigación, nivel de investigación y fases metodológicas.

Capítulo IV Análisis de los resultados

Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El diseño de redes de monitoreo del agua subterránea consiste en establecer un programa de supervisión continua en pozos de muestreo para medir niveles del agua subterránea y tomar muestras para el análisis de variables físicas, químicas y biológicas previamente establecidas. Este tipo de redes de monitoreo piezométricas y de calidad del agua subterránea son indispensables para conocer el comportamiento de un acuífero, así como sus tendencias de calidad del agua. Esta información es básica para lograr una gestión eficaz y controlar los impactos ambientales negativos de la extracción del agua subterránea y de las cargas de contaminantes, y a su vez cumplir con la meta del 2030 del ODS Nro.6 en lograr una gestión integrada de los recursos hídricos en todos sus niveles, incluso mediante cooperación transfronteriza según proceda. Sin embargo, se requiere de un alto costo para medir los niveles del agua subterránea, recabar las muestras, y llevar a cabo el análisis de los parámetros de la calidad del agua subterránea en todos los pozos de monitoreo de un acuífero o de alguna zona contaminada. Es por ello que se requiere de un diseño óptimo de redes de monitoreo con las cuales se optimice la selección de los pozos y los tiempos de muestreo (en dónde, cuándo y cuántos pozos muestrear), los cuales proporcionen la mayor información para lograr estimaciones confiables de los parámetros de calidad del agua subterránea y de los niveles del agua subterránea.

Como respuesta a estas necesidades, Herrera (1998) propuso un método para el diseño óptimo de redes de monitoreo, que involucra en el diseño el espacio y el tiempo de forma combinada. Este método tiene varias ventajas: por un lado permite seleccionar tanto posiciones como tiempos de monitoreo en forma óptima; con la información obtenida de la red de monitoreo permite hacer estimaciones en espacio y el tiempo; y utiliza un modelo de flujo y transporte, el cual sintetiza el conocimiento de las características del acuífero, de la dinámica del flujo subterráneo y de la problemática de calidad del agua subterránea que se tenga, a la vez que incluye el

conocimiento de las leyes físicas. Este método se probó en un caso de estudio que se reporta en Herrera et al. (2001), y otros ejemplos de aplicación se presentan en Herrera y Pinder (2005). Nos referiremos a este método como el método de Herrera y Pinder.

El método de Herrera y Pinder se propuso originalmente para diseñar redes de monitoreo de calidad del agua y se divide en dos procedimientos: 1) estima la varianza del error de la estimación que se obtendría si se tomaran muestras de agua en diferentes pozos y tiempos de monitoreo, y 2) escoge las posiciones y tiempos de monitoreo que minimizan una función de la varianza del error de la estimación, con los cuales se definen la red de monitoreo y su programa de muestreo. En este trabajo se prueba una modificación de ese método para diseñar redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea. Dicha modificación consiste en emplear la carga hidráulica en vez de la concentración, y por tanto un modelo de flujo en vez de un modelo de transporte, como en los dos procedimientos descritos anteriormente. La formulación del método resultante se presenta para redes de monitoreo espaciotemporales y la aplicación se realiza en un caso de estudio sintético en el que la red de monitoreo se diseña para un solo tiempo.

En la República Bolivariana de Venezuela se ha estimado que las reservas renovables son de aproximadamente 22.312 millones de m³ y las reservas totales a la margen izquierda del río Orinoco de 8 billones de m³, si bien se estima que el potencial de aguas subterráneas es significativo, su uso no está siendo apropiadamente controlado, tampoco existe un inventario actualizado, que suministre el conocimiento preliminar de las características Hidrogeológicas y proporcione la base de datos necesaria para una adecuada planificación de los trabajos de investigación que conduzcan a emprender su manejo sustentable (Duran, 2011)

En el Estado Carabobo, debido a sus características geográficas, presencia de la cuenca del lago de Valencia como una cuenca cerrada (endorreica), el acelerado crecimiento poblacional de los últimos 20 años y al desarrollo industrial (principal centro industrial del país), así como también al crecimiento del parque automotor, ha

confrontado una diversidad de problemas interrelacionados que afectan las condiciones ambientales y atentan contra la calidad de vida de sus habitantes.

El agua representa uno de los factores fundamentales para el desarrollo de las actividades económicas del estado, es de allí, que surge el objeto de estudio de esta investigación, a fin de estimar los parámetros hidráulicos de las redes de monitoreo de aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, Municipio Valencia sector el Paíto, Estado Carabobo 2018, zona sur, que permitirán una estimación de sus parámetros que sean aprovechables tanto en la administración del estado como de los pobladores que reciben dicho beneficio.

1.2 Formulación del problema

De lo anteriormente expuesto surge la siguiente interrogante: ¿Cómo diseñar redes de monitoreo de aguas subterráneas en El Hato Doña Flora, Municipio Valencia sector el Paíto?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Diseñar redes de monitoreo de aguas subterráneas en El Hato Doña Flora, Valencia, Estado Carabobo

1.3.2 Objetivos Específicos

Medir los niveles de agua subterránea y la calidad de recursos hídricos subterráneos.

Registrar los caudales de extracciones al sistema de agua subterránea destinado para riego, industria y población.

Proponer red de monitoreo de aguas subterráneas

1.4 Justificación

A nivel global, el agua subterránea representa unas veinte veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas, de ahí la importancia de esta agua como reserva y como recurso de agua dulce. Además, tiene un importante papel en la naturaleza. El efecto de la gran reserva de agua respecto al flujo anual, es

esencial para mantener el caudal de base de muchos ríos y la humedad del suelo en las riberas y áreas bajas. Es de suma importancia conocer los parámetros hidráulicos de las aguas subterráneas en Valencia y si existen o no alteraciones en los parámetros del mismo, ya que no solo reviste en el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos, sino que además brinda soporte técnico a las autoridades municipales, Instituto Municipal del Ambiente (IMA) - Municipio Valencia, en donde este último regula los proyectos de ambiente del municipio cónsonos al plan de la patria 2013 - 2019, en un conjunto de acciones que hacen posible la toma de previsiones y preservación del acuífero y su medio natural

El conocimiento de dichas estimaciones de parámetros permitirá a los entes reguladores del estado y sus beneficiarios un mejor conocimiento tanto en el plano social, como lo es el desarrollo urbanístico disponible para la zona en base a la capacidad de dicho acuífero, en donde los recursos económicos invertidos sean de aprovechamiento máximo tanto para el proyecto como del mismo estado en materia de inversión. Además, el conocimiento de los parámetros hidrogeológicos permiten a los participantes de esta investigación y estudios futuros, un mejor enfoque en proyectos en cuanto al área topográfica de trabajo, así como el abordaje directo de las cuencas hídricas sus fluentes, preservación y explotación por parte de las comunidades aledañas, uso irracional y explotación de caudales por deforestaciones o uso de pesticidas, entre otros muchos temas.

1.5 Alcance y limitaciones

Dentro del alcance que tendrá la red de monitoreo corresponderá a los acuíferos de la zona del sector el Paíto, municipio Valencia, estado Carabobo. Adicionalmente la investigación teórica es referente a los aspectos que se ven involucrados en toda red de monitoreo, apoyándose con ejemplos en otros países. Igualmente la recolección y presentación de datos obtenidos en los meses de octubre a noviembre del presente año, así como el estudio abarca el monitoreo de cantidad de agua en los acuíferos y de su calidad.

Por su parte las limitaciones que se presentan se encuentran la disposición de tiempo y recursos de las instituciones involucradas en el proyecto, así como la confidencialidad en la información de las instituciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Guzmán, D. y Pereira, K, (2017) en su trabajo de grado titulado **“Estudio de gestión de las aguas subterráneas en Venezuela, caso especial: Acuífero de la MESA de Guanipa”**, presentado en Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui. El propósito de esta investigación, se fundamenta en el estudio y recopilación de información sobre el desarrollo de las aguas subterráneas en Venezuela, haciendo especial énfasis en el acuífero de la Mesa de Guanipa, ya que es uno de los más grandes y de gran potencial, y en beneficio a impulsar una adecuada gestión hídrica en la zona. Cuyo objetivo general fue Estudiar la gestión de las aguas subterráneas en Venezuela, caso especial: Acuífero de la Mesa de Guanipa.

Con ello, Venezuela es un país rico en recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos. Para el año 1972, las reservas totales de aguas subterráneas fueron cuantificadas por la Comisión para el Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), al Norte del Rio Orinoco, en 7,7 Billones de m³. Uno de los acuíferos de mayor potencial es el Acuífero de la Mesa de Guanipa ubicado en el Estado Anzoátegui, se estima que su volumen está por el orden de 1260 millones de m³. Para garantizar la durabilidad en el tiempo de las aguas subterráneas es necesaria la implementación de un plan de gestión, que significa balancear la explotación del recurso en términos de cantidad, calidad y relación con otros recursos naturales, con el incremento en la demanda del agua utilizada. Sin embargo, para la fecha no se ha actualizado la cuantificación de estas reservas, lo que no permite establecer medidas para su máximo aprovechamiento. En esta materia, el país ha tratado avanzar hacia la definición real del agua subterránea como recurso estratégico, a través de la aprobación de la Ley de Aguas, la reactivación de redes de

medición del recurso y la aplicación de técnicas innovadoras para la exploración de los acuíferos en proyectos pilotos, cuya descripción es objeto de este estudio. La reactivación inmediata del monitoreo permanente en todos los pozos del país, así como un inventario actualizado de todos los puntos de agua es la operación más importante a realizar para el conocimiento preliminar de las características hidrogeológicas de una zona. En este sentido, resulta impostergable el fortalecimiento de un sistema de información hidrogeológica con información en tiempo real al servicio de la predicción y la prevención de desastres.

Este trabajo viene a ser un antecedente referencial para el desarrollo de la presente investigación por tratarse del estudio de la gestión de las aguas subterráneas en Venezuela, resaltando en sí el acuífero más grande que se encuentra en el oriente del país tal es el caso del acuífero de la Mesa de Guanipa. Así como también su importancia para el uso en la agricultura para el desarrollo de esa zona.

Por su parte, Vegas, D., y Palma, M. (2016) en su trabajo de grado titulado **“Estimación de parámetros hidráulicos del acuífero del municipio San Diego 2016: zona norte, Estado Carabobo”**, presentado en la Universidad de Carabobo. El mismo tuvo como objetivo general fue Estimar los parámetros hidráulicos del acuífero del municipio San Diego, Edo. Carabobo

La idea principal de este proyecto es estimar los parámetros hidráulicos del acuífero de San Diego específicamente de la zona Norte, para obtener estos datos se procedió a organizar un plan de visitas a los pozos de la zona norte del municipio de San Diego, las muestras fueron tomas con una sonda PLM y se usó un tobo con una cinta graduada para la determinación del caudal relativo mediante el método de Theis, los pozos a estudiar se ubican en Villas de San Diego Country Club y el segundo en el sector del conjunto residencial El Tulipán. Las coordenadas fueron adquiridas mediante en software de Google Earth en el sistema UTM. A los pozos se le realizaron análisis físico- químicos y bacteriológico, donde la dureza total estuvo entre los valores de 100 -130 mg/l CaCO₃, pH entre 7,10 – 7,30, los sólidos disueltos se encuentra entre 160-200 mg/l, cloruros iguales a 8 mg/l y obteniendo unos

coliformes totales y fecales menores a 1, 1 NMP/100 ml dando como resultado un cumplimiento en todos los parámetros expuestos según Las Normas sanitarias de calidad del agua potable, Gaceta N° 36.395. Con esto se inicia la determinación de parámetros hidráulicos de los pozos del municipio de San Diego en la zona norte y el control de los mismos, ya que muchos no se encuentran operativos por falta de mantenimiento o no cumplen con las especificaciones técnicas del decreto N° 2048, Gaceta N° 36.298, Normas de ubicación, construcción y mantenimiento de pozos destinados a abastecimiento del agua potable. En cuanto a los parámetros hidráulicos se obtuvo una transmisividad 19,47 m² /día que es un valor de transmisividad clasificado como “baja”, esto puede ser debido a la gran cantidad de material de baja permeabilidad pues posee una litología de arena, grava y arcillas, además con un coeficiente de almacenamiento de 1,55E-14 clasificando al acuífero como un acuífero confinado.

Este trabajo viene a ser un antecedente referencial para el desarrollo de la presente investigación por tratarse de la efectividad en el conocimiento de dichas estimaciones de parámetros permitirá a los entes reguladores del estado y sus beneficiarios un mejor conocimiento tanto en el plano social, como lo es el desarrollo urbanístico disponible para la zona en base a la capacidad de dicho acuífero, en donde los recursos económicos invertidos sean de aprovechamiento máximo tanto para el proyecto como del mismo estado en materia de inversión.

Así mismo, Chávez, D. y Pastora, D. (2017) en su trabajo de grado titulado **“Gestión e implementación de la red de monitoreo de aguas subterráneas en el AMSS y Valle de Zapotitan”**, presentado en la Universidad Centroamericana **“José Simeón Cañas”**, El Salvador. La cual tuvo como objetivo general Desarrollar un trabajo que contenga los principios básicos de las razones, beneficios, funciones, selección de sitios e instalación de una red de monitoreo de aguas subterráneas; además, presentar los primeros productos, que permitan desarrollar la línea base de los datos obtenidos en la red para el AMSS y el Valle de Zapotitán.

Con ello, en El Salvador se han realizado diversos estudios sobre el comportamiento del flujo subterráneo de los distintos acuíferos existentes; enfocándose en el acuífero metropolitano, para dichos estudios se han utilizado diversidad de métodos y equipos con los que se han obtenido la información necesaria para conocer dicho comportamiento, pero estos estudios han tenido la limitante que los datos proporcionados son de características puntuales en el tiempo debido a que no se han podido realizar estudios en forma continua al comportamiento del acuífero. Por la problemática anterior, la Unión Europea por medio del proyecto FORGAES se dio a la tarea de gestionar e implementar la primera red de monitoreo continua de aguas subterráneas, instalada en las zonas de AMSS y Valle de Zapotitán.

