

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“ESTUDIO DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS TERRENOS DEL CENTRO DE ESTUDIOS
E INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ ESTE (CEIAPE)”

JOHANA CAROLINA LAU ORTEGA

8-949-1475

PANAMÁ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2021

“ESTUDIO DEL NIVEL FREÁTICO EN LOS TERRENOS DEL CENTRO DE
ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA DE PANAMÁ ESTE
(CEIAPE)”

TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL
DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

DR. CARLOS HIM G

DIRECTOR

MGTR. LOURDES RUBATINO

ASESOR

MGTR. AARÓN CONTE

ASESOR

PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

2021

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, le quiero agradecer a Dios, por permitirme llegar hasta donde he llegado. Le agradezco a mi familia, por siempre estar a mi lado y apoyarme.

También quiero agradecer a mis compañeros y amigos, Gabriel Ramos, Migdaris Murillo, Mariana Torres y Maria Herrera, por ser parte de esta experiencia universitaria y por su lealtad ante todas las circunstancias vividas a lo largo de ella.

Al Dr. Carlos Him, profesora Aris Pitty y profesor Enrique Sánchez-Galán, por su gran apoyo en el desarrollo del presente documento.

DEDICATORIA

El presente documento está dedicado de manera muy especial a mi madre Carolina Ortega, que, aunque no se encuentre físicamente guarda un espacio muy especial en mi corazón. A mis abuelos, José Gonzales y Joaquina Bonilla, por ser mi apoyo incondicional desde niña, a mis hermanos, Diana Carolina y José Miguel por siempre creer en mí y a mi papá Jonathan Lau, por ayudarme a culminar esta etapa de mi vida.

RESUMEN

El presente documento corresponde al estudio de la correlación entre la precipitación y las fluctuaciones del nivel freático del Nuevo Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), sede Panamá ubicado en el corregimiento de Las Mañanitas, Ciudad de Panamá.

Se recolectaron datos de la variable fluctuaciones del nivel freático en los meses de la estación seca del año 2021 y al inicio de la estación lluviosa del mismo año, en los pozos de monitoreo ubicados en estos terrenos. Para complementar la investigación, se utilizaron datos de años anteriores de esta misma variable recolectada por otros estudiantes.

La variable de precipitación fue obtenida de la estación meteorológica de Tocumen, donde se tomaron datos para cada uno de los días en que se realizaron mediciones en los pozos de observación.

Se realizó una correlación de Pearson entre las variables y también se analizó la variable de fluctuaciones del nivel freático de manera independiente para conocer su comportamiento en el periodo de la investigación.

De igual forma, se realizó un análisis del nivel del agua de cada uno de los pozos de observación.

Palabras claves: Nivel Freático, precipitación, pozos de observación, fluctuación de agua subterránea.

ABSTRACT

This study concentrates on the fluctuations in the water table at the New Educational and Research Center of the Faculty of Agricultural Sciences (FCA), Panama headquarters located in the town of Las Mañanitas, Panama City.

Data were collected from observation of four wells located in the fields of the research center. Water table fluctuations were evaluated to characterize underground water movement effects on crops or livestock. The precipitation variable was obtained from the Tocumen meteorological station, where data was collected for each of the days in which measurements were made in the observation wells. A Pearson correlation was carried out between the variables and the variable of fluctuations in the water table was also analyzed independently to know its behavior in the period of the investigation.

Key words: Water table, precipitation, observation wells,
underground water fluctuation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| AGRADECIMIENTO..... | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT..... | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | xii |
| 1.INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 4 |
| 1.2 ANTECEDENTES..... | 5 |
| 1.2.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA | 5 |
| 1.2.2 EL NIVEL FREÁTICO | 7 |
| 1.2.2.1 LECTURAS DEL NIVEL FREÁTICO | 8 |
| 1.2.2.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA RECARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA | 9 |
| 1.2.2.3 POZOS DE OBSERVACIÓN PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO..... | 11 |
| 1.2.2.4 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DEL NIVEL FREÁTICO..... | 11 |
| 1.2.3. OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN PANAMÁ | 13 |
| 1.2.4 AGUA SUBTERRÁNEA EN PANAMÁ..... | 14 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1.3 | JUSTIFICACIÓN..... | 17 |
| 1.4 | OBJETIVOS..... | 19 |
| 1.5 | HIPÓTESIS..... | 20 |
| 1.6 | ALCANCE Y LIMITACIONES..... | 21 |
| 2. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 22 |
| 2.1 | PRECIPITACIÓN..... | 22 |
| 2.2 | RECARGA..... | 23 |
| 2.3 | AGUA SUBTERRÁNEA..... | 24 |
| 2.4 | ACUÍFEROS..... | 26 |
| 2.5 | NIVEL FREÁTICO..... | 28 |
| 2.6 | FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO..... | 29 |
| 2.7 | POZOS DE OBSERVACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO..... | 30 |
| 2.8 | DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 31 |
| 2.8.1 | CLIMA..... | 32 |
| 3. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 34 |
| 3.1 | UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 34 |
| 3.1.1 | LÍMITES..... | 34 |
| 3.1.2 | CLIMA..... | 34 |
| 3.1.3 | VEGETACIÓN DEL POLÍGONO..... | 35 |
| 3.2 | METODOLOGÍA..... | 38 |

| | |
|---|-----------|
| Instalación de los pozos de observación | 38 |
| Recolección de los datos..... | 39 |
| Tratamiento de los datos | 41 |
| Corrección de las lecturas del nivel freático | 41 |
| Análisis de suelo | 42 |
| Delimitación del área de estudio: | 43 |
| Capacidad de respuesta de los pozos de observación ante la precipitación.... | 43 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 44 |
| 4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO | 44 |
| 4.2 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO | 45 |
| 4.3 NIVEL DEL AGUA EN LOS POZOS | 50 |
| 4.4 CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LOS POZOS ANTE LA PRECIPITACIÓN | 54 |
| 4.5 CORRELACIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO Y LA PRECIPITACIÓN | 56 |
| 5. CONCLUSIONES | 61 |
| 6. RECOMENDACIONES | 62 |
| 7. REFERENCIAS CITADAS | 63 |
| ANEXOS..... | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N°1: Ciclo del Agua Subterránea..... | 5 |
| Figura N°2: Fluctuaciones del nivel freático | 9 |
| Figura N°3: Pozo de observación..... | 11 |
| Figura N°4: Mapa hidrogeológico de Panamá..... | 15 |
| Figura N°5: Precipitación | 22 |
| Figura N°6: Distribución del agua en el suelo | 23 |
| Figura N°7: Tipos de Acuíferos | 28 |
| Figura N°8: Representación del nivel freático..... | 29 |
| Figura N°9: Pozo para la medición del nivel freático | 31 |
| Figura N°10: Mapa del área de estudio dentro de la cuenca del Río Tapia | 33 |
| Figura N°11: Delimitación del área de estudio..... | 35 |
| Figura N°12: Vegetación del área de estudio | 35 |
| Figura N°13: Instalación de los pozos..... | 38 |
| Figura N°14: Pozo de observación..... | 39 |
| Figura N°15: Toma de lectura..... | 40 |
| Figura N°16-17: Muestra de suelo | 42 |
| Figura N°18: Toma de muestra de suelo en campo | 42 |
| Figura N°19: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 1 | 45 |
| Figura N°20: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 2 | 46 |
| Figura N°21: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 3 | 47 |
| Figura N°22: Pozo 3..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura N°23: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 4 | 48 |
| Figura N°24: Gráfica de las Fluctuaciones del nivel freático en todos los pozos..... | 49 |
| Figura N°25: Gráfica del Nivel de agua en el Pozo 1 | 50 |
| Figura N°26: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 2 | 51 |
| Figura N°27: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 3 | 52 |
| Figura N°28: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 4 | 52 |
| Figura N°29: Gráfica del Nivel del agua en todos los Pozos..... | 53 |
| Figura N°30: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 1 ... | 57 |
| Figura N°31: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 2 ... | 58 |
| Figura N°32: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 3 ... | 58 |
| Figura N°33: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 4 | 59 |
| Figura N°34: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático de todos los pozos de observación..... | 60 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| CUADRO I: OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA | 13 |
| CUADRO II: GENERALIDADES DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN | 37 |
| CUADRO III: TIEMPO DE RESPUESTAS DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN ANTE LA PRECIPITACIÓN | 54 |
| CUADRO IV: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA LOS POZOS DE OBSERVACIÓN | 56 |

1.INTRODUCCIÓN

El contenido de agua dulce en nuestro planeta es muy poco o limitada, la cual se puede encontrar distribuida principalmente en depósitos subterráneos, superficiales y congelada en los polos, siendo la más escasa de estas el agua superficial por lo que el agua subterránea es la fuente principal para el abastecimiento de agua potable (Jacobus J. de Vries, 2002).

La población mundial se ha incrementado en las últimas décadas destacando una mayor concentración de la población en zonas urbanas, es por ello que se debe desarrollar una administración del recurso, gestionando el así tener información confiable del volumen de extracción idóneo eficiente de este recurso sin exceder la tasa de recarga del acuífero, en base a información confiable de su disponibilidad y calidad.