La finalidad para desarrollar el siguiente trabajo fue, en primer lugar, ordenar sistemáticamente todo el proceso necesario para realizar la instalación de la red y gestión de la misma, quedando así una constancia en el país que sirva a las instituciones involucradas en mejorar o ampliar la red, por lo que se elaboró un manual guía que explica paso a paso y de forma clara lo necesario para su implementación. Además, es importante dejar claro las características de la red de monitoreo instalada como son el número de pozos, propietarios, ubicación, georeferenciación de puntos, esquemas de cómo han quedado instalados los equipos de medición para cada pozo y como complemento imágenes representativas del proceso de instalación.

Este trabajo constituyó un aporte importante por la similitud del tema de investigación en cuanto investigar sobre los factores principales que intervienen en toda red de monitoreo continua de aguas subterráneas, por lo que se recurrió en su mayoría, a bibliografía encontrada por medio de Internet debido a que este tema no ha sido investigado a profundidad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Estado del arte en las redes de monitoreo piezométrico

A continuación se presenta un resumen de trabajos que proponen métodos para el diseño de redes de monitoreo del agua subterránea. Se incluyen también algunos

que presentan métodos para el diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua subterránea, ya que con algunas modificaciones pueden servir de base en el diseño de redes que permitan una adecuada caracterización de la carga hidráulica en acuíferos.

Tres puntos de vista han influenciado mucho el diseño de redes de monitoreo del agua subterránea (ASCE, 2003). En el primero de ellos, que llamamos marco hidrológico, siguiendo a Loaiciga (1992), la red y su programa de muestreo se definen por consideraciones que toman en cuenta solamente las condiciones hidrológicas del sitio, sin recurrir a técnicas estadísticas o probabilísticas avanzadas. El segundo propone el análisis de datos dentro de un marco estadístico y define la red de muestreo basado en inferencias obtenidas de los datos, éste se llama marco estadístico. Al último punto de vista le llamaremos aquí marco de modelación, en donde se utilizan modelos matemáticos del agua subterránea para determinar posiciones y frecuencias de muestreo.

A continuación, primero se presentan los trabajos basados en criterios geoestadísticos, que pueden ser incluidos en el marco estadístico, y posteriormente trabajos que pueden incluirse en el marco de modelación. En cada una de estas categorías primero se describen los trabajos en los que únicamente se seleccionan de forma óptima las posiciones de muestreo y posteriormente los que incluyen también la selección óptima de frecuencias o tiempos de muestreo.

2.2.2 Marco estadístico

Rouhani (1985) propone el método de reducción de la varianza para aumentar una red de monitoreo existente. La red de monitoreo se aumenta agregando muestras de pozos en lugares que minimizan la varianza del error de la estimación de una variable, calculada por medio de kriging. Este trabajo no involucra la frecuencia temporal de muestreo en el diseño. La aplicación de la red de monitoreo se hace para la concentración de un contaminante, sin embargo, el mismo método se puede utilizar en el diseño de redes de monitoreo piezométrico.

Samper y Carrera (1990) presentan una comparación de diferentes métodos para el diseño de redes de observación basados en la implementación del kriging. Dividen el diseño de las redes de monitoreo en dos grandes categorías: cuando se añade un punto de medición a una red ya existente y cuando se añaden varios puntos. Incluimos aquí únicamente lo referente a la segunda categoría, que es la más relevante para este trabajo. En este caso se consideran varios métodos para añadir posiciones de puntos de medición:

1. Método de inclusiones sucesivas: se van probando uno por uno puntos alternativos que se unen a un conjunto dado de pozos y se escoge el que minimiza la varianza del error de la estimación.

2. Intercambios sucesivos óptimos: se intercambian los elementos de un conjunto dado de puntos existentes con los elementos de un conjunto de puntos alternativos para encontrar la mínima varianza.

3. Enumeración total: se analizan subconjuntos del total de pozos a monitorear; se empieza con todos los subconjuntos de un elemento, luego los que se formen con dos elementos y así sucesivamente hasta llegar al subconjunto que proporcione la incertidumbre deseada.

4. "Rama y límite": inverso al anterior, el conjunto inicial corresponde al conjunto total de puntos disponibles y se van suprimiendo puntos.

Dentro de esta categoría también se considera la definición de redes de monitoreo mediante el uso de mallas regulares que pueden tener elementos con diversas geometrías (se ubican pozos de una red de monitoreo en cada uno de los elementos o nodos de una malla). En este caso se trabaja únicamente con los parámetros que definen la malla regular y se establece una relación entre la varianza y el costo asociado con estos parámetros.

Del análisis realizado para el diseño de una red se concluye que el método de inclusiones sucesivas, aunque es subóptimo, da buenos resultados en la elección de puntos de estimación, además de que resulta ser una metodología muy económica. Es

por lo anterior que esta metodología se ha utilizado frecuentemente, obteniendo buenos resultados.

Cameron y Hunter (2000) propusieron un método para reducir la redundancia espacial y temporal por medio de dos algoritmos: uno temporal y otro espacial. El algoritmo temporal combina series de tiempo de datos de muchos pozos para construir un semivariograma temporal compuesto y usa el semivariograma para definir frecuencias de muestreo que proporcionen datos temporales sin correlación. En el algoritmo espacial se obtiene una estimación inicial de la pluma del contaminante usando kriging con todos los pozos existentes. Se asignan pesos numéricos, llamados pesos de kriging global, a la posición de los pozos, para evaluar su contribución relativa a la estimación de la pluma. Subconjuntos de pozos con los pesos de kriging global más bajos se remueven temporalmente y se hace una nueva estimación de la pluma. La variancia del kriging de la nueva estimación se compara con la de la estimación inicial para ver si la incertidumbre ha aumentado substancialmente. Si no es así, se quita el subconjunto de los pozos; en caso contrario, el subconjunto de pozos no se remueve. En este trabajo no se considera en el análisis la correlación cruzada espacio-tiempo de la concentración de contaminante.

Nunes, Cunha y Ribeiro (2004) buscan optimizar redes de monitoreo del agua subterránea, considerando una reducción en la redundancia espacial y/o temporal. Se proponen tres modelos de optimización para seleccionar el mejor subconjunto de estaciones de una red de monitoreo del agua subterránea: (a) uno que maximiza la certidumbre espacial; (b) uno que minimiza la redundancia temporal, y (c) un modelo que maximiza la certidumbre espacial y minimiza la redundancia temporal. Los modelos de optimización propuestos se resuelven con recocido simulado, junto con un algoritmo de parametrización, usando entropía estadística. Los tres modelos se derivan de una ecuación que considera dos términos: uno espacial y otro temporal; los modelos empleados en el artículo resultan de simplificaciones a la ecuación objetivo. La ecuación general de la que se derivan los modelos contiene un término de variancia

un término que considera series de tiempo; las series de tiempo son representadas por funciones matemáticas comunes basadas en juicio empírico y experiencia.

Kumar, Sondhi y Phogat (2005) diseñaron una red de monitoreo de la carga hidráulica basándose en la teoría de las variables regionalizadas. Se le quita la tendencia a los datos al ajustarle un plano. Se ajusta un modelo lineal al semivariograma de los residuos obtenidos. Se estiman valores mediante kriging universal y se determinan los errores en la estimación mediante un procedimiento de validación cruzada (jackknife).

Faisal Zaidi y Dewandel (2007) optimizaron una red de monitoreo de la carga hidráulica para la estimación de un balance de aguas subterráneas en una cuenca de la India. Para la determinación del balance se utilizó el método de la fluctuación del doble espejo de agua (llamado así porque considera época de secas y de lluvias) propuesto por Maréchal (2006). Se llevó a cabo un análisis geoestadístico para los datos recabados de carga hidráulica. El criterio de optimización de la red se basó en la validación cruzada del modelo de semivariograma propuesto. Se le asigna un orden de importancia a cada pozo de acuerdo con el tamaño del error promedio de tres años, resultado de la validación cruzada en cada sitio. Se realizó el cálculo del balance de aguas subterráneas para distintos subconjuntos de pozos (siguiendo el orden de importancia obtenido de la validación cruzada). Se seleccionó el número de pozos suficiente para no tener pérdida de información en la determinación del balance del agua subterránea.

Para el rediseño de una red de monitoreo de los niveles del agua en el acuífero de la Comarca Lagunera, México, Esquivel-Victoria (2008) utilizó un método geoestadístico propuesto por Ahmed (2004) para el diseño óptimo de redes de monitoreo de la temperatura del aire. En este método, el área de estudio se divide en una malla regular, y se obtienen la estimación y desviación estándar del error de la estimación para cada bloque utilizando kriging ordinario para los bloques con el total de datos existentes. La optimización se basa en la comparación de la desviación estándar del error de la estimación sobre los bloques, con un valor máximo

preestablecido por el usuario, conforme se van quitando o añadiendo datos en la estimación

2.2.3 Marco de modelación

Al parecer, Loaiciga (1989) fue el primer autor que propuso un método para el diseño espacio-temporal de redes de monitoreo del agua subterránea en el que la redundancia espacial y temporal de una red de monitoreo se analizaron en conjunto. El método combina kriging con una ecuación de transporte estocástica para predecir la incertidumbre del error de las concentraciones de un contaminante estimadas. Él usó el método de kriging generalizado para incluir el dominio en espacio y tiempo, y de esa manera evaluar cómo una muestra tomada de un pozo dado en un tiempo dado reduce la incertidumbre de todas las posiciones y tiempos en los que se obtendrían estimaciones. Para poder resolver el sistema de kriging es necesario contar con la matriz de covariancia espacio-temporal del error de la concentración en las posibles posiciones y tiempos de muestreo. Loaiciga deriva los elementos de la matriz de covariancia de la ecuación de advección-dispersión que gobierna el transporte de masa, discretizada numéricamente. Usó un término aditivo de error aleatorio en la ecuación de transporte que considera la incertidumbre del modelo; este término cambia de un paso de tiempo a otro en el modelo, y en cada nuevo paso es independiente de todos los errores previos. Para la optimización de la red, Loaiciga busca determinar dónde y cuándo muestrear, para minimizar la variancia del error de la concentración estimada (obtenida del sistema de kriging espacio-temporal) en las posiciones de interés, sujeto a constricciones de costo e insesgo. La determinación de un plan de muestreo óptimo se plantea como un problema de programación entera mixta.

Yangxiao, Te Stroet y Van Geer (1991) combinaron el procedimiento de estimación de parámetros propuesto en un trabajo previo (Van Geer 1991) con un método para el diseño de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea. El objetivo del diseño de la red de monitoreo es observar los cambios espacio-temporales de los niveles del agua causados por la extracción de agua subterránea. Se

utiliza un modelo de flujo determinista, al que se le suma un error incierto con correlación espacial. Los autores proponen utilizar un Filtro de Kalman para estimar los parámetros de la ecuación de flujo (llamados parámetros deterministas) y los del modelo de la matriz de covarianza del error (llamados parámetros estocásticos). La calibración se realiza para un periodo en el que las condiciones estacionarias se cumplen y en la que todas las matrices necesarias en el algoritmo del Filtro de Kalman no cambian con el tiempo. El método para la estimación de los parámetros se aplica de forma secuencial: primero se propone una estimación del modelo de la matriz de covarianza del error y la primera ronda de calibración de los parámetros deterministas se lleva a cabo; estos parámetros se mantienen constantes y se obtiene la primera ronda de calibración de los parámetros estocásticos. Estos dos pasos se repiten varias veces hasta que un criterio de error preestablecido para ambos conjuntos de parámetros se cumple. Se analizaron dos ejemplos de aplicación para el diseño de redes de monitoreo; en ambos, las frecuencias de muestreo se mantuvieron fijas y la densidad de la red se minimizó con la restricción de un valor umbral para la desviación estándar del error de la estimación. Se analizaron varias alternativas y la mejor fue elegida por inspección. Los autores discuten la importancia relativa de la densidad de la red espacial y la frecuencia de muestreo en relación con el tiempo de respuesta del sistema. Encontraron que si el sistema reacciona rápido, la optimización espacial de la red es importante. Si el sistema reacciona lentamente, tanto la optimización temporal como la espacial son importantes.

Herrera (1998) propuso una metodología para el diseño óptimo espaciotemporal de redes de monitoreo de la calidad del agua subterránea. El método combina un Filtro de Kalman estático con un modelo de transporte estocástico para predecir la varianza del error de las concentraciones estimadas. Una de las entradas para el Filtro de Kalman es la matriz de covarianza espaciotemporal de la concentración del contaminante en todas las posiciones y tiempo de muestreo posibles. Los elementos de esta matriz de covarianza se derivan de la ecuación de un modelo numérico de transporte de masa con advección y dispersión que gobierna el

transporte de masa numéricamente discretizada. En este modelo, las variables aleatorias que se consideran son la conductividad hidráulica y la fuente del contaminante. Para optimizar la red se busca determinar dónde y cuándo muestrear para minimizar una función de la varianza del error de la concentración estimada (obtenida del Filtro de Kalman) en las posiciones y tiempos de interés. La determinación de un plan de muestreo óptimo se obtiene a través de un procedimiento secuencial, que selecciona los puntos de muestreo en espacio-tiempo que minimizan la función en cada paso, y se detiene cuando la función alcanza un valor predeterminado. Este método de optimización se puede considerar como uno de inclusiones sucesivas, que incluye tanto la selección de las posiciones de los pozos como los tiempos de monitoreo. En este trabajo se presentaron algunos ejemplos sintéticos de aplicación.

Posteriormente, Herrera, Guarnaccia, Pinder y Simuta (2001) aplicaron la metodología propuesta por Herrera (1998) en el diseño de una red de monitoreo de la calidad del agua para el acuífero Toms River en New Jersey, Estados Unidos. Y en Herrera y Pinder (2005) incluyeron, además de la varianza, al coeficiente de variación como una medida de la incertidumbre. Como se mencionó antes, la metodología utilizada en el presente trabajo es una modificación de la propuesta por Herrera y Pinder.

Zhang, Pinder y Herrera (2005) diseñaron una red de monitoreo óptima de la calidad del agua subterránea, combinando un Filtro de Kalman y un algoritmo genético para reducir al máximo el coeficiente de variación en posiciones y tiempos establecidos. La metodología propuesta es una modificación de la de Herrera y Pinder. En este caso, para diseñar redes de monitoreo de la calidad del agua: a) se generan realizaciones de la conductividad hidráulica usando la técnica Latin Hypercube Sampling (LHS), suponiendo a la conductividad como un proceso aleatorio; b) se simula el flujo y transporte del agua subterránea para generar realizaciones de la concentración del contaminante, usando las realizaciones de la conductividad obtenidas en el paso anterior; c) se calcula una matriz de covarianza

espacio-temporal de las concentraciones del contaminante; d) se usa un algoritmo genético para seleccionar posiciones y tiempos de muestreo que reduzcan el coeficiente de variación al máximo, en posiciones y tiempos de estimación. Se usa un Filtro de Kalman para actualizar la matriz de covarianza espacio-temporal después de que se ha tomado una muestra; e) se sigue con el proceso de selección hasta que se logran los valores objetivos del coeficiente de variación y se alcanza un escenario óptimo. Se realizó un problema ejemplo en Tomas River, New Jersey, Estados Unidos.

Hasta donde sabemos, no existen trabajos publicados en los que, al igual que en este trabajo, se utilicen modelos de flujo subterráneo que incluyan la incertidumbre de parámetros con correlación espacial para diseñar redes de monitoreo óptimas de los niveles del agua subterránea, ya que Herrera (1998) mostró que el modelo que utilizan Yangxiao (1991) no es adecuado para representar los errores obtenidos como efecto de estos parámetros con correlación espacial.

2.2.4 Metodología de diseño óptimo espacio-temporal de una red de monitoreo piezométrica

El método propuesto originalmente por Herrera (1998) para el diseño óptimo de redes de monitoreo de calidad del agua subterránea se adaptó y probó en este trabajo para la optimización de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea. El método que se propone es adecuado para optimizar redes de monitoreo de largo plazo, en casos en los que el acuífero ha sido investigado ampliamente y se cuenta con un modelo de flujo para el mismo. La metodología se divide en dos procedimientos: 1) uno que se usa para estimar la carga hidráulica (en lo siguiente y la incertidumbre del error de esta estimación cuando se tienen datos de en diferentes pozos y tiempos de monitoreo, y 2) un método que escoge las posiciones de los pozos y los tiempos de muestreo que minimicen la predicción de la incertidumbre de obtenida en el paso 1, con los cuales se definen la red de monitoreo y su programa de muestreo. En los párrafos siguientes se describen con mayor detalle las dos etapas del método.

1. Estimación de la carga hidráulica y de la incertidumbre de su error. Esta parte del método emplea un Filtro de Kalman y un modelo estocástico de flujo para obtener una estimación de Q y la incertidumbre que el error de ésta tendría si datos de h de muestras tomadas en un conjunto de posiciones en diferentes tiempos se usaran para estimar la carga hidráulica. Primero se emplea el modelo estocástico de flujo para calcular una estimación inicial (o a priori) de Q en diferentes posiciones y tiempos, así como su matriz de covarianza espacio-temporal. El modelo estocástico tiene la ventaja de que sintetiza el conocimiento que se tiene del acuífero y a la vez permite reconocer áreas con diferentes niveles de incertidumbre (a través de la varianza). Posteriormente, con el Filtro de Kalman se actualizan tanto la estimación inicial como la matriz de covarianza, al incluir los datos de piezometría disponibles y las posiciones de los pozos correspondientes. Es importante recalcar que para obtener la incertidumbre del error de la estimación no es necesario conocer el valor de los datos, sino únicamente las posiciones de las que se obtendrían los mismos; en este sentido, es posible Q esta incertidumbre sin haber tomado las muestras.

2. Selección óptima de las posiciones de los pozos y los tiempos de muestreo. Una función de la varianza del error de la estimación, calculada con el procedimiento 1, se utiliza como criterio para escoger los pozos de muestreo y los tiempos de muestreo en cada pozo. La función que se utiliza depende de los objetivos del diseño. Para minimizar la función se pueden utilizar diferentes métodos de optimización; hasta ahora se ha usado un método secuencial que escoge los puntos espacio-temporales que la minimizan en cada paso y se detiene cuando el usuario lo decide

2.2.5 Modelo estocástico

La ecuación de flujo se emplea para describir la evolución de

$$\nabla \cdot (K \cdot \nabla h) - S_s \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (1) \quad (\text{Ec 1})$$

En donde Q es la carga hidráulica [L]; K es la conductividad hidráulica [L/T]; S representa fuentes o sumideros [L/T], y α es el coeficiente de almacenamiento específico [1/L]. Esta ecuación se discretiza usando un esquema numérico y el sistema se resuelve para el vector de las incógnitas de la carga hidráulica en un subconjunto de puntos asociados con la malla numérica. A esta malla la llamaremos malla del modelo estocástico. Cualquiera de los parámetros, así como las condiciones iniciales o las de frontera, pueden representarse como variables aleatorias. En general se reconoce que uno de los parámetros con mayor incertidumbre en esta ecuación es la conductividad hidráulica. Por tal razón, en el ejemplo presentado en este trabajo, la conductividad hidráulica se representa como un campo aleatorio espacialmente correlacionado. Para caracterizar estadísticamente a K se calcula su media y se realiza un análisis geoestadístico, a fin de obtener un modelo de semivariograma que representa su estructura espacial.

2.2.6 Filtro de Kalman

El Filtro de Kalman es un conjunto de ecuaciones matemáticas que obtienen recursivamente estimaciones lineales no sesgadas y con varianza mínima para el estado de un sistema utilizando datos con ruido (Jazwinski, 1970). Asimismo, se puede emplear para actualizar la estimación en el momento en que se cuente con datos nuevos de la variable, sin necesidad de utilizar datos anteriores. El término recursivo significa que el filtro recalcula la solución cada vez que una nueva observación o medida es incorporada en el sistema.

En su forma general, el filtro se basa en dos ecuaciones: una ecuación dinámica y una ecuación de medición. La ecuación dinámica contiene un error aleatorio que no tiene correlación en el tiempo. Sin embargo, Herrera (1998) mostró que cuando se usa un campo aleatorio con correlación espacial para representar a la velocidad y se deriva con base en éste el modelo de transporte como una ecuación con coeficientes deterministas más un error aleatorio, el error puede tener una fuerte correlación en el tiempo. Por esta razón, el método que propuso Herrera (1998) emplea lo que llamamos el Filtro de Kalman estático, que únicamente emplea la ecuación de

medición, incorporando el tiempo a través de la utilización de vectores espacio-temporales.

La ecuación lineal de mediciones del Filtro de Kalman discreto, que relaciona al vector de la variable en las posiciones y tiempos en que se quiere estimar con las muestras es:

$$z_j = H_j h + v_j \quad (2) \quad (\text{Ec 2})$$

En donde $\{j = 1, 2, \dots\}$ es una secuencia de mediciones de la carga hidráulica. La matriz de H_j , es una matriz de $1 \times n$, que no es cero únicamente en la posición correspondiente a la entrada de h , en donde se toma el muestreo t_j y n es la dimensión del vector h . H_j es la matriz del muestreo $H_j = [0 \dots 0 \dots 1 \dots 0]$ es el vector espacio-tiempo con los valores estimados de la carga hidráulica en las posiciones y tiempos de interés (h_j es la carga hidráulica en la posición j en el tiempo t_j); $\{v_j = 1, 2, \dots\}$ es un escalar que representa el error de medición. Esta es una secuencia blanca Gaussiana, con media cero y varianza σ^2 . La secuencia del error de medición v_j y el vector h son independientes.

La matriz de covarianza del error de la estimación es:

$$P^n = E \left\{ (h - \hat{h}^n)(h - \hat{h}^n)^T \right\} \quad (3) \quad (\text{Ec 3})$$

En donde $\hat{h}^n = E \{ (h / z_1, z_2, \dots, z_n)^T \}$ es el valor esperado de h , dadas las mediciones z_1, z_2, \dots, z_n y denota transpuesta. En esta notación, el superíndice identifica el número de mediciones que se usan para obtener la estimación.

En la aplicación del Filtro de Kalman, se estima h en una submalla de la malla del modelo estocástico, a la que llamamos malla del Filtro de Kalman. Esta malla tiene dos tipos de nodos, definidos como las posiciones de los posibles pozos de muestreo (z) y de los puntos de estimación (E), que se definirán cuando se explique el método de optimización de la red de monitoreo. Para la implementación del filtro se requiere proponer una estimación a priori de h en espacio y tiempo (\hat{h}^0), así como de la matriz de covarianza del error de estimación (P^0). Dadas estas estimaciones a

priori, la estimación lineal de mínima varianza para se puede obtener secuencialmente a través de las siguientes fórmulas:

$$\hat{h}^{n+1} = \hat{h}^n + K_{n+1}(z_{n+1} - H_{n+1}\hat{h}^n) \quad (4) \quad (\text{Ec 4})$$

$$P^{n+1} = P^n - K_{n+1}H_{n+1}P^n \quad (5) \quad (\text{Ec 5})$$

$$K_{n+1} = P^n H_{n+1}^T (H_{n+1} P^n H_{n+1}^T + r_{n+1})^{-1} \quad (6) \quad (\text{Ec 6})$$

2.2.7 Estimación de los momentos a priori

El procedimiento para calcular la estimación a priori de en espacio y tiempo \hat{h}^0 así como la matriz de covarianza del error de esta estimación (Σ^0) es la simulación estocástica o Monte Carlo (Zhang, 2002), y se explica a continuación.

1. Dadas la media y la de covarianza (o semivariograma) de la conductividad hidráulica se obtienen realizaciones de esta variable que sean acordes con las mismas.

2. Se resuelve numéricamente la ecuación de flujo empleando cada realización, y se obtienen realizaciones de para un periodo de tiempo.

3. Utilizando promedios de las realizaciones de para cada nodo de la malla del Filtro de Kalman, obtenemos la media en espacio-tiempo, la que se propone como la estimación a priori; esta estimación es un vector al que denotaremos \hat{h}^0 y de la misma manera se calcula su matriz de covarianza. La estimación a priori de en espacio y tiempo \hat{h}^0 así como la matriz de covarianza del error de la estimación (Σ^0), se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{h}_{ip} = \frac{1}{N_r} \sum_{k=1}^{N_r} h_{ip}^k \quad (7) \quad (\text{Ec 7})$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(e_{ip}, e_{jq}) &= \text{Cov}_{ip:jq} \\ &= \frac{1}{N_r - 1} \sum_{k=1}^{N_r} (h_{ip}^k - \bar{h}_{ip})(h_{jq}^k - \bar{h}_{jq}) \end{aligned} \quad (8) \quad (\text{Ec 8})$$

en donde h_{ip}^k denota la k -ésima realización de h_{ip} en la posición i en el tiempo t^k ; \hat{h}^0 es el vector que contiene la media \bar{h}_{ip} para todas las realizaciones h_{ip}^k ; $\text{Cov}(e_{ip}, e_{jq})$ es el elemento (i, j) de la matriz de covarianza del error de la estimación \hat{h}^0 , donde el error $e_{ip} = h_{ip}^k - \bar{h}_{ip}$; como \hat{h}^0 es un vector en espacio-tiempo, éste incluye una estimación de h_{ip} para todas las posiciones y tiempos de interés; por tanto, \hat{h}^0 es también una matriz de covarianza en espacio-tiempo.

Para el ejemplo que se presentará, el número total de entradas que integran la matriz de covarianza del error de la estimación de la carga hidráulica es $N = (N_t)^2$, donde N_t es el número total de tiempos de estimación y posibles tiempos de muestreo, y N_n es el número de nodos de la malla del Filtro de Kalman; $N = N_n + NS$, donde N_n es el número de puntos de estimación y NS es el número de pozos de muestreo, ya que no existe intersección entre los puntos de estimación y los de muestreo.

2.2.8 Función para minimizar la varianza del error de la estimación

Como se explicó antes, para la selección óptima de las posiciones de los pozos y los tiempos de muestreo se utiliza un método de optimización, en el que se minimiza una función de la varianza del error de estimación. En este caso, esta función es la suma de la varianza del error sobre todas las posiciones y tiempos de estimación. A esta función la llamamos la varianza total de la estimación de la carga

h $\sigma_T^2(n)$ (). Ésta, cuando se calcula con el plan de monitoreo que incluye m muestras, es:

$$\sigma_T^2(n) = \sum_{i,p \in E} \sigma_{ip}^2(n) \quad (9) \quad (\text{Ec 9})$$

En $\sigma_{ip}^2(n)$ () es la varianza del error de la estimación en el i -ésimo punto de estimación y en el tiempo de estimación n y E es el conjunto de los índices de los puntos de estimación. $\sigma_{ip}^2(n)$ () se obtienen del Filtro de Kalman después de tomar m muestras, y son los elementos de la diagonal de la matriz de covarianza $\Sigma(n)$ que corresponden a los puntos y tiempos de estimación.

El algoritmo iterativo de optimización para la selección de las posiciones y tiempos de muestreo se explica diagramáticamente en la figura 1. La selección de las posiciones y tiempos de muestreo se hace en forma secuencial. El método utiliza un algoritmo iterativo de optimización que escoge una a la vez las posiciones de los pozos y las fechas de muestreo que minimizan la varianza total de la estimación, calculada como la suma de la varianza sobre todos los nodos y tiempos en que se va a estimar la θ . En otras palabras, dadas las posiciones $\{i_1, \dots, i_m\}$ de los posibles pozos de muestreo, y la matriz de covarianza a priori Σ^0 , en el primer paso del procedimiento, para $n = 1, \dots, N$, con el Filtro de Kalman se calcula la varianza del error de la estimación que se obtendría al agregar el dato de cada posición de muestreo y se escoge la posición i_n que da la varianza total menor. A la matriz de covarianza resultante de aplicar el filtro con Σ^0 y i_n la denotamos Σ^n . Una vez que ya se seleccionaron las posiciones de los pozos, i_1, \dots, i_m , para formar parte de la red óptima, se toman las posiciones que no han sido escogidas, y con la matriz de covarianza actualizada Σ^n , que incluye los cambios debidos al muestreo de las i_1, \dots, i_m posiciones anteriores, se aplica el Filtro de Kalman y nuevamente se escoge la posición que da la varianza total menor. Las fórmulas empleadas para minimizar la varianza total se presentan en Herrera (1998), y Herrera y Pinder (2005).

Debido a que el proceso es secuencial, se realiza un análisis de la contribución en la reducción de la varianza de cada pozo para determinar cuándo parar el proceso y así quede definido el número total de pozos de la red de monitoreo óptima.

2.3 Definición de términos

Acuífero: el término es utilizado para hacer referencia a aquellas formaciones geológicas en las cuales se encuentra agua y que son permeables permitiendo así el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.

Acuíferos Libres: son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros.