El agua subterránea es una fuente de importancia para el abastecimiento humano y agrícola. Los incrementos de la explotación de sus reservas conducen a descensos de los niveles de agua subterráneas indeseables en distintos acuíferos, trayendo consigo la sobre explotación. Sin embargo, en otros acuíferos se observan ascensos de los niveles de agua, consecuentemente incrementos en los almacenamientos, debido a procesos de recarga desde áreas irrigadas, zonas con lluvias, ríos y canales de riego (Akther, Ahmed, & Rasheed, 2009).

Para una gestión del recurso hídrico se deben considerar factores naturales como el suelo, topografía, vegetación, uso del agua, el clima y factores antropogénicos como el patrón de uso del recurso hídrico, bombeo, etcétera. Estos factores dan como

resultado patrones de comportamiento de puntos específicos de monitoreo (pozos), de los cuales se consideran los hidrógrafos puntuales para determinar variables hidrogeológicas locales según las características constructivas de los pozos y del material de donde captan el agua para su explotación.

Panamá aprobó a través de la Resolución de Gabinete N° 114 del 23 de agosto de 2016 (Gaceta Oficial Digital N° 28104-A) el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050 “Agua para Todos”, cuyo objetivo es garantizar el acceso justo y equitativo del agua a toda la población y sectores productivos, en cantidad suficiente y calidad aceptable, asegurando la disponibilidad y protección de los recursos hídricos y los ecosistemas en un clima cambiante. A su vez, este instrumento legal crea el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA), para dar seguimiento a la implementación del PNSH y contar con una estructura de apoyo y coordinación para el cumplimiento de las metas del Plan.

En nuestro país existen pocos estudios sobre agua subterránea y nivel freático, a pesar de su importancia para los trabajos de campo de un área determinada.

Se define como nivel freático el nivel superior de un acuífero, en otras palabras, el nivel que el agua subterránea llega a alcanzar en el suelo. Estos niveles pueden ser medidos por medio de pozos de observación que se colocan en los terrenos del lugar de estudio. Existen varios métodos para estimar la recarga de agua subterránea; por ejemplo, el modelado sencillo de los registros de precipitación y profundidad de niveles de agua subterránea (hidrógrafos), Fluctuaciones del Nivel Freático (FNF) en pozos y el uso de Análisis de Componentes Principales (ACP) para analizarlos (Risser, 2005).

Para el sector agropecuario la utilidad de la información que puede obtenerse a través de estudios del nivel freático de un área determinada puede resultar de mucha importancia para la toma de decisiones en el manejo de la misma área, ya sea para el establecimiento de cultivos u otras decisiones afines.

El estudio se realizó en los terrenos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, en el corregimiento de las Mañanitas, con la finalidad observar y analizar las fluctuaciones del nivel freático que existen en el terreno, por medio del monitoreo de los pozos de observación establecidos en el lugar.

Se desea también comprobar la correlación entre las precipitaciones y el nivel freático, con análisis de los datos de la estación meteorológica de Tocumen.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la degradación futura de los recursos hídricos y de suelo será un desafío fundamental que enfrentará la agricultura global. Es por ello que se deben buscar alternativas viables para el manejo sostenible y gestión de los recursos, en este caso del recurso hídrico en nuestro sector agropecuario, donde los estados han acordado y se han comprometido con la protección de este vital recurso.

En Panamá no se dispone de muchos datos de medición para las aguas subterráneas, lo que representa una desventaja para el fortalecimiento de la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional. De esta realidad no escapa los terrenos destinados a las prácticas de campo la FCA sede Panamá, por lo que es necesario que se lleven a cabo estudios de las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea del lugar para caracterizar, analizar y evaluar los niveles en la estación seca y lluviosa, de esta manera la esta información obtenida represente un insumo para las futuras decisiones de manejo del terreno.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 EL AGUA SUBTERRÁNEA

El término de agua subterránea se refiere en general a la ocurrencia del agua por debajo de la superficie del suelo. Sin embargo, comúnmente se relaciona solo con la que se encuentra en la zona saturada de agua. El límite de separación entre la zona de aireación y la de saturación se conoce como nivel freático, donde el agua se mantiene a presión atmosférica (agua libre). Un acuífero se define como un estrato del subsuelo que contiene y conduce agua. (FAO, 2002).

En la figura 1 podemos observar el ciclo del agua, con cada uno de los procesos que se producen para que la precipitación llegue a la capa freática.

Figura N°1: Ciclo del Agua Subterránea



Fuente: <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-extraccion-de-agua-subterranea-acelera-el-aumento-del-nivel-del-mar/>

El agua subterránea deriva del agua de lluvia que se ha infiltrado en el suelo y drenado más abajo de la zona radical. Es el agua en exceso de la cantidad necesaria para los cultivos y otra vegetación y sobrepasa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (FAO, 2002).

Esto quiere decir, que el agua subterránea representa aquella que ha sobrepasado la capacidad de almacenamiento del suelo, de acuerdo con características y propiedades.

El agua subterránea se mueve muy lentamente a través de los materiales del subsuelo en dirección del curso de drenaje dominante. Si la parte superior de la misma, la capa freática, no se sumerge por debajo del nivel del lecho de la corriente, el agua aparece en surgentes que alimentan las corrientes de agua y sus tributarios. Este proceso ocurre durante todo el año y de esta manera el agua subterránea actúa como amortiguador para mantener el flujo básico de la corriente y los niveles de agua en los pozos durante los períodos secos (FAO, 2002).

A nivel mundial, el agua subterránea representa unas veinte veces más que el total de las aguas superficiales de los continentes e islas, de ahí la importancia de la misma como reserva y como recurso de agua dulce para el abastecimiento. También, juega un papel muy importante para todos los ciclos de la vida en la tierra. 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 (Europea, 2008).

A la expectativa de la posible ocurrencia de desastres hidrometeorológicos, tales como depresiones, tormentas, huracanes, sequías e inundaciones que alteran el proceso de

las aguas subterráneas. Otro factor es que, el agua subterránea es un recurso oculto, por lo tanto, su importancia cuantitativa es mucho mayor que la de las aguas superficiales; por lo que el efectuar el seguimiento y restaurar su estado, así como, prevenir su contaminación; resulta más difícil que en las aguas superficiales, debido a su inaccesibilidad. Su carácter oculto dificulta una adecuada localización, caracterización y comprensión de los impactos naturales y también de los causados por la actividad humana, sobre el uso y la calidad de las aguas subterráneas; por lo que adquiere un papel relevante. No obstante, a menudo esa falta de caracterización cuantitativa, es traducida como una falta de sensibilización o prueba sobre el alcance de los riesgos y de las presiones a las que se encuentra vulnerable (Europea, 2008).

1.2.2 EL NIVEL FREÁTICO

El nivel freático representa la distancia desde la superficie del suelo donde se encuentra la primera capa de agua subterránea. Esta agua puede ser extraída por medio de la perforación de pozos tubulares de bombeo o manuales. Con la extracción del recurso hídrico subterráneo, mientras exista una gran explotación, el nivel freático va descendiendo con el tiempo si existe una baja recarga del acuífero.

Las fuentes de agua de mayor importancia que pueden producir recarga del manto freático son: precipitaciones, riego y escurrimiento subterráneo. De acuerdo con el balance hidrológico del subsuelo que supone el diseño de una red de drenaje, el estimador relevante de la recarga del manto es la acumulación de agua de lluvia o riego en el perfil del suelo, obtenido como la diferencia entre la entrada y salida del agua. De este modo, interesan dichos flujos de agua en el perfil del suelo hasta la

profundidad considerada de importancia para la futura explotación agrícola (Pizarro, 1985).

La respuesta del nivel freático a los eventos de recarga es muy rápida debido a su poca profundidad, a la existencia de vías preferenciales de flujo (Weinzettel, 2002), y al proceso de flujo pistón que se produce en la matriz porosa (el agua que arriba al nivel freático no es la misma que acaba de infiltrarse; es agua que está previamente en los poros y es empujada por el agua que ingresa, por lo que esta no debe recorrer el trayecto desde la superficie del terreno hasta el nivel freático para que se aprecie un ascenso en este) (Mathias, 2005).

1.2.2.1 LECTURAS DEL NIVEL FREÁTICO

(De Ridder, 1978) indicó que la presentación de las lecturas del nivel freático con respecto al tiempo se denomina hidrogramas de pozos de observación, los cuales son importantes para evaluar las condiciones del agua subsuperficial y proporciona la siguiente información: a) la velocidad de ascenso y descenso del nivel del agua; b) la profundidad de la capa de agua por debajo de la superficie del terreno, la cual revela períodos del año crítico; c) en combinación con los componentes del balance del agua (precipitación, riego, bombeo de pozos, evaporación, etcétera), ayuda a comprender la causa de las variaciones de la capa de agua; d) hidrogramas que cubren varios años, indican la tendencia del comportamiento del agua subsuperficial.