Acuíferos Confinados: son aquellos cubiertos por una capa impermeable confinante. El nivel de agua en los acuíferos cautivos está por encima del techo de la formación acuífera. El agua que ceden procede de la expansión del agua y de la descompresión de la estructura permeable vertical, cuando se produce la depresión en el acuífero. También se les denomina acuíferos cautivos.

Acuíferos Semiconfinados: se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua.

Agua Subterránea: representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra.

Ciclo Hidrológico: es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

Hidrogeología: estudia el almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en las zonas saturada y no saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre.

Permeabilidad: la permeabilidad de un material es la capacidad que este tiene de transmitir un fluido, en este caso agua. Un material será más permeable cuando sea poroso y estos poros sean de gran tamaño y estén conectados.

Poros: se refiere a los espacios abiertos en los diferentes tipos de rocas:

En las **Rocas Duras** Los espacios corresponden a fracturas, diaclasas, planos de estratificación y cavidades producto de la disolución. Estos espacios no tienen una distribución uniforme y se consideran como fenómenos localizados. Este tipo de porosidad se denomina “porosidad secundaria”

En las **Rocas Blandas:** los poros están presentes entre los granos individuales y los minerales. La distribución de éstos poros es mucho más homogénea que en las rocas consolidadas. Este tipo de porosidad se denomina Porosidad Primaria o Porosidad Intergranular.

Porosidad: la porosidad de un material representa un porcentaje que relaciona el Foro Peruano para el Agua—GWP Perú 12 Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la GIRH volumen que ocupan los poros en un volumen unitario de roca; esto es si la porosidad es del 50 % significa que la mitad de la roca está constituida por poros y la otra mitad por partículas sólidas.

Pozo: es un agujero, excavación o túnel vertical que perfora la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, sea una reserva de agua subterránea del nivel freático o fluidos como el petróleo. Generalmente de forma cilíndrica, se suele tomar la precaución de asegurar sus paredes con ladrillo, piedra, cemento o madera, para evitar su deterioro y derrumbe

Unidad Hidrogeológica: Es un conjunto de formaciones geológicas cuyo funcionamiento hidrogeológico conviene considerar conjuntamente. Dentro de la unidad Foro Peruano para el Agua—GWP Perú Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la GIRH 13 podrá haber uno o varios acuíferos y quizás acuitados o acuíclados entre ellos. Se consideran una unidad porque están conectados de modo que su funcionamiento (entradas, salidas, balance) hay que estudiarlo de un modo conjunto.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Por la forma de obtención y recolección de datos, esta investigación se realiza como Investigación no experimental descriptiva con estudio de campo, que según Fernández, Hernández y Lucio (2010) en estas investigaciones se miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar, los estudios descriptivos pueden ofrecer la posibilidad de predicciones aunque sean rudimentarias.

3.2 Diseño de la investigación

De Acuerdo con Fernández, Hernández y Lucio (2010) la investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que se hacen en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. Entonces se puede afirmar que el diseño de la investigación es no experimental.

3.3 Nivel de la Investigación

El presente estudio se encuentra sustentado en un nivel de investigación descriptivo, por lo que mide la información recolectada para luego describir, analizar e interpretar los parámetros hidráulicos de los acuíferos del sector el Paíto, municipio Valencia, Edo. Carabobo, a fin de diseñar una red de monitoreo de aguas subterráneas. Los resultados de dicha investigación se ubican en un nivel intermedio, en cuanto a la profundidad de conocimiento. Según la conceptualización de Arias, F. (2006) el estudio descriptivo “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (P.24).

3.4 Población

La población es el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación. Se puede definir también como el conjunto de todas las unidades de muestreo. Por consiguiente la población está sujeta al acuífero en estudio ubicado en el municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, sector El Paíto.

3.5 Muestra

Fernández, Hernández y Lucio (2010), establecen que en esencia, la muestra es un subgrupo de la población. En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra, en este caso se seleccionaron tres (3) pozos de la población, ubicados en el sector el Paíto, parroquia Miguel Peña, Municipio Valencia, Edo. Carabobo.

Tabla 1. Identificación geográfica de los pozos en estudio. Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas.

Datos del Propietario		Ubicación				Uso del Pozo	
No. Pozo	Nombre	Sector	Municipio	Parroquia	Coordenadas UTM		
					Norte		Este
3	Agropecuaria Doña Flora, C. A.	El Paíto	Valencia	Miguel Peña	1.113.097,00	609.747,00	Agrícola
					1.113.068,00	609.563,00	Agrícola
					1.113.925,00	607.989,00	Agrícola

3.6 Técnicas e Instrumento de Recolección de información.

Las técnicas de recolección de información se refieren a los procedimientos que originan información válida y confiable para ser utilizada como datos científicos; se utilizó la técnica de observación estructurada ya que se construyó un plan referente a las características a observar y a los datos que deben ser recolectados, aunado a la revisión documental, puesto que la información requerida para efectos de la investigación en

algunos casos ya se encontraba registrada por propietarios de pozos y entes públicos, sin embargo ésta, no se encuentra sistematizada en una base de datos.

Rodríguez, Ochoa y Pineda (2012), acotan que en cada investigación existe un tipo particular de análisis para recabar la información requerida, pudiendo combinarse varias estrategias en cada paso de la misma.

Afirma Sabino (1992), que la observación es una técnica que consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar.

Para Hernández y Col (2006), un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información.

Para fines de la investigación se empleó un instrumento elaborado previamente por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente del Estado Carabobo, el cual incluye la ficha de registro que está constituida por dos partes. La primera está conformada por cinco ítems a saber: identificación y ubicación del pozo, datos de su construcción, estado actual del pozo, uso y nivel del agua.

3.7 Fases Metodológicas

FASE I: Medición de los niveles y calidad de las aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo

Para lograr esta fase de la investigación, se realizó la ubicación geográfica con las respectivas coordenadas de los 3 pozos a evaluar.

Datos del Propietario		Ubicación					Uso del Pozo
No. Pozo	Nombre	Sector	Municipio	Parroquia	Coordenadas UTM		
					Norte	Este	
3	Agropecuaria Doña Flora, C. A.	El Paíto	Valencia	Miguel Peña	1.113.097,00	609.747,00	Agrícola
					1.113.068,00	609.563,00	Agrícola
					1.113.925,00	607.989,00	Agrícola

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, 2018

Con el permiso del Hato Doña Flora, y Lácteos Doña Flora C.A respectivamente para realizar la visita a los pozos y chequear el estado de estos. Identificar el tipo de extracción

al pozo profundo que es utilizado por la empresa ya que este es el causante del descenso de los niveles piezométricos, ya que al principio de la extracción el descenso es rápido y luego este descenso se va haciendo lento, el sistema de extracción utilizado por la empresa Lácteos Doña Flora C.A es el de extracción por bombeo directo mediante una bomba de 25Hp la cual extrae el agua del pozo profundo lo deposita en una piscina de almacenamiento y esta misma es bombeada a una laguna alta artificial que posee una capacidad de mas de 200.000L destinada para consumo animal y un estanque cerrado de 80.000L para uso industrial y poblacional.

El equipo para realizar la medición de los niveles del agua subterránea fue un captador-almacenador de datos MDS “Floater II” fabricado por la compañía SEBA, el cual realiza una medición continua del nivel del agua arrojando las variaciones en sus niveles estacionales.

Cabe destacar que toda explotación de aguas subterráneas tiene consecuencias o efectos negativos tales como el descenso de niveles en el entorno de la captación, mas si a su vez la extracción es intensa y prolongada, puede realizar cambios en el esquema de flujo subterráneo, disminución y en el peor de los casos desaparición de la descarga natural de los acuíferos afectados. Esta disminución de la descarga podría afectar los caudales de los ríos ya que en el periodo de sequia de los ríos son los acuíferos son los que aportan agua al río manteniendo en este el caudal, como se puede observar en las siguientes imágenes.

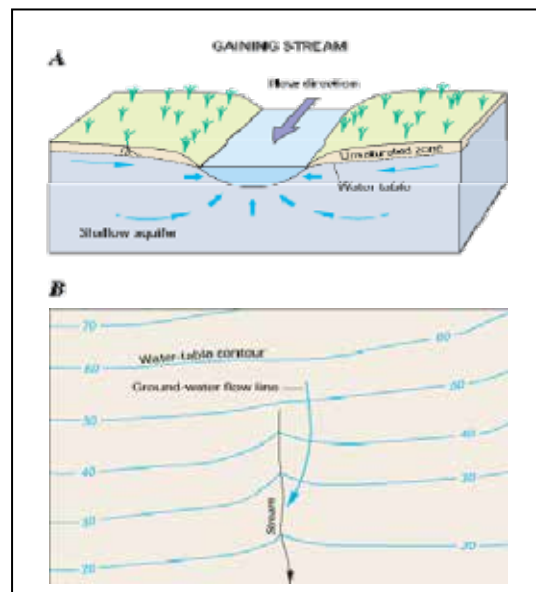


Figura 1. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río ganador o efluente (Winter et al., 1998).

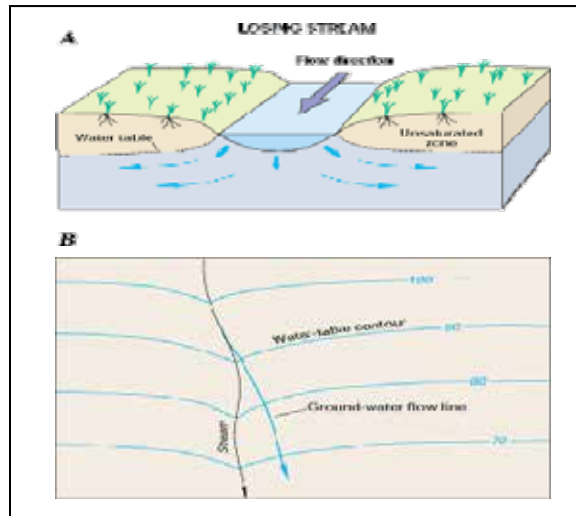


Figura 2. Comportamiento del río respecto al acuífero: Río perdedor o efluente (Winter et al., 1998).

La segunda etapa de esta fase constó en la medición de la calidad de esta agua subterráneas utilizadas por el Hato Doña Flora y la Empresa Lácteos Doña Flora C.A, para ello se realizaron muestras de Análisis Físico- Químico y Microbiológico del agua, la captación de esta muestra fue manual del agua de filtro de la planta de producción de Lácteos Doña flora, siendo evaluadas en ellas los parámetros:

Parámetros Físico-Químicos
pH- Conductividad Específica- Color Real- Turbidez- Sólidos totales- Sólidos suspendidos- Sólidos disueltos- Cloruros- Sulfatos- Alcalinidad total- Alcalinidad fenoltaleína- Calcio- Magnesio- Dureza total- Dureza Cálctica- Dureza no Cálctica- Nitrito- Nitratos- Dióxido de carbono- carbonatos- bicarbonatos- Hidróxidos- Sílice

Tabla Parámetros Físico-Químicos del agua

Parámetros Inorgánicos
Aluminio Total- Cobre total- Hierro total- Sodio- Potasio- Cinc

Tabla Parámetros Inorgánicos del agua

Parámetros microbiológicos
Coliformes totales- coliformes fecales- pseudomonas aeruginosas- Mesófilos Aerobio

Tabla Parámetros Microbiológicos del agua

Estos parámetros serán evaluados mediante los Códigos referidos a “Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater APHA. USA 2005” y a su vez comarados con los máximos admisibles de cada parámetro establecidos en la “Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 36.395 “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable” ” y Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela

Nro. 5.021 con respecto a las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos efluentes líquidos”

FASE II: Registro de los caudales de extracción del agua subterránea destinado para riego, industria y población en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo.

Para realizar el registro de caudales en esta fase, se calculo la dotación de gastos para los destinatarios utilizando la “Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 4.044” de manera de comprobar que el caudal extraído de los pozos de la hacienda satisfagan con la demanda de agua de esta misma.

Se calcularon las dotaciones para riego, industria y población de la siguiente manera:

Para las dotaciones de riego y mantenimiento se calculó mediante la dotación establecida por la gaceta la cual asigna $2 \text{ L} \cdot \text{m}^2$ para áreas verdes

Para las dotaciones de industria principalmente se identificaron los tipos de áreas destinadas dentro de la hacienda, en las cuales nos encontramos con Oficinas las cuales poseen una dotación de $6 \text{ L} \cdot \text{m}^2$, comercios con una dotación de $20 \text{ L} \cdot \text{m}^2$, deposito de materiales secos con una dotación de $0,5 \text{ L} \cdot \text{m}^2$. A su vez en la industria nos encontramos con las dotaciones derivadas de la producción de lácteos y la producción del ganado lechero vacuno, las cuales fueron de $1.500\text{L}/\text{Agua}$ por cada $1.000\text{L}/\text{Leche}$ producida diariamente para los lácteos y $120\text{L}/\text{Vaca}$ para la producción de ganado lechero vacuno.

Para la dotación del caudal poblacional se determinó con el numero de empleados y numero de obreros que residen en la hacienda debido a que su localización es externa a la ciudad, con las cuales según la gaceta indican una dotación por obrero la cual es de $80\text{L}/\text{Día}$ y una dotación por persona residente de $250\text{L}/\text{Día}$.

Al obtener las dotaciones necesarias de riego, industria y población se procede a calcular el caudal total de demanda, el cual es multiplicado o mayorado por un 15% de reserva de agua.

Todos los datos de áreas, cantidades de vacas lecheras, litros de leche diario producidos así como empleados obreros y residentes de la hacienda fueron suministrados por las entidades del Hato Doña Flora.

Seguidamente con los registros de datos arrojados por el “Floater-II” el cual fue utilizado en la Fase I, se estimará el caudal de extracción diario de cada pozo de manera de concluir si estos 3 pozos satisfacen el abastecimiento de agua del Hato Doña Flora y Lácteos Doña Flora C.A.

FASE III: Propuesta de red de monitoreo de aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo.

Para la propuesta de red de monitoreo, se definió en base a la toma de muestras en los 3 pozos existentes, las actividades necesarias para realizar la misma, los parámetros utilizados para la propuesta de red de monitoreo fueron: la investigación de la calidad del agua y el control de esta misma en base a la explotación de los pozos.