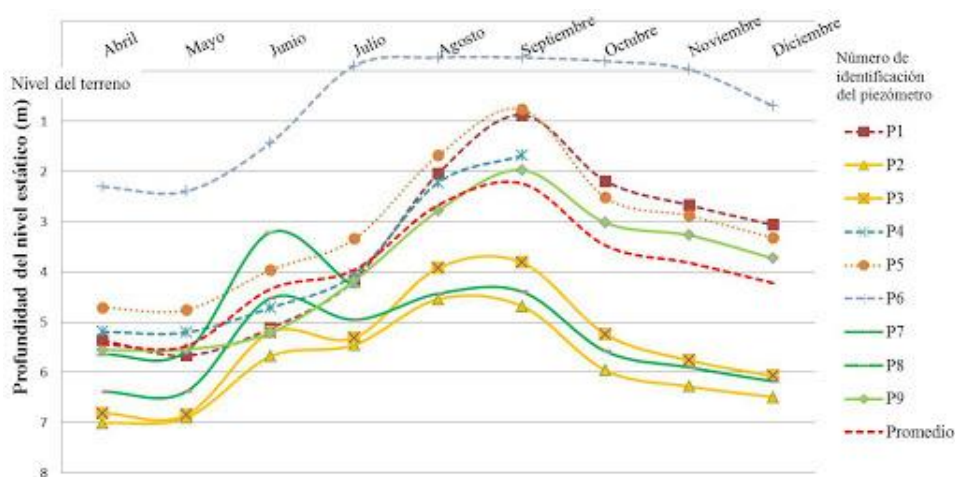
1.2.2.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA RECARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Existen varios métodos para estimar la recarga de agua subterránea como el modelado sencillo de los registros de precipitación y profundidad de niveles de agua subterránea (hidrógrafos), Fluctuaciones del Nivel Freático (FNF) en pozos y el uso de Análisis de Componentes Principales (ACP) para analizarlos (RISSER & GBUREK, 2005).

El método FNF requiere datos suficientes de fluctuación de niveles potenciométricos de los pozos de monitoreo y pluviometría para estimar la recarga directa. Este método se puede aplicar a los sistemas donde ocurre una respuesta rápida de ascenso de niveles tras la ocurrencia de precipitaciones, que aumenta conforme a la cantidad de eventos precipitación-recarga disponibles (Varni, 2013).

La figura 2 representa gráficamente cómo fluctúa la profundidad del nivel freático de un área en un periodo de tiempo.

Figura N°2: Fluctuaciones del nivel freático



Fuente:

<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/content/article/214-sitio/articulos/cuarta-epoca/6602/999-6602-3-neri>

Entre los métodos para estimación de la recarga de los acuíferos, el método hidrogeológico es el más aproximado, toma en consideración las fluctuaciones de los niveles de agua, que muestra el real régimen hidrogeológico del área en estudio; la fluctuación de los niveles de agua subterránea, pueden ser usadas para estimar la intensidad de recarga del agua subterránea en acuíferos libres, para épocas de estiaje y de lluvia (Pool, 1995).

Según (Dieleman, 1978), una vez establecida una red de pozos de observación, las medidas de nivel freático deben hacerse durante algunos años, incluyendo secos y húmedos. La comparación de los hidrogramas de los pozos de observación permite distinguir diferentes grupos que muestran una respuesta similar al modelo de recarga y descarga de la zona. La amplitud de la fluctuación del nivel del agua en los diversos puntos de registro no necesariamente debe ser la misma. Las zonas en las que se sitúan tales pozos pueden considerarse unidades hidrológicas (Dieleman, 1978).

(Herrera, 1994) determinó para las condiciones de Cuba, que debido a las características edáficas (suelos gelisoles) y topográficas y al régimen de lluvia (1179 milímetros media anual), en las áreas agrícolas, se produce un manto freático que, en ocasiones, llega a la superficie y desaparece en el periodo seco, debido a que la evapotranspiración es superior a la precipitación. Para conocer la profundidad y variación en el tiempo de la capa freática de un área específica, el procedimiento habitual consiste en realizar perforaciones en diferentes puntos equidistantes y esperar a que el agua se estabilice. Por lo que se entiende que existen variables que influyen sobre el comportamiento del nivel freático, como lo son las órdenes de suelo de las regiones y la topografía del lugar.

1.2.2.3 POZOS DE OBSERVACIÓN PARA LA MEDICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

Las elevaciones del nivel estático que se mide en un pozo nunca son constantes, esto se debe a la extracción de manera regional por una disminución en la recarga, generando una relación directa entre el aumento de niveles piezométricos, con la precipitación que prevalece en la zona o más allá de la zona de estudio y el efecto de la geología, en la recarga en diferentes momentos (Sang-Ki Moon, 2004).

La siguiente figura muestra el monitoreo de un pozo de observación.

Figura N°3: Pozo de observación



Fuente: <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/795/945>

1.2.2.4 IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DEL NIVEL FREÁTICO

Los estudios de fluctuación de los niveles freáticos subterráneos son de mucha importancia ya que el movimiento de los mantos freáticos es la principal causa de los problemas de salinidad y drenaje. En México se estima que existen aproximadamente 1.1 millones de hectáreas afectadas por salinidad y drenaje inapropiado a diferentes grados (SEMARNAT, 2008).

En diversos países como Estados Unidos, Holanda, India, Australia entre otros 57 países, se estima que existían 367 sistemas de recarga artificial para el año 2007 (World, 2013). Por lo que la recarga artificial se ha posicionado como una herramienta eficaz para solucionar problemas de intrusión salina en acuíferos costeros, controlar el fenómeno de subsidencia, mejorar la calidad del recurso hídrico subterráneo tanto como la del agua de recarga, recuperar niveles piezométricos y almacenamiento entre otros usos (Murray, 2009).

En el área medanosa del sur de península Valdés, una zona árida en Argentina, se realizó un estudio para la estimación de la recarga con los métodos más convenientes para este tipo de zona, que son: Balance Hídrico Local y FNF. Ya que es importante utilizar más de un método para poder comparar resultados y validarlos con observaciones de (Alvarez, 2010).

Por otra parte (NUNES, 2004) analizó y actualizó el conocimiento de la hidrodinámica de los sistemas de flujo subterráneo para cierto periodo de tiempo, por medio de las redes piezométricas que integran la información de niveles estáticos de las áreas piloto de monitoreo del acuífero y con información de los mapas temáticos interactivos, desarrollados en el sistema de información geográfica, lo que permitió conocer las características hidráulicas e hidrogeológicas de cualquier punto dentro del acuífero, conocimientos que apoyarán a los usuarios y a las autoridades para que realicen la planeación y administración del agua subterránea en términos de sustentabilidad.

En Querétaro se eligió el diseño óptimo espaciotemporal de la red de monitoreo de los niveles del agua subterránea el cual consistió en seleccionar, de entre 19 pozos preexistentes en la zona. Estos mediante el método Herrera y Pinder, en los que se

utilizan criterios de optimización y geohidrológicos que dependen del conocimiento del área de estudio (Briseño Ruiz. J., 2011).

1.2.3. OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA EN PANAMÁ

Se considera a Panamá uno de los países del mundo con mayor recurso hídrico siendo su capital hídrico de más de 50.000 m³/cápita/ año. A nivel nacional el país tiene una disponibilidad hídrica de 193457.52 Hm³ para el año 2009. En el Cuadro I se muestra la oferta y la demanda de agua en el país. Se observa variaciones en la oferta entre 186.111 Hm³ en el 2001 (año seco) a 217.512 Hm³ en el 2003 (año húmedo). El porcentaje de agua utilizada está por debajo del siete por ciento, indicativo de que el país cuenta con abundante agua (ANAM, Informe del Estado del Ambiente, 2009).

CUADRO I: OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA

| Año | Oferta Volumen de agua cruda mm ³ | Demanda Volumen de agua cruda mm ³ | Porcentaje de uso (%) |
|------|--|---|--------------------------|
| 2000 | 199 027.11 | 11 682.99 | 5.87 |
| 2001 | 186 111.02 | 7 687.42 | 4.13 |
| 2002 | 186 240.22 | 9 645.37 | 5.18 |
| 2003 | 217 511.47 | 9 142.83 | 4.20 |
| 2004 | 200 714.65 | 11 349.32 | 5.65 |
| 2005 | 209 850.79 | 11 564.46 | 5.51 |
| 2006 | 203 871.41 | 13 294.95 | 6.30 |
| 2007 | 202 920.61 | 13 295.95 | 6.55 |

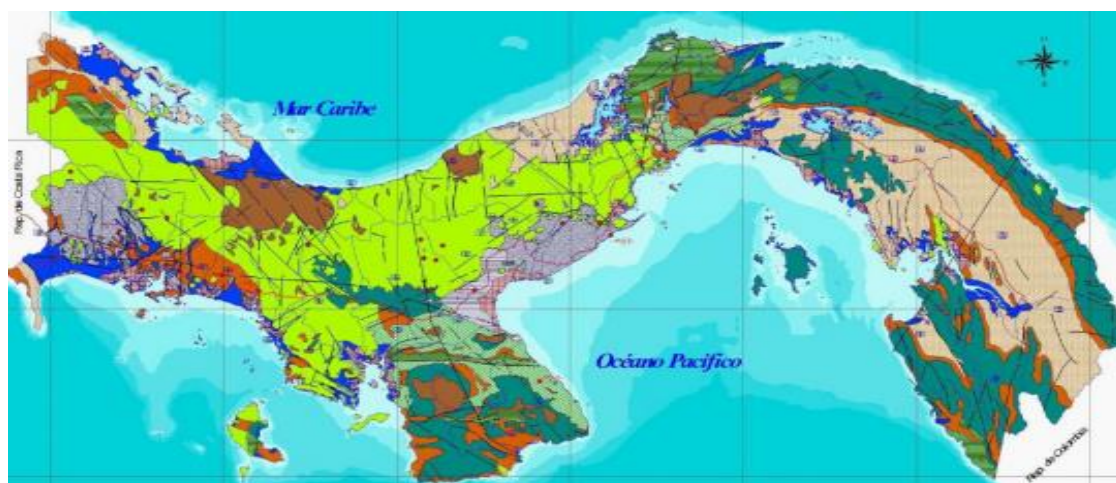
| | | | |
|------|------------|-----------|------|
| 2008 | 200 871.41 | 12 884.84 | 6.41 |
| 2009 | 193 457.52 | 12 455.95 | 6.44 |