La red de monitoreo que se propone crear, constituye uno de los componentes operacionales de especial relevancia, ya que este mismo prevé las muestras en 3 puntos fijos localizados en las venas subterráneas del Hato Doña Flora. Estos 3 puntos fijos de monitoreo establecen el parámetro principal de la red de monitoreo, ya que serán los puntos a monitorear, la frecuencia de las campañas de monitoreo serán una de las variables a ajustar con los resultados de la investigación y el monitoreo. Los parámetros de esta investigación serán:

Para parámetros de investigación, se debe asegurar una frecuencia de toma de datos no inferior a los 2 años.

Para parámetros de control, la toma de datos recomendada es de 3 campañas por año.

En relación a la calidad del agua mediante el monitoreo se plantean parámetros de acuerdo a los objetivos del proyecto. Estos objetivos involucran la salud humana, la vida de los ecosistemas y a su vez la longevidad del acuífero. En este sentido, para lograr viabilizar el monitoreo en estas condiciones se tendrá en cuenta que este monitoreo debe:

Realizarse a través de campañas periódicas y no en forma permanente, para evitar gastos fijos innecesarios.

Deberá realizarse con parámetros simplificados (por ejemplo: pH, color, turbidez, sólidos totales disueltos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total, colimetría, luminosidad con disco de Secchi), y análisis completos físico-químicos y biológicos, incluyendo plaguicidas y metales pesados.

Deberá complementarse con educación sanitaria y ambiental, orientada a personas de todos los niveles de la sociedad local y adyacentes, ya que de estos depende la conservación de la calidad de recursos hídricos.

Criterios generales de diseño de la red de monitoreo

Los parámetros utilizados en el monitoreo de la calidad del agua deben ser definidos en función al objetivo el cual en este caso es implantar acciones preventivas o correctivas para controlar impactos ambientales adversos.

Los parámetros de investigación se realizarán en puntos fijos los cuales serán los 3 pozos a evaluar.

Las técnicas de preservación, colecta y análisis de la muestra serán aquellas previstas por el "Standard Methods for Examination Water and Wastewater de la American Water Work Association" y por normas de la Organización Mundial de la Salud.

El control de la muestra será analizado bajo parámetros reducidos los cuales fueron señalados en las tablas previamente planteadas en la FASE I, de este capítulo, siendo estos los parámetros Físico-Químicos, microbiológicos e inorgánicos a analizar en este proceso.

La selección del momento o periodo adecuado para la toma de muestra de datos para el monitoreo el cual es recomendado en 3 campañas al año, haciendo énfasis en los periodos donde los caudales se comportan diferente los cuales son los meses de Marzo /Abril los cuales son de clima seco, y Octubre /Noviembre los cuales son los meses de máxima pluviosidad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Fase I: Medición de los niveles y calidad de las aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo.

Se estableció la ubicación geográfica de los pozos en estudio a través del software de Google Earth, donde los pozos del Hato Doña Flora, poseen las siguientes Coordenadas; Pozo#1 1.113.097,00N; 609.747,00E, Pozo#2 1.113.068,00N; 609.563,00E, Pozo#3 1.113.925,00N; 607.989,00E. Además se determinó la cantidad de pozo existentes en el Municipio Valencia, Estado Carabobo; siendo de 76 pozos de agua subterránea, de los cuales el 83% de estos es de uso habitacional y un 13% se encuentran en estado inactivo ya que no están en condiciones adecuadas a un buen funcionamiento o en algunos casos inoperativos por problemas mecánicos o de mantenimiento. Complementariamente se le realizó un análisis físico-químico, inorgánico y de microbiología al agua proveniente del pozo #1 Agropecuaria Doña Flora, posee Coordenadas; 1.113.097,00N; 609.747,00E, el cual siendo evaluado por los parámetros establecidos por los Códigos de el “Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater APHA. USA. 2005”, y comparando los resultados con los máximos permisibles en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395 “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable” y Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 5.021 con respecto a las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos efluentes líquidos” los cuales arrojaron resultados satisfactorios los cuales cumplen con los rangos permisibles para el consumo humano. Estos análisis fueron llevados a cabo por las empresas “Cenproaca C.A” y “Semitech C.A”

Análisis	Códigos	Máx. Aceptable	Resultados	Unidades
pH	4500 H-B	8,5	5,2	-----
Conductividad Específica	2510-B-1	1600	84	µS/cm.
Color Real	5120-D	15	<0,2	Pt/Co

Turbidez	2130-B	5	<1	NTU
Sólidos totales	2540-B	1000	90	mg/L
Sólidos suspendidos	2540-D-1	220	6	mg/L
Sólidos disueltos	2540-C	500	84	mg/L
Cloruros	4500-Ci-B	250	24	mg/L
Sulfatos	4500-SO4.E	500	12	mg/L
Alcalinidad total	2320-B	20	8	mg/L
Alcalinidad fenolftaleína	2320-B-1	0,001	0	mg/L
Calcio	3500-Ca-B	100	6	mg/L
Magnesio	3500-Mg-E		1	mg/L
Dureza Total	2340-C	50	20	mg/L
Dureza Cálcica	3500-Ca-D2	180	14	mg/L
Dureza no cálcica	3500-Ca-D3	-----	6	mg/L
Nitrito	4500-NO2-D	0,03	<0,03	mg/L
Nitratos	4500-NO3-D	8	<2,2	mg/L
Dióxido de carbono	4500-CO-B1	1000	101	mg/L
Carbonatos	4500-CO2-B2	0,1	0	mg/L
Bicarbonatos	4500-CO2-B3	50-350	7	mg/L
Hidróxidos	4500-CO2-B4	-----	0	mg/L
Sílice	4500-SiO2-C	40	1	mg/L

Tabla de resultados y máximos aceptables de parámetros Fisicoquímicos.

Análisis	Códigos	Max. Aceptables	Resultados	Unidades
Aluminio Total	3111-Al-D	0,2	<0,01	mg/L
Cobre Total	3111-Cu-B	1	0,02	mg/L
Hierro Total	3111-Fe-B	0,2	0,1	mg/L
Sodio	3111-Na-B	200	1	mg/L
Potasio	3111-K-B	10	0	mg/L
Cinc	3111-Zn-B	3	0,02	mg/L

Tabla de resultados y máximos aceptables de parámetros Inorgánicos.

Análisis	Códigos	Max. Aceptables	Resultados	Unidades
Coliformes Totales	9221-B	<2	<1,1	NMP/100ml
Coliformes Fecales	9221-E	<2	<1,1	NMP/100ml
Pseudomonas Aeruginosas	9213-F	<2	<1,1	NMP/100ml
Mesófilos Aerobio	9215-B	1.0 x 10 ²	4	UFC/ml

Tabla de resultados y máximos aceptables de parámetros microbiológicos.

En función al segundo objetivo de esta fase el cual es la medición de los niveles de extracción de agua subterráneas, los cuales fueron obtenidos mediante del uso del captador-almacenador de datos MDS “Floater II”, se obtuvieron los valores de nivel estático, nivel dinámico y caudal de los pozos del Hato Doña Flora, del municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Estado Carabobo; en los cuales se registró la siguiente información:

Cuadro N° 4 Cuadro de mediciones

MEDICIONES																	
TOBO	RADIO (M)	0,56															
	ALTURA (M)	58															
Pozo # 1																	
FECHA	N. DINAMICO (M)	N. ESTATICO (M)	AFORO (S)										PROM (S)	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (L/S)		
05-Oct	-	2,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-Oct	-	2,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-Oct	13,3	-	2,70	2,52	2,79	2,62	2,74	-	-	-	-	-	-	2,67	4,83	4,90	
24-Oct	-	2,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
26-Oct	15,02	2,73	3,00	2,89	2,71	2,91	3,14	2,73	3,20	2,92	2,91	2,70	2,91	4,97	-		-
30-Oct	14,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
01-Nov	14,39	2,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
24-Nov	-	2,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROM	14,31	2,82															

Pozo #2															
FECHA	N. DINAMICO (M)	N. ESTATICO (M)	AFORO (S)										PROM (S)	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (L/S)
01-Oct	47	44,51	3,03	2,5	3,03	2,92	3,01	2,93	3,24	2,92	3,97	2,61	3,016	5,79	5,79

10-Oct RECOLECCION DE MUESTAS DE AGUA														
FECHA	TIEMPO (S)	N. DINAMICO (M)	AFORO (S)										PROM (S)	VARIACION DECAUDAL (L/S)
24-oct	0	50,15	4,16	3,9	3,76	3,93	4,21	-	-	-	-	-	3,986	5,46
	15	50,1	3,73	3,7	3,69	3,63	3,79	-	-	-	-	-	3,702	5,65
	30	50,00	3,77	3,7	3,96	3	3,78	-	-	-	-	-	3,636	5,70
	45	49,47	3,28	3,8	3,85	3,43	4,05	-	-	-	-	-	3,678	5,67
	60	49,24	3,7	4	4,07	3,38	3,87	-	-	-	-	-	3,794	5,59
	75	49,16	5,5	4,7	4,87	4,94	5,15	-	-	-	-	-	5,04	5,95
	90	49,09	21,52	22	20,7	20,8	20	-	-	-	-	-	21,03	5,47
	105	48,99	324	366	345	338	329	-	-	-	-	-	340,4	5,03

Pozo #3 (pozo de observación)															
FECHA	N. DINAMICO (M)	N. ESTATICO (M)	AFORO (S)										PROM (S)	CAUDAL (L/S)	CAUDAL (L/S)
24-oct	48,1	29,63	4,77	6,1	5,98	5,25	6,01	6,33	5,84	-	-	-	5,76	7,71	7,71

Obteniendo como resultados los caudales de extracción de los 3 pozos, los cuales fueron:

Pozo Nro.1: caudal de extracción de 4.90 L/s.

Pozo Nro.2: caudal de extracción de 5.79 L/s.

Pozo Nro.3: caudal de extracción de 7,71 L/s.

A su vez se estimó con el uso de Floater-II las longitudes de extracción de los 3 pozos:

Pozo	Floater N°	Cinta plana	Cadena de bolas	Archivo de data
#1	14476	64,49	10	2018-P1446
#2	14451	59,99	10	2018-P1447
#3	14370	63,99	15	2018-P1448

Tabla 6 Códigos, longitudes de diseño de los Floater II y archivos de extracción para el período entre los meses de octubre-septiembre en los pozos de la Agropecuaria Doña Flora.

Debido a que el tiempo de registro de los datos es de pocos meses, no se pueden realizar análisis completos hasta el momento para poder concluir sobre el verdadero comportamiento de los niveles de los acuíferos, dado que para esto se requiere como

mínimo registros de todo un ciclo hidrológico, de manera de poder observar las variaciones de sus niveles estáticos.

Análisis físico químico

CENPROACA, C.A.
Centro Profesional de Análisis de la Calidad Ambiental

Página 2 de 7

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

SOLICITADO POR: "LACTEOS DOÑA FLORA, C.A."

UBICACIÓN: VALENCIA, EDO. CARABOBO.
PROCEDENCIA: AGUA DE FILTRO PLANTA BAJA
TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL
FECHA DE CAPTACIÓN: 20-06-2018. **TIPO DE CAPTACIÓN:** MANUAL
METODOLOGÍA: Códigos referidos a Standard Methods For The Examination Of Water & Wastewater APHA, USA, 2005.

APARIENCIA: líquido claro incoloro.

CÓDIGOS	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	VALOR	UNIDADES
4500-H-B	pH laboratorio	5,2	---
2510-B-1	Conductividad Específica	84	µmhos/cm.
2550-B	Temperatura	20	°C.
5120-D	Color real	<0,2	Und. De Pt-Co
2130-B	Turbidez	<1	NTU
2540-B	Sólidos totales	90	mg/l.
2540-D-1	Sólidos suspendidos	6	mg/l.
2540-C	Sólidos disueltos	84	mg/l.
4500-Cl-B	Cloruros	24	mg/l.
4500-SO ₄ -E	Sulfatos	12	mg/l.
2320-B	Alcalinidad total	8	mg/l.
2320-B-1	Alcalinidad fenolfaleína	0	mg/l.
3500-Ca-B	Calcio	6	mg/l.
3500-Mg-E	Magnesio	1	mg/l.
2340-C	Dureza total	20	mg/l.
3500-Ca-D2	Dureza cálcica	14	mg/l.
3500-Ca-D3	Dureza no cálcica	6	mg/l.
4500-NO ₂ -D	Nitrito	<0,03	mg/l.
4500-NO ₃ -D	Nitratos	<2,2	mg/l.

Cont...

CENPROACA, C.A.
RIF.: J-07525217-9

LACTEOS DOÑA FLORA, C.A., Reporte fisicoquímico y microbiológico, AGUA DE FILTRO PLANTA BAJA - 20-06-2018.

Av. Principal del Lomito Casa N°02, Urb. Los Ranchos El Lomito Maracay, Edo. Aragua.
Año 1994 al 2002. Teléfono (0241) 2838031-2930015- RIF. J-07525217-9
REC:25180318993 02-012 / 06-11-2018 E-Mail: cenproacahere@gmail.com

Parámetros físico químicos

Cont. Reporte físico-químico-Microbiológico - AGUA DE FILTRO PLANTA BAJA - 20-06-2018
 Empresa: LACTEOS DOÑA FLORA, C.A.

CÓDIGOS	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	VALOR	UNIDADES
3330-B-1	Índice de RIZNARD	15,090	-----
3330-B-2	Índice de LANGELIER	-4,945	-----
4500-CO ₂ -B1	Dióxido de Carbono	101	mg/l.
4500-CO ₂ -B2	Carbonatos	0	mg/l.
4500-CO ₂ -B3	Bicarbonatos	7	mg/l.
4500-CO ₂ -B4	Hidróxidos	0	mg/l.
4500-SiO ₂ -C	Silice	1	mg/l.

CÓDIGOS	PARÁMETROS INORGÁNICOS	VALOR	UNIDADES
3111-Al-D	Aluminio total	<0,01	mg/l.
3111-Cu-B	Cobre total	0,02	mg/l.
3111-Fe-B	Hierro total	0,1	mg/l.
3111-Na-B	Sodio	1	mg/l.
3111-K-B	Potasio	0	mg/l.
3111-Zn-B	Cinc	0,02	mg/l.

CÓDIGOS	PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	VALOR	UNIDADES
9221-B	Coliformes Totales	<1,1	NMP/100ml
9221-E	Coliformes Fecales	<1,1	NMP/100ml
9213-F	Pseudomonas Aeruginosas	<1,1	NMP/100ml
9215-B	Mesófilos Aerobios	4	UFC/ml.


 Lic. ORLANDO LÁREZ ALLEN
 GERENTE TÉCNICO
CENPROACA, C.A.
 RIF.: J-07525217-9

Fecha de Emisión: Maracay, 18 de Julio de 2018
 VER COMENTARIOS ANEXOS

Reporte de ensayos en la entrada del estanque

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA
SERIE N° 17455

Cliente: LÁCTEOS DONA FLORA, C.A. **N° de ítem:** 69505
Dirección: Avenida 5^a, Edificio La Cándida, Piso 2, Oficina 2-2, Urbanización La Soledad, Maracay, Edo. Aragua.
Producto: Agua potable. **Marca:** No aplica.
Código/Lote: Muestra N° 5 / Sin lote. **Vencimiento:** No aplica.
Cantidad: 1 muestra de 500 mL. **Sitio de captación:** Agua Entrada Al Tanque 300.000 L.
Información de muestreo: El plan de muestreo y la toma de la muestra fue realizada por el cliente. **Temperatura de ensayo:** 23 °C
N° de página: 1/1.

Fecha de recepción: 29-08-2018	Fecha de ensayo: 30-08-2018	Fecha de reporte: 04-09-2018
---------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------

RESULTADOS

NOMBRE DEL ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE ⁽¹⁾
Bacterias aerobias mesófilas Determinación cuantitativa de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri.	Norma Venezolana COVENIN 902-87 (2 ^{da} Revisión) Alimentos. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri.	ufc/ml.	6.0	1.0 x 10 ²
Coliformes totales Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua. Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	En ningún caso deberá detectarse organismos coliformes totales en dos muestras consecutivas de 100 mL, provenientes del mismo sitio.
Pseudomonas aeruginosa Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua. Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	<1.0
Estreptococos fecales Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua. Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	<1.0

Personal involucrado:

Transcriptor	Analista	Coordinadora
<i>[Firma]</i>	<i>[Firma]</i>	S. Sánchez

Observaciones:

⁽¹⁾ ufc: unidades formadoras de colonias.

⁽²⁾ Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395 "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable".

Estos resultados solo corresponden a la muestra evaluada y no pueden ser reproducidos sin la autorización de Semitech, C.A.

Autorizado por:



 M.Sc. Cestina Calderón
 Director Técnico

DT-006-F01 Ed.06

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA
SERIE Nº 17453

Cliente: LÁCTEOS DONA FLORA, C.A. **Nº de ítem:** 69507
Dirección: Avenida 6ª, Edificio La Cándida, Piso 2, Oficina 2-2, Urbanización La Soledad, Maracay, Edo. Aragua.
Producto: Agua potable **Marca:** No aplica.
Código/Lote: Muestra N° 7 / Sin lote. **Vencimiento:** No aplica.
Cantidad: 1 muestra de 500 mL. **Sitio de captación:** Agua Entrada a Producción.
Información de muestreo: El plan de muestreo y la toma de la muestra fue realizada por el cliente. **Temperatura de ensayo:** 23 °C
Nº de página: 1/1.

Fecha de recepción:	29-08-2018	Fecha de ensayo:	30-08-2018	Fecha de reporte:	04-09-2018
---------------------	------------	------------------	------------	-------------------	------------

RESULTADOS

NOMBRE DEL ENSAYO	MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE ⁽¹⁾
Bacterias aerobias mesófilas Determinación cuantitativa de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri.	Norma Venezolana COVENIN 902-87 (2ª Revisión) Alimentos. Método para recuento de colonias de bacterias aerobias en placas de Petri.	ufc/ml	<1.0	1.0 x 10 ²
Coliformes totales Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	En ningún caso deberá detectarse organismos coliformes totales en dos muestras consecutivas de 100 mL, provenientes del mismo sitio.
Pseudomonas aeruginosa Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	<1.0
Estreptococos fecales Detección y recuento de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, Pseudomonas aeruginosa, mohos y levaduras en muestras de aguas naturales y tratadas.	Norma Venezolana COVENIN 2409-86 Agua Método de membrana filtrante para análisis microbiológico.	ufc ⁽¹⁾ /100 mL	<1.0	<1.0

Personal involucrado:

Transcriptor	Analista	Co-analista
<i>J. J. J.</i>	<i>D. D.</i>	<i>S. S.</i>

Observaciones:

⁽¹⁾ ufc: unidades formadoras de colonias.

⁽²⁾ Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395 "Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable".

Estos resultados solo corresponden a la muestra evaluada y no pueden ser reproducidos sin la autorización de Semitech, C.A.

Autorizado por:



 M.Sc. Cristina Calderón
 Director Técnico

4.2 FASE II: Registrar los caudales de extracciones al sistema de agua subterránea destinado para riego, industria y población del Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo.

En función del segundo objetivo, se estimaron los caudales de extracción diarios con los datos obtenidos utilizando el Floater-II en la Fase I y se compararon con las dotaciones destinadas para riego, industria y población.

La dotación total del hato fue determinada por la suma de los caudales de riego, industria, población y un 15% de reserva. Cada uno de ellos calculado utilizando las dotaciones suministradas por la “Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 4.044”

Tabla de Cálculo del caudal destinado a Riego:

1) Q. Riego	Áreas verdes(m2)* 2 (L/m2)	
Q. Riego	376000	2
Q. Riego	752000	L/Día

Tabla de Cálculo del Caudal destinado al uso Industrial

2)Q. Industria	Tipos Área	Dotación(L*m2)	Área(m2)
	Oficina	6	2000
	Comercio	20	700
	Depósito seco	0.5	250
	L/Día	26125	
	Derivados de lácteos vacunos	1500L/Agua por cada 1000L de leche	
	Litros de leche diarios producidos	24000	
	Dotación lácteos vacunos	17700 L/Día	
	Producción de ganado lechero vacuno	120 L/Vaca	540 Vacas
	Dotación Producción de ganado lechero vacuno	64800	L/Día

2) Q. Industria	108625	L/Día
--------------------	--------	-------

Tabla de Cálculo de caudal destinado al uso poblacional

3) Q. Población	Nro de personas total	94
	Nro. De Obreros	51
	Nro. De Empleados	43
Dotación por obrero	80	L/Día
Dotación por persona	250	L/Día
Q. Población	14830	L/Día

Caudal total destinado a Riego, Industria y población del Hato Doña Flora:

-Q.Total= 1.050.546 L/Día.

Tabla de Cálculo del caudal de extracción de los 3 Pozos del Hato Doña Flora:

Extracción de los pozos			
Extracción de cada pozo en L/S	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3
	4.9	5.79	7.71
* Cada pozo extrae continuamente 18 Horas/ Día			
Cantidad de segundos de producción por pozos	64800	64800	64800
Caudal diario producido por pozo	317520	375192	499608
Litros Diarios Extraídos por Pozo			
Caudal Total de extracción (L/Día)			
1.192.320			

4.3 Fase III: Proposición de red de monitoreo de aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo.

Finalmente el tercer objetivo en el cual se propone una red de monitoreo de aguas subterráneas, la cual está compuesta por tres pozos que se encuentran ubicados dentro de la Hato Doña Flora en el municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, donde se describen la

cantidad y tipo de pozos correspondiente a cada zona, así como algunas generalidades: propietario, ubicación y si se ven afectados por bombeo.

Cuadro N° 5 Pozos y su ubicación

	POZO	PROPIETARIO	UBICACIÓN	BOMBEO
ACTIVO	Pozo # 1	Agropecuaria Doña Flora	El paño	Si (18 hr)
	Pozo # 2	Agropecuaria Doña Flora	El paño	Si (18 hr)
	Pozo # 3	Agropecuaria Doña Flora	El paño	Si (18 hr)

Proceso general para la instalación de los equipos de medición

Presentación del equipo instalado para la red

Captador-almacenador de datos MDS “Floater II” compañía SEBA: sistema de medición continuo.

Sistema de flotador para pozos de observación desde 3plg de diámetro. Posee una rueda engranada por donde la cadena de bolas puede resbalar libremente en un rango de hasta 15m de fluctuación de nivel de agua. Todo el sistema trabaja libre de influencias de óxido y temperatura.

Posee elementos de empalme permitiendo ajustar la cinta plana individualmente según las condiciones de cada pozo.

La lectura de datos se realiza mediante un terminal u ordenador portátil.

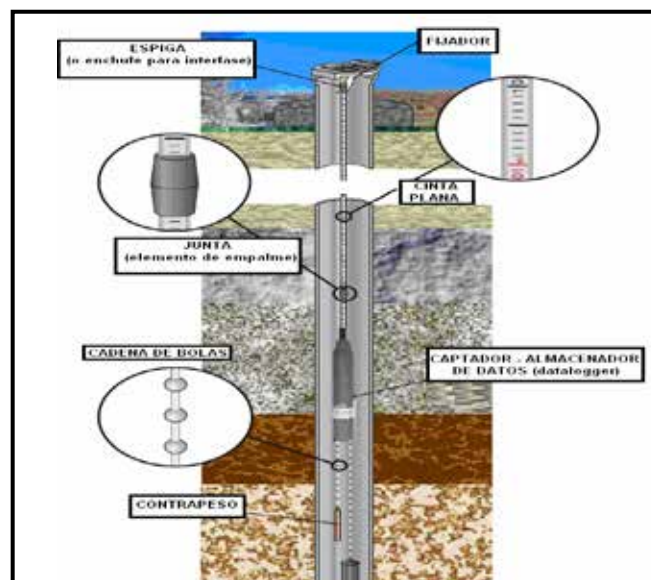


Figura 1 Esquema general del sistema Floater II.



Figura 2 Datalogger.

Reconocimiento de las instalaciones

Se realizaron visitas a las instalaciones donde se ubican los pozos de observación, donde los objetivos fueron: conocer las condiciones y ubicación correcta en las que los pozos se encontraban, planificación para la instalación de los Floater II y determinar la adecuación de las bases de concreto que necesitasen reparación o moldeado con concreto hidráulico.



Figura 3 Determinación del nivel estático en pozo ubicado en Col. Centroamérica, S.S.

Acondicionamiento y preparación del lugar alrededor de los pozos

Con el reconocimiento de cada lugar se previeron las necesidades que cada pozo presentaba, en esta etapa se repararon y construyeron las bases de los pozos (Figura 4), además de realizar limpieza alrededor de la zona del pozo (Figura 5),



Fig. 4.



Fig.5

Ensamblaje de los equipos para medición

Para las visitas e instalación de los equipos, fue necesario poseer permisos de las instituciones propietarias y que éstas proporcionaren técnicos para facilitar comunicación con los encargados en campo de las instalaciones.

En el caso de los pozos proporcionados por MINEA, pertenecientes al Hato Doña Flora, asistieron al proceso de instalación personal técnico y administrativo del Departamento de Investigación, de gran importancia debido a que son las personas que ayudaron a gestionar los vínculos entre el consultor que instaló los equipos y las personas de campo encargadas de las plantas de bombeo donde se ubican los pozos de observación.

Con ayuda de una cinta eléctrica de 200m de longitud se determinó el nivel estático en cada pozo de la red, esta cinta posee graduaciones al centímetro, esta enrollada en un

carrete para permitir un mejor manejo y movilización del equipo, en su punta posee un sensor que indica con un sonido cuando éste ha encontrado el nivel del agua. El nivel estático medido tiene como punto de referencia el broquel de la tapadera del pozo, mostrado en la Figura 7

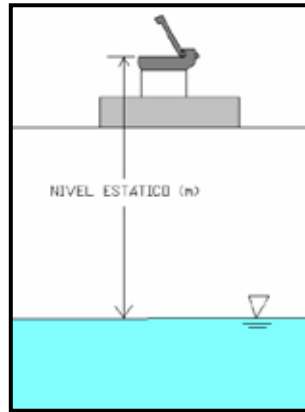


Figura 7 Medición de nivel estático.

En el diseño sistema captador - almacenador, es necesario determinar tres longitudes:

Nivel Estático (m): profundidad del nivel de agua medido con cinta eléctrica desde boquilla de tapadera.

Longitud de Cinta (m): longitud total de cinta de fábrica es de cien metros; para adaptarla al nivel del se cortaron dos tramos: uno de cincuenta centímetros y el otro según la longitud requerida.

Longitud de Cadena (m): de fábrica poseen entre 15m y 17m, no es una longitud constante, esta varía de equipo en equipo.

Para la instalación se cortaron longitudes de entre 10m y 15m. Como recomendación

del fabricante, si no se conoce cómo fluctúa el nivel de agua en el tiempo, se deje en 15m. Se toma en cuenta la profundidad del pozo para el corte, en cada uno se analizó la condición probable de mínimo y máximo nivel estático en el transcurso del tiempo, igualmente se debe garantizar que el contrapeso del Floater II no toque fondo. Se coloca la cadena en la rueda engranada dejando longitud suficiente a cada lado que permita libertad de movimiento al sistema, debido a que los niveles pueden bajar o subir.

Ejemplo de diseño:

NE: 65 m

Longitud de cinta plana del lado de la espiga: 0.50 m

Longitud de cadena de bolas: 15 m, 5m al lado izquierdo y 10m al derecho Longitud de cinta plana del lado del datalogger (depende de longitud de cadena): $65 - 10 - 0.5 - 0.10 = 54.4\text{m}$

Nota: al realizar el empalme de la unión, se pierde un centímetro de la cinta plana.

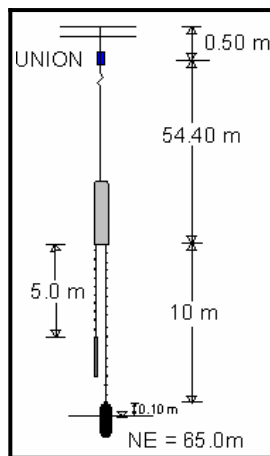


Figura 8 Esquema para ejemplo de diseño.

Con el diseño ya establecido se procede a realizar los cortes de cinta; para juntar los dos tramos de cinta cortados, se empalman con ayuda de un dispositivo de protección, se

colocan ambos lados de la cinta en las abrazaderas protectoras, luego se coloca lubricante a cada extremo de cinta para garantizar su conexión, se empernan ambos lados por medio de tornillos, finalmente cada lado de la abrazadera posee un mecanismo de sujeción que le da continuidad a la conexión eléctrica del empalme.