Fuente: ANAM, 2009

1.2.3 AGUA SUBTERRÁNEA EN PANAMÁ

En el año 1999 la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA), con el apoyo del Programa Regional de Manejo de Cuencas financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y ejecutado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), elaboraron el primer mapa hidrogeológico de la República de Panamá, en el marco de la preparación de la Carta Hidrogeológica del Istmo Centroamericano y México. Este mapa tiene las limitaciones inherentes a los mapas de pequeña escala, pero representa una cartografía hidrogeológica que es utilizada como herramienta inicial de consulta y apoyo. La interpretación de las formaciones geológicas del mapa hidrogeológico de la República de Panamá que se presenta en la figura N°4, permitió clasificar tres tipos principales de acuíferos y diez unidades hidrogeológicas de ocurrencia de aguas subterráneas. Estos grupos principales de acuíferos son: acuíferos predominantemente intergranulares, acuíferos predominantemente fisurados (discontinuos), y áreas con acuíferos locales (intergranulares o fisurados) de productividad limitada o poco significativa (ANAM, Situación Actual de la Gestión del Agua Subterránea en Panamá. Programa de Formación Iberoamericano en Materia de Aguas, 2010).

Figura N°4: Mapa hidrogeológico de Panamá



Fuente: Hidrogeología, ETESA

Según la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) en su programa de formación de cursos hidrogeológicos 2010, en la actualidad hay poca información disponible sobre las aguas subterráneas del país, especialmente respecto a las capacidades y recuperación de los acuíferos, puntos de recarga, características hidrogeoquímicas, percolación de fuentes de contaminación, intrusión marina y potencial de explotación, entre otros aspectos.

Según la ANAM, también se está realizando el primer estudio de Delimitación de Acuíferos y Zonas de Recarga en la zona conocida como Arco Seco, formada por parte de las provincias de Herrera, Los Santos, Coclé y Veraguas, donde las pocas precipitaciones afectan de manera significativa los caudales de los principales ríos de la región y perjudican las áreas de pastoreo utilizadas para la ganadería, así como la disponibilidad de agua para usos agrícolas, industriales y domésticos.

Existen cuatro investigaciones regionales de la hidrogeología en nuestro país; la primera la cual fue realizada en 1997 por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), en conjunto a la empresa israelí TAHAL para un estudio integral de sistemas de riego en el Arco Seco.

El segundo estudio fue la elaboración del Mapa Hidrogeológico de Panamá (Escala 1:1000 000) por un equipo interinstitucional, auspiciado por la UNESCO y coordinado por el antiguo Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE), cuyas funciones fueron asumidas por la actual ETESA en el año 1997.

La tercera investigación fue contratada en el 2003 por el Ministerio de Salud (MINSA), con la empresa consultora Nómadas de Centroamérica y Panamá, que desarrolló mapas hidrogeológicos de las provincias de Chiriquí, Bocas del Toro y Panamá. La cuarta investigación fue contratada por el Ministerio de Ambiente (antigua ANAM) en el 2010 con la misma empresa consultora, para el estudio hidrogeológico del Arco Seco; donde se hicieron más de 100 Sondeos Eléctricos Verticales con profundidades de investigación hasta de 300 metros, los cuales permitieron plantear la hipótesis de un acuífero confinado en el Arco Seco a profundidades mayores que la profundidad típica usada en la zona, donde prácticamente todos los pozos existentes están perforados a profundidades menores de 50 metros de profundidad, sobreexplotando así el acuífero libre o freático (ANAM, Situación Actual de la Gestión del Agua Subterránea en Panamá. Programa de Formación Iberoamericano en Materia de Aguas, 2010).

1.3 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es indispensable para el desarrollo de las actividades de diferentes sectores, sin embargo, en la actualidad existen diferentes problemáticas que, por diferentes factores económicos, sociales y ambientales de las regiones, ocasionan que la gestión y el manejo de este recurso presenten deficiencias.

A través de los años, y en el marco de la variabilidad climática existente en nuestro planeta, surgen problemas donde el ser humano se encuentra involucrado de forma directa e indirecta con alguna de sus actividades cotidianas, y no podía pasar desapercibido el caso del recurso hídrico que es uno de los principales componentes para la vida, por todos los beneficios que brinda, lo cual motiva a realizar análisis para su óptimo manejo y control. Actualmente, la influencia del estudio del nivel freático tiene mayor fuerza en el mundo, debido a su utilidad e importancia, la necesidad de conocer su estado actual es de suma jerarquía y responde a diferentes intereses, desde la explotación agropecuaria hasta su conservación como unidad natural indispensable para el desarrollo de la vida.

Los estudios de nivel freático de un área determinada son una fuente de información que nos pueden servir para la toma de decisiones. Nos muestran el estado del recurso en cantidad y su comportamiento a través de un tiempo estimado, y puede ser relacionado con otros componentes como las precipitaciones.

Al realizar estudios del nivel freático en los terrenos de la FCA, se puede proporcionar información relevante para la toma de decisiones a nivel de los trabajos de campo que se realizarán en esta área. Será de mucha utilidad para futuras investigaciones que

involucren la disponibilidad de agua, como las prácticas de campo por estudiantes, análisis de suelo o establecimiento de cultivos por la Facultad. Además, nos servirá como instrumento de manejo y gestión del recurso, aportando así con los grandes retos que tenemos como país en marco del Plan Nacional de Seguridad Hídrica, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y del Cambio Climático.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar si existe una correlación entre la precipitación y las fluctuaciones del nivel freático del área de estudio.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las fluctuaciones del nivel freático del área de estudio a través del monitoreo de los pozos de observación.
- Recopilar información de la precipitación registrada en el área de estudio para su análisis.
- Calcular el nivel del agua de los pozos de observación.
- Realizar pruebas de correlación entre las variables de precipitación y fluctuación del nivel freático para cada pozo de observación.

1.5 HIPÓTESIS

Hipótesis Nula

No existe correlación entre la precipitación y el nivel freático del área de estudio.

Hipótesis Alternativa

Existe correlación entre la precipitación y el nivel freático del área de estudio.

1.6 ALCANCE Y LIMITACIONES

El tema de estudio tuvo como alcance conocer y medir las fluctuaciones del nivel freático de los terrenos de la FCA ubicados en el corregimiento de Las Mañanitas. Se analizaron datos obtenidos de mediciones que se realizaron en años anteriores (2019-2020) tanto de la estación seca como de la estación lluviosa. También, se evaluó la relación entre la precipitación del lugar y las fluctuaciones del nivel freático del área de estudio.

La principal limitación que presentó el estudio fue que la instalación de los pozos y el inicio de los registros fueron llevados a cabo por otros estudiantes en su práctica profesional; por lo tanto, no se tiene registros continuos por el tiempo de duración, ya que se obtuvieron datos a finales de la estación lluviosa del 2019 e inicio de la estación seca del 2020; luego a inicios de estación lluviosa del 2021. Por otro lado, las fluctuaciones del nivel freático dependen de la recarga, que se producen por las precipitaciones y al tener límite de tiempo esta variable puede ser no predecible, por lo que se debería tener datos de diferentes años, tanto secos como lluviosos para obtener datos de las fluctuaciones representativas del nivel freático.

Otra limitación correspondió al terreno que se seleccionó para realizar el estudio, ya que es la única área propia y disponible con que cuenta la Facultad, sede de Panamá, para el desarrollo de investigaciones y que las lecturas fueron tomadas por diferentes estudiantes, aumentando así el porcentaje de error en la toma de las lecturas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 PRECIPITACIÓN

Se llama precipitación, a toda agua meteórica que cae en el área de la Tierra, puede ser de forma líquida, sólida y las precipitaciones ocultas. Estas son provocadas por las alteraciones de temperatura o presión. La precipitación establece la principal entrada en el ciclo hidrológico (Linsley, 1977).

(Chow, 1964) explica que para conocer el cálculo de la precipitación neta y determinar las abstracciones o pérdidas mediante el método de estimación del escurrimiento medio mediante la cantidad de precipitación y la retención máxima potencial (S.C.S), es necesario separar la precipitación en la escorrentía directa con el porcentaje de infiltración. La capacidad de infiltración del suelo va disminuyendo con el tiempo, por lo tanto, el exceso de precipitación muestra un comportamiento descendente, reflejando la disminución de la capacidad de infiltración en el suelo. Una visión más clara del método, es suponer que el suelo retiene una cierta cantidad de agua al principio de la lluvia, y después la infiltración disminuye, dado a la saturación del suelo, presentando así encharcamiento.

Figura N°5: Precipitación



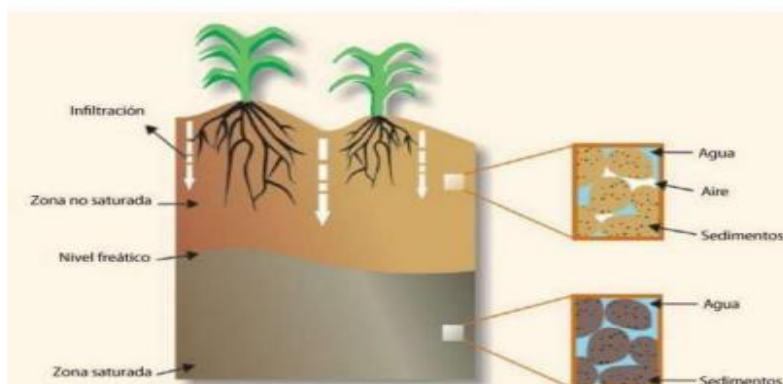
Fuente: USGS

2.2 RECARGA

La recarga de acuíferos forma parte del proceso hidrológico (se genera tras la infiltración y la escorrentía subterránea) cuyos procesos básicos son: evapotranspiración, precipitación, infiltración, percolación y generación de escorrentía. La recarga de acuíferos es la cantidad de agua que entra en la zona saturada y que comienza a formar parte de las reservas subterráneas. La entrada de agua puede deberse a la escorrentía subterránea o la infiltración del agua por otras causas como movimientos horizontales por las condiciones hidráulicas del suelo (Ministerio de Agricultura y Pesca, 2011).

En la figura N° 6 se observa cómo se encuentra distribuida el agua en el perfil del suelo, con la zona de infiltración, zona saturada y no saturada y el nivel freático. También, donde se pueden encontrar sedimentos y aire.

Figura N°6: Distribución del agua en el suelo



Fuente: <http://www.lneg.pt/download/3056/fig3.jpg>, 2017.

2.3 AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es considerada frecuentemente una fuente inagotable, pero recientemente las circunstancias indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. En el sureste, la contaminación es la mayor amenaza. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en la mayoría de las reservas de agua subterránea de la región. Podría ser muy costoso el remover algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta virtualmente inservible por varios debido a esta amenaza, es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se hace disponible para su uso y como las actividades humanas algunas veces ponen en peligro este recurso (Ordoñez, 2011).

De esta manera, el agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Estas están almacenadas en acuíferos, ubicados a diferentes niveles de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Se pueden encontrar aguas subterráneas en casi cualquier parte, trátase de zonas húmedas, áridas o semiáridas. El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación (Ordoñez, 2011).

Según el Reporte Mundial del Agua (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2021) el agua subterránea, es el agua del sub-suelo que se encuentra en la zona de saturación y que alimenta pozos, manantiales y escorrentía subterránea. La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, incluso más de 6.000 millones de seres humanos, está enfrentándose con una grave crisis de agua. La solución de la crisis del agua en sus numerosos aspectos, no es sino uno de los diversos retos con que

se enfrenta la humanidad, al confrontar la vida en este tercer milenio, y es necesario verla dentro de ese contexto. Se debe colocar dentro de un panorama general de solución de problemas y resolución de conflictos. Mas, entre todas las crisis sociales y de recursos naturales, con que se enfrentan los seres humanos hoy en día. La crisis del agua que se encuentra en el meollo, de nuestra supervivencia y la de nuestro planeta Tierra.

En la Tierra aproximadamente el tres por ciento del agua es dulce, de esta un 95 por ciento constituye aguas subterráneas; 3.5 por ciento corresponde a aguas superficiales y el 1.5 por ciento a la humedad acumulada en los suelos, por otra parte, de toda el agua dulce existente un 0.36 por ciento es disponible para el consumo. Toda agua que reside y recorre en el subsuelo, formando los acuíferos es parte del agua subterránea. El factor principal que contribuye a la formación de ella, es el agua de la lluvia por acción de la infiltración. Otro origen se puede dar por los ríos, arroyos, lagos y lagunas. Generalmente el agua subterránea se encuentra por debajo del nivel freático (Collazo & Montaña, 2012).

A nivel mundial, se le reconoce como un objetivo fundamental de las estrategias nacionales del agua, para el desarrollo sostenible y la gestión de recursos de agua. La sostenibilidad de las aguas subterráneas está estrechamente vinculada con una serie de micro y macro políticas, de las cuestiones que influyen en el agua y el uso de la tierra, y representa uno de los mayores desafíos en la gestión de los recursos naturales. La inversión en gestión y protección de la base de recursos, se ha descuidado gravemente, por lo tanto, se necesitan avances prácticos con urgencia, no hay una receta simple

para la acción, debido a la variabilidad inherente de los sistemas de aguas subterráneas, relacionados con situaciones socio-económicas.

2.4 ACUÍFEROS

Se denomina acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo extraerse en cantidades significativas mediante obras de captación (Ascencio H., 2017).

Las propiedades de los acuíferos, son imprescindibles para conocer la capacidad de almacenar y transmitir agua, y así poder establecer un modelo real de comportamiento del agua subterránea como la porosidad.

Porosidad: es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de la roca o suelo.

Porosidad efectiva: es la razón entre el volumen de agua efectivamente liberado y el volumen total de la misma (Ascencio H., 2017).

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACUÍFEROS:

Acuíferos colgados: Se presentan por debajo del nivel freático una o más capas de material de baja conductividad hidráulica, el agua que se infiltra es detenida por esta capa para formar una lente de agua la cual es generalmente de extensión limitada y se encuentra sobre la zona de saturación del acuífero principal.

Acuífero libre: La parte superior de la zona saturada (nivel freático) está a presión atmosférica, a cualquier profundidad por debajo del nivel freático, la presión es más

grande que la atmosférica y en cualquier punto arriba de este nivel la presión es menor que la atmosférica.

Acuífero confinado: El espesor efectivo del acuífero se encuentra entre dos capas de baja permeabilidad y en cualquier lugar la presión es mayor que la atmosférica. Si se perfora un pozo a través de la capa confinante superior, el agua ascenderá por el pozo hasta que la columna de agua sea lo suficientemente grande para contrarrestar la presión del acuífero.

Acuífero semiconfinado: Es una formación permeable saturada cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable y cuyo límite inferior puede ser una capa impermeable o semipermeable. En la capa superior se encuentra la tabla de agua cuya altura difiere a menudo a la carga piezométrica y el agua confinada en la capa permeable.

Acuífero semilibre: Es en realidad una formación casi semiconfinada en la cual la conductividad hidráulica de la capa semipermeable es tan grande que la componente horizontal de flujo de esta capa no puede ser despreciada. Este tipo de acuífero es una forma intermedia entre el tradicional acuífero semiconfinado y el acuífero libre (Ascencio H., 2017).

Figura N°7: Tipos de Acuíferos



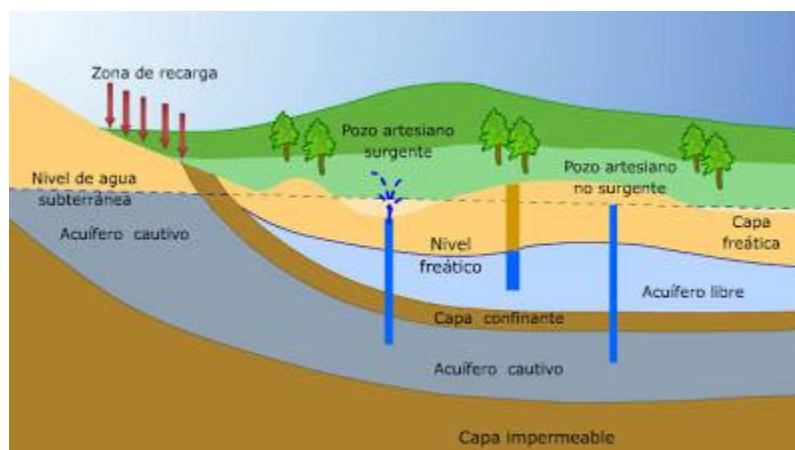
Fuente: http://aquabook.agua.gob.ar/407_0

2.5 NIVEL FREÁTICO

La capa freática o nivel freático es la primera capa de agua subterránea que se encuentra al realizar una perforación y la más susceptible a la contaminación antrópica, constituye la capa acuífera, está sometida solamente a la presión atmosférica y no tiene estrato confinante superior, la profundidad de este sustrato compacto varía con el medio geológico (Fresina, 2011).

En la Figura N°8 se representa el agua subterránea, el nivel freático y capa freática en un perfil de suelo. De igual manera, se puede observar donde se encuentra el área de recarga y los pozos que se construyen para realizar mediciones.

Figura N°8: Representación del nivel freático



Fuente: US Geological Survey

El nivel freático varía con el tiempo y de forma muy diversa, debido a causas naturales y antrópicas, el estudio de las fluctuaciones es fundamental para evaluar la recarga al acuífero y el almacenamiento subterráneo y consecuentemente planificar correctamente la explotación del agua, la medición del nivel freático se realiza mediante pozos de observación en un período de tiempo, lo que permite identificar períodos de ascensos y descensos de niveles y relacionar con la cantidad de precipitación, volúmenes de extracción de agua, entre otros (E., 2011).