Se coloca a un lado de la cadena el contrapeso metálico de 29cm para ello se utilizó una llave tipo allen, con esta misma se coloca el flotador del lado opuesto de la cadena. Debido a que el diámetro de los pozos de observación es igual al diámetro de los flotadores que proporciona el fabricante, se elaboraron flotadores artesanales con tubo PVC de resistencia 250psi de 2plg de diámetro y 57cm de longitud, a cada extremo, dos tapones de PVC; dentro del tubo se introdujo arena tamizada, buscando la manera de equilibrar su peso sumergido con el contrapeso. (Figura 9)

Se procede a colocar la cadena en el datalogger sobre la rueda empernada, se debe tener el cuidado de colocar el flotador del lado derecho y el contrapeso del izquierdo.

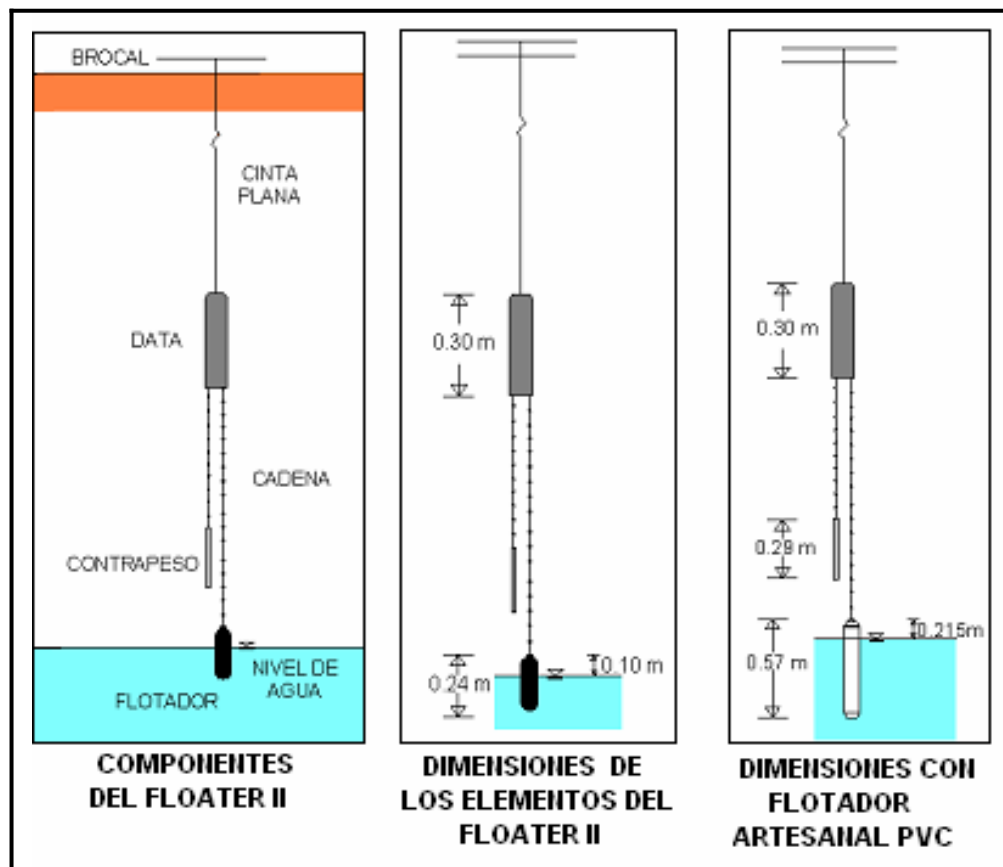


Figura 9 Esquemas del captador – almacenador FLOATER II (Componentes y dimensiones: flotador de fábrica y artesanal).

Instalación y calibración de los equipos de medición

Se presenta en la Figura 4.13 un diagrama sobre el proceso general para la instalación de los Floater II. Los equipos para medición generan información sobre el nivel estático a un intervalo de tiempo a cada ocho horas.

Presentación de información concerniente a la instalación de los equipos de medición

Cada Floater II, posee un código que lo identifica, con este código se almacenan los archivos cuando son extraídos del datalogger, en la tabla 6, se presentan los códigos correspondientes a cada pozo; se puede observar en la última columna de estas, cómo se nombran los archivos: fecha (año, mes y día), código de datalogger y extensión 01; en la misma, las longitudes diseñadas a las cuales se instalaron los Floater II, estas dependen de las características de profundidad y nivel estático de cada pozo en particular.

Tabla 6 Códigos, longitudes de diseño de los Floater II y archivos de extracción para el período entre los meses de marzo-abril en el pozo del Hato Doña Flora,

Pozo	Floater N°	Cinta plana	Cadena de bolas	Archivo de data
#1	14476	64,49	10	2018-P1446
#2	14451	59,99	10	2018-P1447
#3	14370	63,99	15	2018-P1448

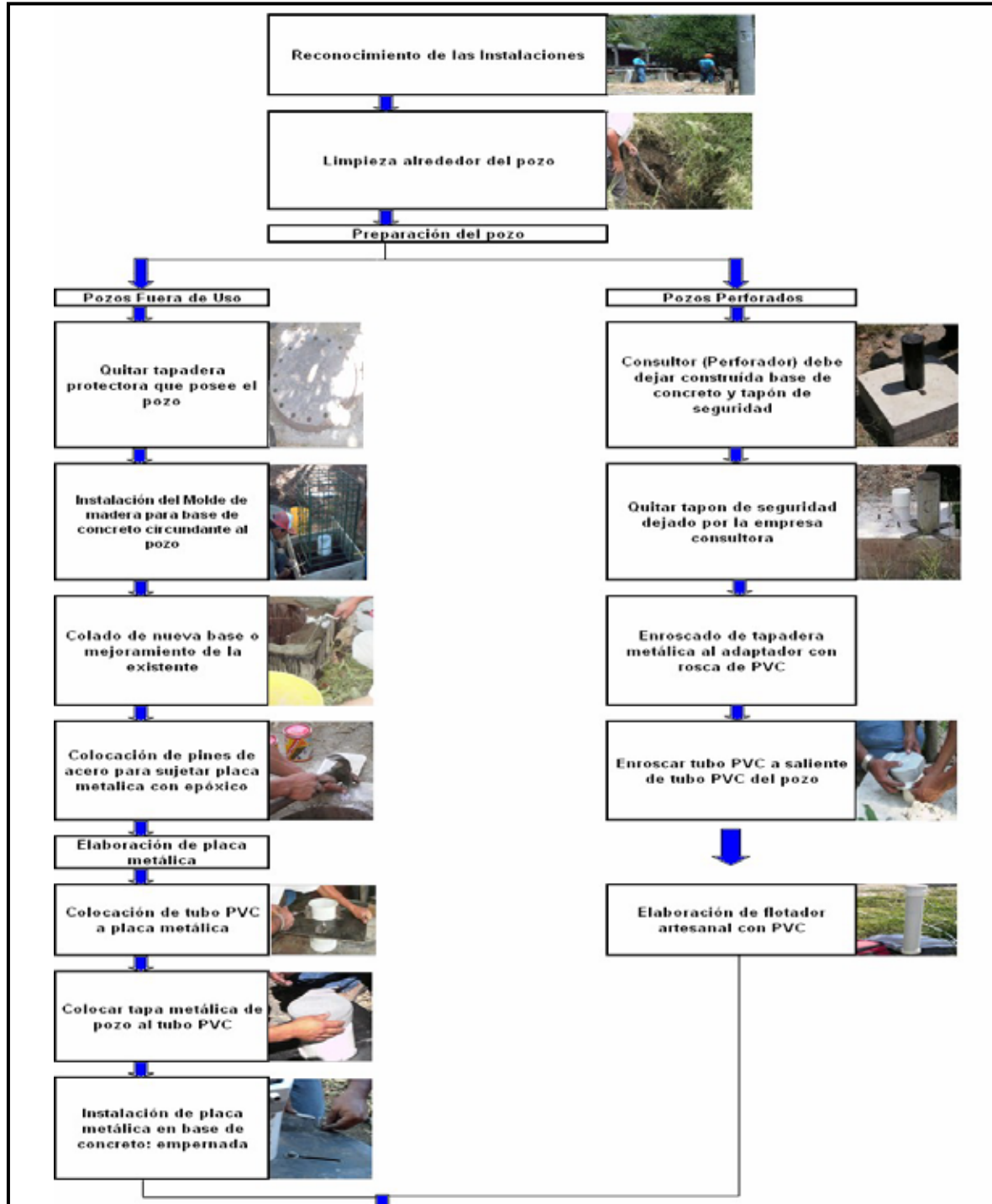
La instalación de los equipos inició el día 27 de Octubre y finalizó el 29 de Octubre del presente año, en la tabla 7 se presenta un desglose de los días y los pozos en los que se instaló el equipo.

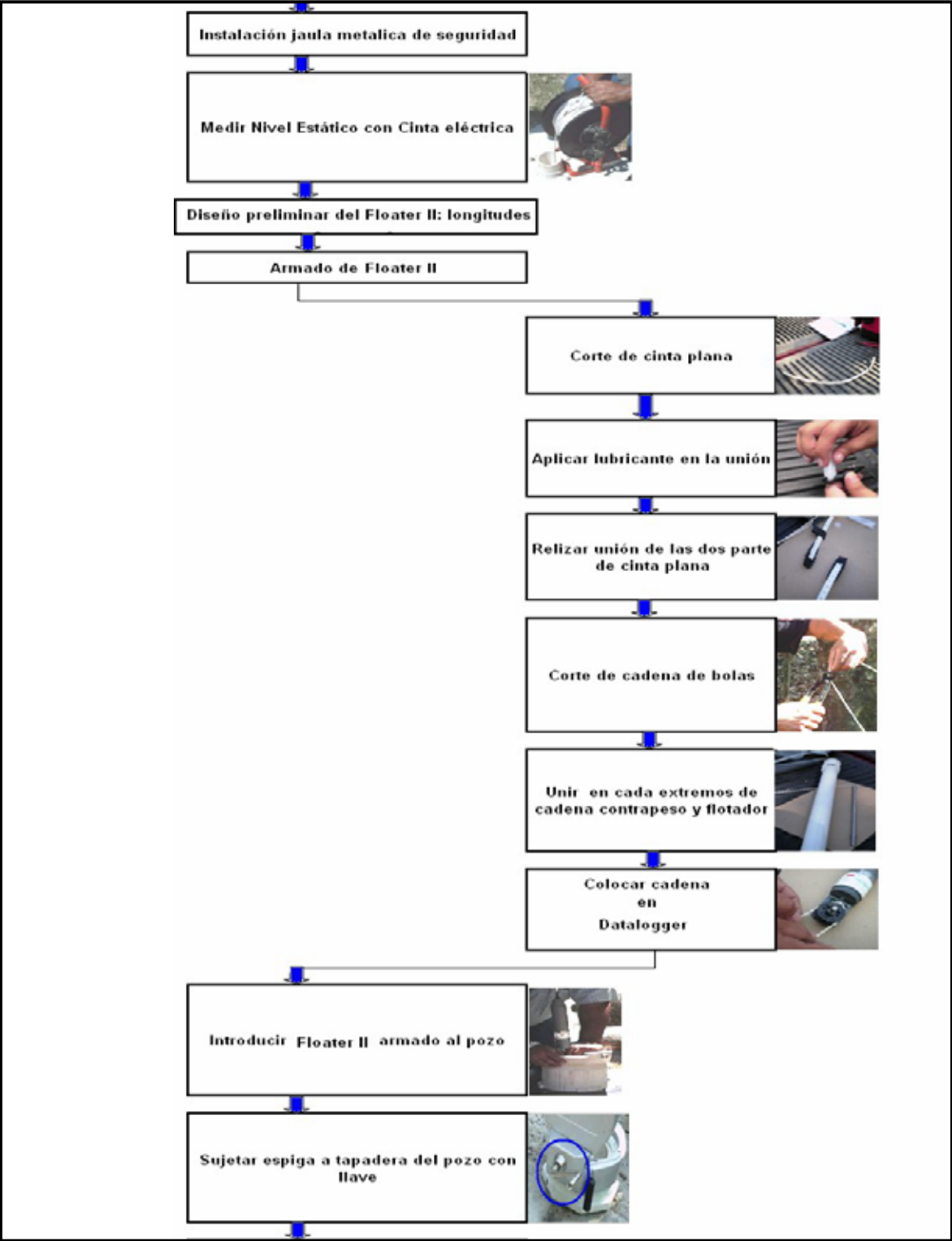
Tabla 7 Fechas y cobertura para la instalación de equipos.