2.6 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

Es la observación de las variaciones de niveles piezométricos en un cierto punto o pozos de observación, que proporciona información sobre procesos de recarga o descarga del acuífero y por consiguiente la evolución en el almacenamiento de agua en el acuífero. Las mediciones de las fluctuaciones que se presentan en los niveles de agua subterránea, producido por causas naturales o artificiales, se refiere a la piezometría en los acuíferos (Agua, 2007).

Las oscilaciones del nivel de agua subterránea en un área determinada pueden deberse a causas naturales como el régimen de precipitaciones, la variación de niveles de cuerpos de agua que estén en contacto con el acuífero, como así también por causas antrópicas como la extracción de agua por bombeo o recargas por inyección y están condicionadas por las características de las formaciones geológicas que alojan los acuíferos. Conocer las fluctuaciones de los niveles freáticos (NF), su tendencia histórica, los periodos de niveles máximos y mínimos, permite evaluar relaciones con eventos meteorológicos extremos, estimar la recarga al acuífero y consecuentemente el almacenamiento subterráneo, orientar el diseño de construcciones subterráneas e identificar zonas vulnerables a la contaminación de acuíferos, entre otros aspectos de entrada y salida al acuífero (Vazquez-Suñé E., 2010).

2.7 POZOS DE OBSERVACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO

Se requiere un programa de monitoreo con pozos de observación del nivel freático para conocer el comportamiento hidrográfico de los pozos, que tiene múltiples aplicaciones, entre las más importantes son estimar la disponibilidad del agua subterránea y su evolución, así como la operación y la sostenibilidad económica del recurso. Todo comienza con la medida de los niveles del agua subterránea a intervalos de tiempo en un periodo determinado. Por lo que se han establecido diferentes métodos, para el diseño de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea que faciliten utilizar los recursos económicos disponibles para resultados de manera efectiva (Briseño Ruiz. J., 2011).

Es importante para una gestión adecuada de los recursos hídricos con un enfoque de desarrollo sostenible, considerar la comprensión de la variabilidad espacial de la

precipitación y su escorrentía, que inciden en la posibilidad y porcentaje del volumen que puede ser infiltrado y llegar a ser una porción de la recarga de agua subterránea (Cai, 2016).

En la figura N°9 se observa un pozo instalado, como se encuentra en el perfil del suelo hasta llegar al acuífero.

Figura N°9: Pozo para la medición del nivel freático



Fuente: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/nivel-freatico-y-nivel-piezometrico/>

2.8 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la cuenca del Río Tapia. La cuenca del Río Tapia es de tamaño medio, que supera ligeramente los 74 kilómetros cuadrados. Se localiza justo ocupando la región central de la macrocuenca N° 144 (Río Juan Díaz y Pacora).

El Río Tapia nace en las faldas de Cerro Bandera, Altos de Pedregal. Su parte media recorre las áreas de San Joaquín, Las Mañanitas. La parte baja de la cuenca recorre Don Bosco, Caobos y Bello Horizonte. En su recorrido final se une con el río Tocumen y desemboca en la bahía de Panamá.

La altitud media de esta porción del territorio es de unos 100 metros sobre el nivel del mar con cotas mínimas al nivel del mar y alcanzando valores máximos de hasta 686 metros en los picos más elevados. Las pendientes promedio, por su parte, se mueven en valores en torno al 9 por ciento con máximos del 72 por ciento en las zonas de relieve más accidentado. Su principal afluente lo constituye el río Tapia, al cual recibe por su margen derecha en su curso bajo, próximo a la descarga en la Bahía de Panamá (Panamá, 2021).

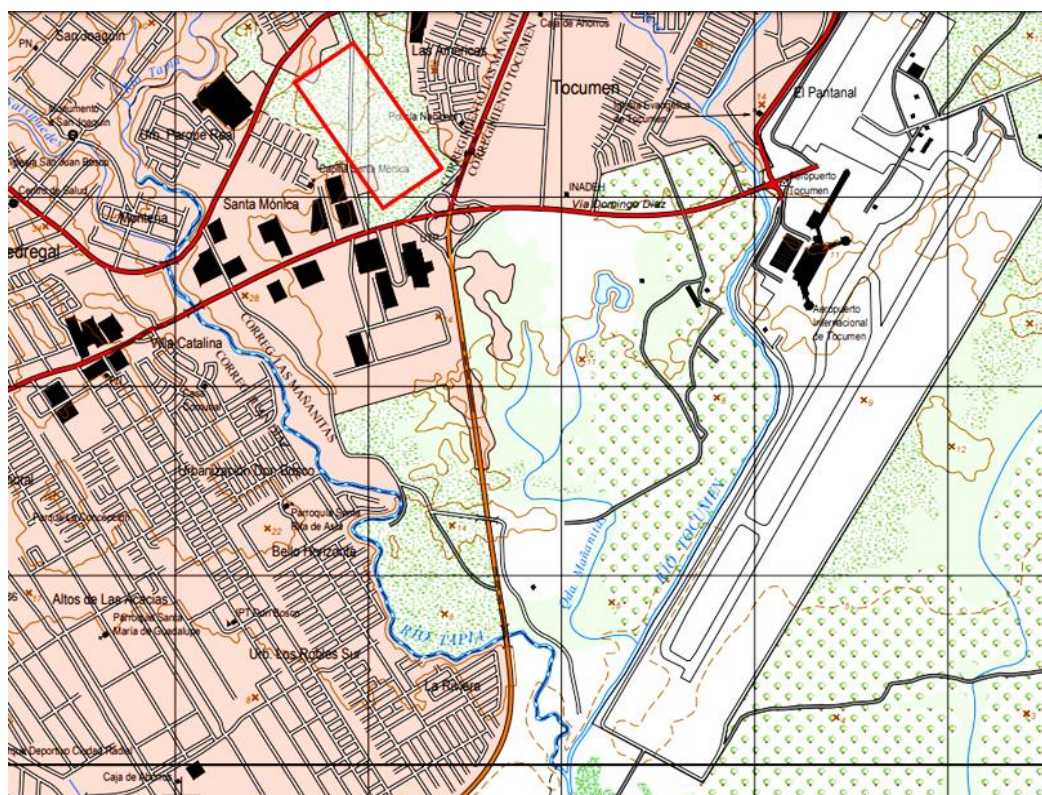
La superficie está caracterizada por cerros con pendientes entre 30 y 5 por ciento y las llanuras con pendiente de 10 a 30 por ciento. La elevación media de la cuenca es de 90 metros sobre el nivel del mar y el punto más alto se encuentra en la parte noreste de la cuenca a una elevación máxima de 80 metros sobre el nivel del mar, en el área ubicada entre Cerro Azul y Cerro Jefe (ANAM, Informe del Estado del Ambiente, 2009).

2.8.1 CLIMA

La cuenca del Río Tapia posee dos tipos de clima, templado tropical de sabana y tropical húmedo. La cuenca registra una precipitación media anual de 2499 milímetros. La vegetación está representada por tres comunidades ecológicas: área cubierta por bosques (bosque secundario poco intervenido y bosque secundario muy intervenido), área de rastrojo y humedales (manglares) (ANAM, Informe del Estado del Ambiente, 2009)

La figura N°10 muestra el mapa de la ubicación de la cuenca del Río Tapia y el polígono del área de estudio dentro de la cuenca.

Figura N°10: Mapa del área de estudio dentro de la cuenca del Río Tapia



Fuente: Instituto Geográfico Tommy Guardia

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en el corregimiento de Las Mañanita. Las Mañanitas está situado en la zona Este del distrito de Panamá, entre el corregimiento de Pedregal y el corregimiento de Tocumen. Abarca una superficie de 2.4 mil hectáreas.

3.1.1 LÍMITES

El corregimiento de Las Mañanitas limita al norte, con Río Caraño en el corregimiento de Tocumen, al sur con el Río Tapia en el corregimiento de Juan Díaz, con el Río Tocumen, carretera panamericana y corredor sur al este, y al oeste con el Río Tapia en el corregimiento de Juan Días, Pedregal y Las Cumbres.

3.1.2 CLIMA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El corregimiento de Las Mañanitas posee un clima tropical, al igual que las partes bajas de Panamá. Con una temperatura media de 29° Celcius.

El área de estudio comprende unos 34 826.64 metros cuadrados y el perímetro 928.32 metros. En la figura N°11 se observa el polígono del área que comprende los 4 pozos de observación.

Figura N°11: Delimitación del área de estudio



Fuente: Google Earth pro

3.1.3 VEGETACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La vegetación del área de estudio se encuentra predominada por herbazales y gramíneas, y otras especies de arbustos muy dispersos. En su mayoría presenta paja canalera y árboles de hoja ancha como el Guácimo (*Guazuma ulmifolia*), Guarumo (*Cecropia peltata*) y Balso (*Ochroma pyramidale*). En las siguientes figuras podemos observar que en el área de estudio predomina las especies herbáceas y gramíneas.

Figura 12: Vegetación del área de estudio





Fuente: Lau, 2021

En el Cuadro II se muestran las generalidades de los pozos de observación, como su ubicación geográfica, su profundidad y la cota del terreno para cada uno de ellos y su elevación.

CUADRO II: GENERALIDADES DE LOS POZOS DE OBSERVACIÓN

| Nombre | Ubicación geográfica | | | | Fecha de lecturas | Profundidad (m) | Cota del terreno (cm) | Elevación (msnm) |
|--------|----------------------|--------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------|------------------------|------------------|
| | UTM | | Grados Decimales | | | | | |
| | Norte | Este | Latitud | Longitud | | | | |
| Pozo 1 | 1001654 | 675089 | 9.058056 | -79.406977 | Agosto 2019- junio 2021 | 2.91 | 30 | 12.04 |
| Pozo 2 | 1001640 | 675180 | 9.057926 | -79.406150 | Agosto 2019- junio 2021 | 2.90 | 24 | 10.74 |
| Pozo 3 | 1001698 | 675092 | 9.058453 | -79.406948 | Agosto 2019- junio 2021 | 2.15 | 29 | 9.10 |
| Pozo 4 | 1001375.75 | 675204 | 9.055535 | -79.405940 | Octubre 2019- junio 2021 | 2.81 | 33 | 13 |

Elaboración propia

3.2 METODOLOGÍA

Se planteó un estudio no experimental, de cohorte longitudinal, con un enfoque cuantitativo y de nivel correlacional.

Instalación de los pozos de observación

Los pozos de observación del nivel freático fueron ubicados en sitios representativos de la geomorfología del área de estudio y sus patrones de drenaje e instalados como parte de la Práctica Profesional de los graduandos de la FCA George Fuentes y Demetrio Rodríguez. Luego de instalados se inició el monitoreo del nivel freático en los pozos por los estudiantes mencionados en el primer periodo y en el segundo periodo por Diego Sánchez en su Práctica Profesional de 250 horas.

Figura N°13: Instalación de los pozos



Fuente: Fuentes, 2019

La metodología consistió en realizar visitas de campo a los terrenos de la FCA, donde se encuentran los pozos de observación del nivel freático, para tomar las lecturas del agua subterránea al momento del monitoreo y las fluctuaciones del nivel freático en el tiempo, que corresponde a una de las variables de la investigación, principalmente a través de la estación lluviosa.

Recolección de los datos

Para llevar a cabo las mediciones se introdujo una cinta métrica en cada uno de los pozos estudiados. Con la cinta se marcó, en unidades de centímetros, a qué profundidad del suelo se encontraba el nivel freático.

Figura N°14: Pozo de observación



Fuente: Lau, 2021

Los datos de precipitación diaria se obtuvieron del registro de la estación Meteorológica de Tucumén operada por la Dirección de Hidrometeorología de ETESA.

Figura N°15: Toma de lectura



Fuente: Lau, 2021

Se recolectaron nueve lecturas para cada uno de los cuatro pozos estudiados, las cuales fueron añadidas a otras lecturas realizadas en años anteriores en la misma área de estudio. En total, las observaciones sumaron treinta y tres lecturas para los tres primeros pozos en instalarse y veintisiete lecturas para el último pozo instalado que corresponden a la estación lluviosa del año 2019, durante los meses de agosto, octubre, noviembre y diciembre; inicios de la estación seca del 2020, durante los meses de enero y febrero; y el inicio de la estación lluviosa del 2021, durante los meses de abril, mayo y junio.

Las visitas de campo para la toma de las lecturas se realizaron con relación a la precipitación registrada que se produjo días antes al día de medición.

Tratamiento de los datos

Una vez obtenidos los datos de la variable fluctuaciones de nivel freático, se trabajó una base de datos en el programa Microsoft Excel, donde se calcularon las fluctuaciones de cada uno de los pozos y se representaron en gráficas. También se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar el grado de asociación con la segunda variable del estudio que corresponde a la precipitación, con los criterios de decisión de correlación alta, moderada y baja.

La correlación se realizó tomando en cuenta los registros de lluvia el día que se realizó la toma de lecturas, así como también cinco días antes a la toma de las lecturas.

Corrección de las lecturas del nivel freático

Cada una de las lecturas fueron corregidas con la cota de cada pozo (longitud en centímetros de la estructura superficial de los pozos). Se realizó una operación de resta de las lecturas menos la cota individual de los pozos y de esa manera resultó la lectura corregida que representó el valor real del nivel freático de cada pozo.

También se realizó una operación de resta de la profundidad de cada pozo menos las lecturas corregidas del nivel freático y se obtuvo el nivel del agua en los pozos de observación.

Análisis de suelo

Se realizó un análisis granulométrico de muestras de suelo del área de estudio por el método del hidrómetro de Bouyoucos, el cual garantiza la completa dispersión de las partículas de arena, limo y arcilla. Este análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad de Panamá, sede de Panamá.

Figura N°16: Muestra de suelo



Fuente: Lau, 2021

Figura N°17: Muestra de suelo



Fuente: Lau, 2021

Figura N°18: Toma de muestra de suelo en campo



Fuente: Lau, 2021

Delimitación del área de estudio

Se realizó un polígono con la herramienta de Google Earth pro, para conocer el área y el perímetro que ocupan los pozos de observación.

Capacidad de respuesta de los pozos de observación ante la precipitación

Para conocer el tiempo (días) que tarda cada uno de los pozos de observación en registrar lecturas del nivel freático después de las precipitaciones registradas, se analizaron las cuatro últimas lecturas tomadas con sus respectivos datos de precipitación, del día en que se tomó la lectura y cinco días anterior al registro del nivel freático.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se caracteriza por presentar dos estratos de suelo bien diferenciados, uno superficial arcilloso con profundidad variable de cinco y 15 centímetros y un estrato subsuperficial de material grueso conocido como tosca, que corresponde a un horizonte de suelo calcáreo muy permeable que se presenta generalmente a profundidad variable y limita la cantidad de suelo útil, así como también, reduce la capacidad de almacenamiento de agua.

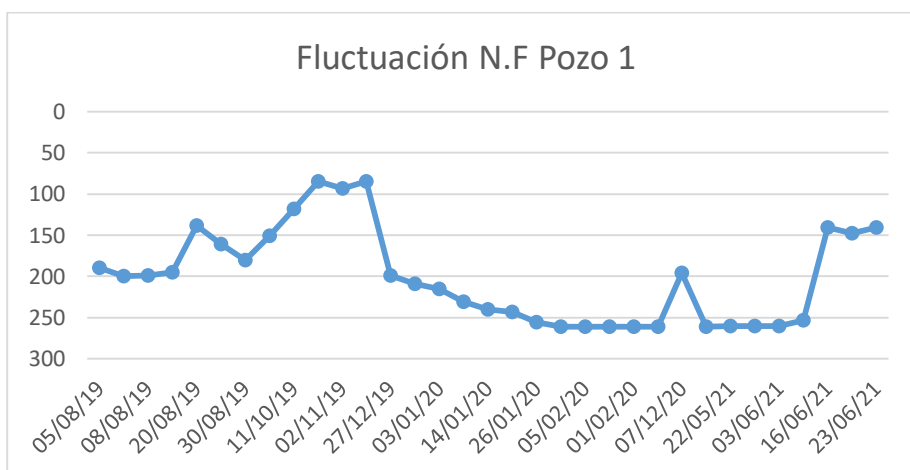
En la parte norte, donde se localizan los Pozos 1, 2 y 3 presenta un suelo con textura arcilloso de acuerdo con el Sistema Americano (U.S.D.A). Estos suelos se caracterizan por tener mal drenaje, presentando capacidad de retención de agua y formación de charcos. Por medio del método de Bouyocus, en el laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Panamá, sede Panamá se determinó que para este suelo los porcentajes de arena 37 por ciento, limo 21 por ciento y arcilla 42 por ciento. La tosca en esta parte del área de estudio se presentó a 15 centímetros de la superficie.

La parte sur del área de estudio, donde se encuentra el Pozo 4 presenta un suelo textura franco arcilloso. Estos suelos tienen características de consistencia friable a firme, retención de agua de media a alta, permeabilidad alta a mediamente moderada, aireación moderada a baja y drenaje generalmente moderado. La tosca para la parte sur del área de estudio se presentó a siete centímetros de la superficie.

El análisis granulométrico presentó un porcentaje de arcilla de 36 por ciento, de limo de 28 por ciento y de arena de 36 por ciento.

4.2 FLUCTUACIONES DEL NIVEL FREÁTICO

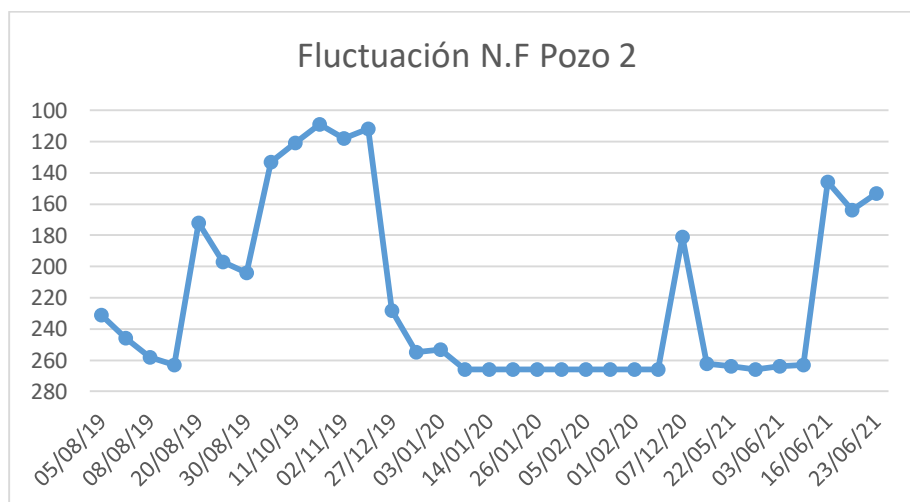
Figura N°19: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 1



Elaboración propia

En la figura N°19, correspondiente al Pozo 1, se observa que los meses en los que el nivel freático es más alto corresponde a octubre y noviembre de 2019 y junio del 2021. Por el contrario, en los meses de diciembre, enero y febrero el nivel freático se mantuvo más bajo en comparación a los demás meses. Este comportamiento bimodal se debe a que el área de estudio experimenta dos estaciones, la estación lluviosa de junio a noviembre y la seca de diciembre a abril.