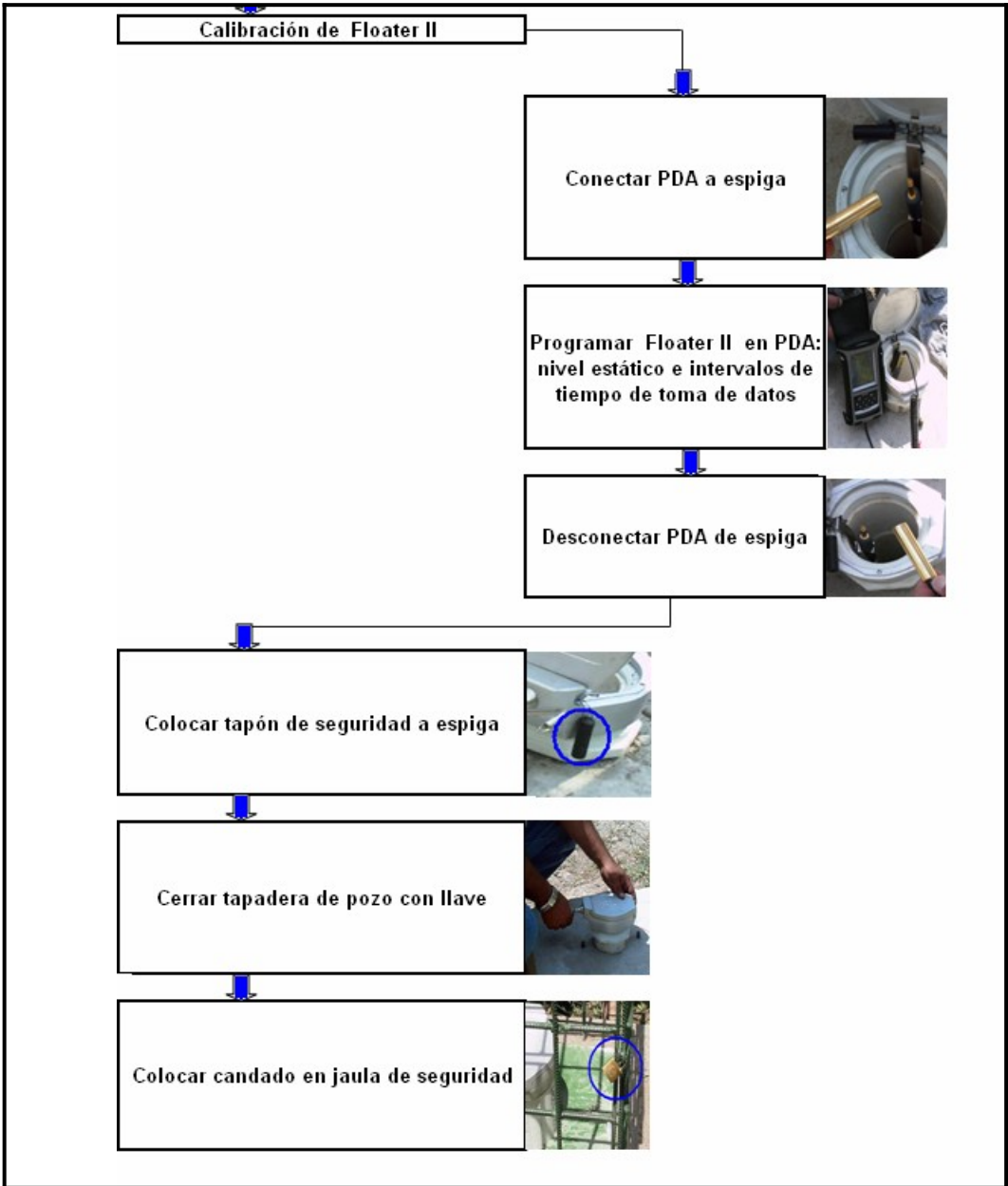
DIA	COBERTURA
-----	-----------

27 de Octubre	Pozo # 1
28 de Octubre	Pozo # 2
28 de Octubre	Pozo # 3

Figura 11 Proceso general de instalación de los equipos







Primera recolección de datos para la red de monitoreo

Ruta sugerida y recomendaciones

A continuación se presenta una sugerencia de ruta para la recolección de datos pertenecientes a los (03) tres pozos que conforman la red de monitoreo; basada en la ruta realizada los 27 y 28 de Octubre del año 2018. Se describe: tiempo, personal necesario, y recomendaciones para que esta tarea se desarrolle de una manera eficiente y programar recursos necesarios.

Equipo

Cinta eléctrica, para actualizar nivel estático

Llave hexagonal (abrir tapadera de pozos)

Conjunto de llaves para candado de jaulas

PDA, necesario para bajar archivos

Personal técnico

Se recomiendan dos personas para esta actividad: una persona introduce la cinta eléctrica para obtener el nivel estático, mientras otra persona realiza la extracción de archivos del Floater II y verifica el funcionamiento del sistema.

Si esta actividad es realizada solamente por una persona, tomar en cuenta que el tiempo invertido será mayor.

Inversión de tiempo

Día uno: se inicia a las 8:00am partiendo del Pozo # 1 y se terminó la recolección 2:00pm.

Día dos: partiendo de Pozo # 2 hacia el Pozo # 3, se inicia la ruta 8:30am y se termina la recolección a las 2:00pm.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Para la primera fase de la investigación (Fase I) la cual abarcaría la medición de los niveles y calidad de las aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, sector el Paíto, municipio Valencia, Parroquia Miguel Peña, Edo. Carabobo. Se cumplió con éxito obteniendo los niveles de los 3 pozos profundos del Hato Doña Flora, obteniendo como resultados profundidades de 64,49m para el pozo #1, 59,89m para el pozo #2 y 63, 97m para el pozo #3, a su vez se comprobó que la calidad de sus aguas subterráneas cumple con los parámetros físicos, químicos, inorgánicos y microbiológicos o bacteriológicos establecidos por la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 36.395 “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable” y el decreto Nro. 883 de la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 5.021 con respecto a las “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos efluentes líquidos” concluyendo que la calidad de las aguas subterráneas del Hato Doña cumplen con los parámetros evaluados.

Para la segunda fase de la investigación (Fase II) la cual tuvo como objetivo registrar los caudales de extracciones al sistema de agua subterránea destinado para riego, industria y población del Hato Doña Flora, fue concluido con éxito, ya que se logró registrar los caudales de extracción de los 3 pozos obteniendo como resultados un caudal de extracción de 4,90 L/s para el pozo Nro.1, 5,79 L/s para el pozo Nro.2, y 7,71 L/s para el pozo Nro. 3. Los cuales al ser llevados a L/Día se obtuvo un caudal total de extracción de 1.192.320 Litros diarios.

El cálculo de dotaciones para riego, industria y población, calculados con el uso y cumplimiento de la “Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 4.044” nos dio como resultados: Caudal destinado al Riego: 752.000 L/Día, Caudal destinado a la Industria: 108.625 L/Día, y Caudal destinado al uso poblacional: 14.830 L/Día. Obteniendo un caudal total de dotaciones para riego, industria y población 1.050.546 Litros Diarios,

concluyendo que el caudal de extracción de los 3 pozos (1.192.320 Litros diarios) satisface las demandas de agua del Hato Doña Flora (1.050.546 Litros Diarios)

Y como último pero más importante objetivo de la presente investigación la proposición de red de monitoreo de aguas subterráneas en el Hato Doña Flora, se concluye que la implementación de esta red de monitoreo es totalmente factible y cumpliendo con los criterios generales establecidos, realizando las campañas periódicas indicadas anualmente se puede lograr tener un análisis completo del comportamiento de niveles de los acuíferos en la zona evaluada, debido a que el tiempo de registro de los datos es de pocos meses y no se puede realizar un análisis completo para concluir sobre el verdadero comportamiento de los niveles de los acuíferos, dado que para ello se requiere como mínimo registros de todo un ciclo hidrológico, de manera de observar las variaciones de sus niveles estáticos. Es importante destacar que no se pudo visitar la totalidad de los pozos de la zona sur del municipio Valencia, es un proceso largo para conseguir el permiso de las compañías o propietarios de los para el estudio de sus caracterizas. Y muchos de los pozos aptos para la medición con sonda se encuentran inactivos.

Recomendaciones:

De aquí a 2020 la ONU, establece en su ODS Nro. 6 proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, los ríos, acuíferos y los lagos, es por ello que se recomienda una explotación del mismo de forma controlada y para ello establecer mediciones continuas que brinden información suficiente para construir un histórico que permita un manejo controlable y sostenible de los niveles de explotación o extracción del acuífero.

Planificar y coordinar con antelación salidas para la recolección de datos, con el objeto que todos los interesados estén y velen con veracidad de las tomas de las muestras, tal y como se exige en los procedimientos.

Planificar y coordinar con antelación salidas para la recolección de datos, con el objeto que todos los interesados estén disponibles los días programados.

Realizar ficha técnica para la recolección de datos donde se anoten: nivel estático

medido con cinta eléctrica y el último almacenado en Floater II lugar, fecha, hora, archivo de Floater II, nombre y datos del equipo técnico (recursos humanos, herramientas y equipos).

Revisar el estado físico de los equipos utilizados y tener previstos auxiliares en caso de presentar fallas.

Las mediciones son tomadas en campo por lo que se recomienda utilizar protección solar o paraguas.

Dar mantenimiento continuo a los pozos: revisar condiciones de placa metálica, pernos sujetadores, y todo lo que permita asegurar el buen funcionamiento de los pozos.

Se sugiere informar a personas que estén permanentemente en las instalaciones donde se ubican los pozos, sobre el objeto del proyecto y la importancia de cuidar los pozos que conforman la red, mediante jornadas de charlas, afiches, hojas técnicas entre otros.

Todo lo anterior con el objeto de dar respuesta inmediata o reportar a la institución o persona encargada de la red sobre cualquier eventualidad que afecte el buen funcionamiento de los equipos instalados y sus implementos de protección.

Realizar la prueba de caudal variable en todos los pozos ubicados en el sector Sur del Municipio Valencia, con el fin de tener mayor precisión de los parámetros hidráulicos de transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero.

Realizar el análisis físico-químico y bacteriológico al resto de los pozos de la zona Sur del municipio Valencia Estado Carabobo.

Dar continuidad y mantenimiento a la red existente, iniciando con una evaluación de las condiciones actuales de la red.

, aprovechando así los recursos disponibles con los que cuenta la red.

Debido a que la red de monitoreo se encuentra a la fecha en su fase inicial, se recomienda que se realicen visitas cada tres meses, para verificar el buen funcionamiento de los equipos.

Realizar un trabajo de grado, que le dé continuidad a la red de monitoreo cuando esta proporcione información alrededor de 12 a 15 meses de datos continuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ababou R.(1998): **Three-dimensional flow in random porous media** Ph.D. diss. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology,
- Ahmed, S. (2004): **Geostatistical estimation variance approach to optimizing an air temperature monitoring network**. Water, Air and Soil Pollution
- Armando, A.J. (1994): **Introducción al tratamiento de series temporales: aplicación a las ciencias de la salud**. Ediciones Díaz de Santos.
- ASCE. (2003): **Long-Term Groundwater Monitoring: The State of the Art. Task Committee on the State of the Art in Long-term Groundwater Monitoring Design**, American Society of Civil Engineers, USA.
- Babu, D., Pinder, G.F., Niemi, A., Ahlfeld, D.P., and Stothooff, A. (1993): **Chemical transport by three dimensional groundwater flows** (PTC-Princeton Transport Code) Rep. 84-WR-3. Princeton: Princeton University, Department of Civil Engineering,
- Cameron, K. and Hunter, P. (2000): **Optimization of LTM Networks Using GTS: Statistical Approaches to Spatial and Temporal Redundancy** Brooks, USA: Tech. Rep., Air Force Center for Environmental Excellence.
- Deutsch, C.V. and Journel, A.G. (1998): **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**. 2nd. ed. New York: Oxford University Press.
- Esquivel-Victoria, E. (2008): **Aplicación geoestadística al rediseño de la red de monitoreo en el acuífero de la Comarca Lagunera**, Coahuila, Durango, México. Tesis para obtener el grado de maestría. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Faisal, K., Zaidi, S., and Dewandel, B. (2007): **Optimizing a piezometric network in the estimation of the groundwater budget: a case study from a crystalline-rock watershed in southern India**. Hydrogeology Journal.
- Guzmán, D. y Pereira, K, (2017) : **Estudio de gestión de las aguas subterráneas en Venezuela, caso especial: Acuífero de la mesa Guanipa**. Universidad de Oriente,

Anzoátegui, Venezuela.

- Herrera, G.S. (1998): **Cost Effective Groundwater Quality Sampling Network Design**. Ph. D. thesis. Vermont: University of Vermont, Burlington.
- Herrera, G.S., Guarnaccia, J., Pinder, G. y Simuta, R. (2001): **Diseño de redes de monitoreo de la calidad del agua subterránea eficientes**. Proceedings of the 2001 International Symposium on Environmental Hydraulics, Arizona, USA.
- Herrera, G.S. and Pinder, G.F. (2005): **Space-time optimization of groundwater quality sampling networks**, Water Resources Research
- Jazwinski, A.H. (1970): **Stochastic Processes and Filtering Theory** San Diego: Academic Press.
- Kumar, S., Sondhi, S.K., and Phogat, V. (2005): **Network design for groundwater level monitoring in Upper Bari Doab canal tract, Punjab, India**. Irrigation and Drainage.
- Loaiciga, H.A. (1989): **An optimization approach for groundwater quality monitoring network design**. Water Resources Research.
- Loaiciga, H.A., Charbenneau, R.J., Everett, L.G., Fogg, G.E., and Hobbs, B.F. (1992): **Review of groundwater quality monitoring network design**. Journal Hydraulic Engineering.
- Manchuk, J., Leuangthong, O., and Deutsch C.: (2004). **A New Approach to Direct Sequential Simulation that Accounts for the Proportional Effect: Direct Lognormal Simulation** Sixth Annual Report of the Centre for Computational Geostatistics. University of Alberta. Disponible para World Wide web.
- Marechal, J.C., Dewandel, B., Ahamed, S., Galeazzi, L., and Zaidi, F.K. (2006): **Combining the groundwater budget and water table fluctuation methods to estimate specific yield and natural recharge**. Journal of Hydrology
- Mendoza, E.Y. y Herrera, G. (2007) **Estimación multivariada espacio-tiempo de la carga hidráulica en el Valle de Querétaro-Obrajuelo**. Ingeniería hidráulica en

- México. Nunes, L.M., Cunha, M.C., and Ribeiro, L. (2004): **Groundwater monitoring network optimization with redundancy reduction**. J. Water Resour. Plng. and Mgmt .
- Rounhani, S. (1995): **Variance reduction analysis**. Water Resources Research.
- Samper, F.J. y Carrera J. (1990): **Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología subterránea**. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- SIMUTA, R. (2005): **Modelo en elemento finito para el flujo del acuífero del valle de Querétaro**. Tesis de maestría. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Urquiza, M. (2008): **Uso sostenible del agua en la ciudad de Querétaro**. Expo Zaragoza 2008. Semana temática: "Agua y servicios de abastecimiento y saneamiento". Eje temático: Foro de los buenos ejemplos. Zaragoza, España.
- Van Geer, F., Te Stroet, C., and Yangxiao, Z. (1991): **Using Kalman Filtering to Improve and Quantify the Uncertainty of Numerical Groundwater Simulations 1. The Role of System Noise and Its Calibration**. Water Resources Research.
- Yangxiao, Z., Te Stroet, C., and Van Geer, F. (1991): **Using Kalman Filtering to Improve and Quantify the Uncertainty of Numerical Groundwater Simulations 2. Application to Monitoring Network Design**. Water Resources Research.
- Zhang, D. (2002): **Stochastic Methods for Flow in Porous Media. Coping with Uncertainties**. San Diego: Academic Press.
- Zhang, Y., Pinder, G.F., and Herrera, G.S. (2005): **Least cost design of groundwater quality monitoring networks**.