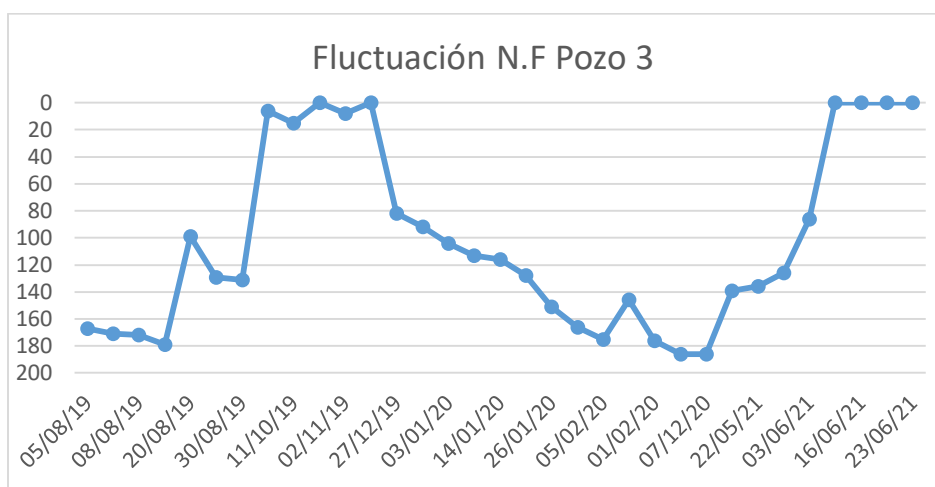
Figura N°20: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 2



Elaboración propia.

La figura N°20 muestra el comportamiento del nivel freático en el Pozo 2, donde podemos observar que en los meses de agosto, octubre y noviembre el nivel freático se comportó en incremento con valores de 189 centímetros, 112 centímetros y 109 centímetros, desciende en enero, febrero y diciembre de 2020 donde se presentaron valores de 266 centímetros y en mayo 264 centímetros. El nivel freático vuelve a incrementarse en el mes de junio de 2021 con valores de 164 centímetros, 153 centímetros y 146 centímetros.

Figura N°21: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 3



Elaboración propia

En la figura N°21, el nivel freático del Pozo 3 llega hasta la superficie del suelo en agosto, octubre y noviembre de 2019, desciende de diciembre a febrero, y se vuelve a comportar en incremento de abril a junio de 2021. Cabe destacar, que este pozo se encuentra en el punto más bajo del área de estudio y en la estación lluviosa se inunda.

En base a los datos observados, esta parte del terreno presenta problemas de drenaje, debido a su topografía, ya que el pozo 3 se encuentra ubicado en una depresión.

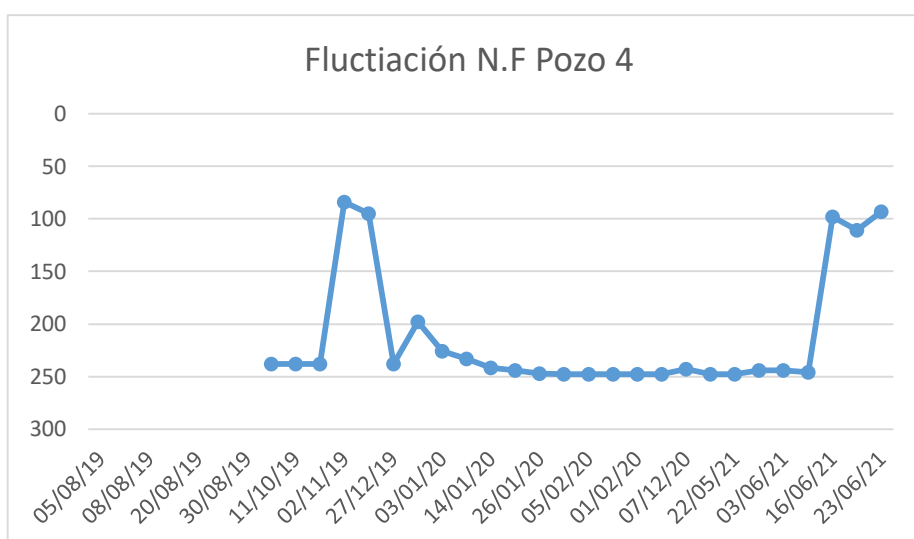
En la siguiente figura se observa el Pozo 3 cuando la lectura del nivel freático se registró hasta la superficie del suelo.

Figura N°22: Pozo 3



Fuente: Lau, 2021

Figura N°23: Gráfica de las Fluctuaciones del Nivel Freático en el Pozo 4



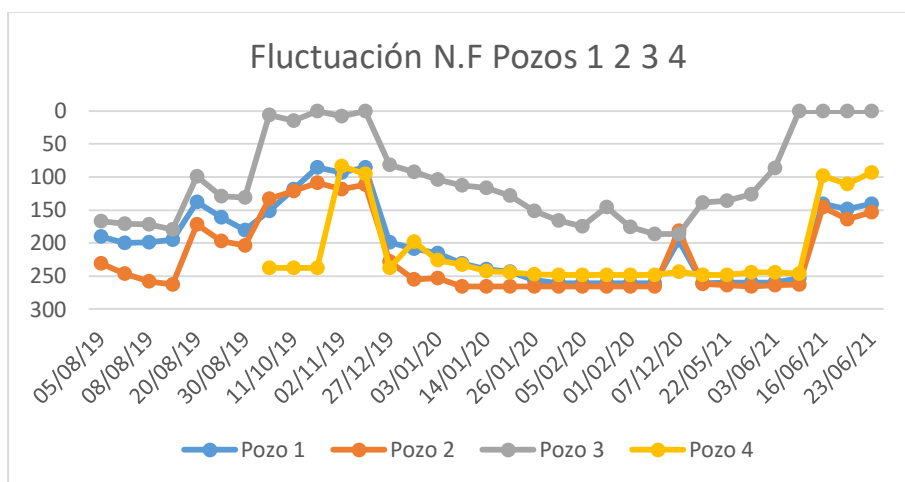
Elaboración propia

En la figura N°23, se observa las fluctuaciones del nivel freático del Pozo 4 y al igual que los demás pozos, el incremento del nivel freático se observó en agosto, octubre y noviembre, se mantuvo en descenso en enero, febrero y diciembre, y volvió a incrementar en junio en las últimas lecturas.

Las lecturas de este pozo iniciaron en octubre de 2019 debido a que el mismo fue el último pozo en instalarse.

Los valores más altos de fluctuación del nivel freático para el pozo 4 correspondieron a 11 centímetros, 85 centímetros, 93 centímetros y 95 centímetros; mientras los bajos se mantuvieron en el rango de 233 a 244 centímetros.

Figura N°24: Gráfica de las Fluctuaciones del nivel freático en todos los pozos

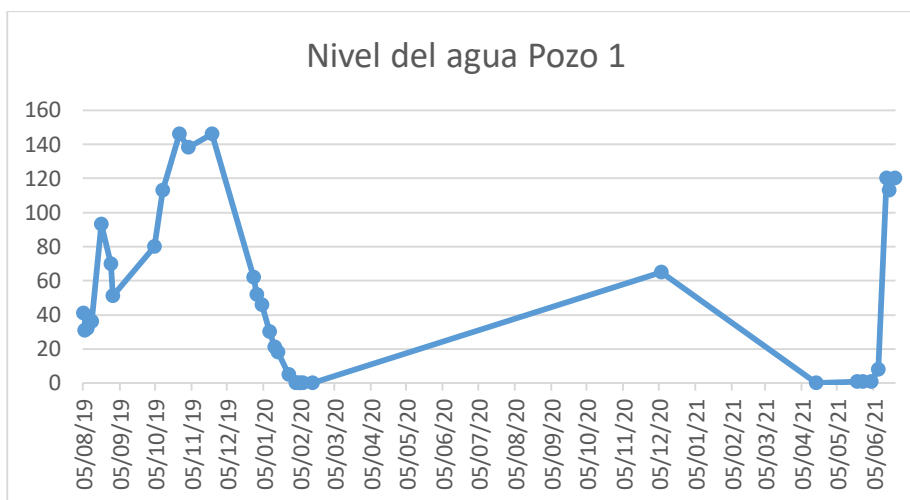


Elaboración propia

En la figura N°24, se observa el comportamiento del nivel freático en los cuatro pozos de observación, donde todos se comportan de manera similar. En agosto, octubre y noviembre de 2019 el nivel freático se comportó en incremento, descendió en diciembre, enero y febrero de 2020 manteniéndose bajo, hasta junio de 2021 volvió a comportarse en aumento. Como se puede observar, el Pozo 3 presentó los valores más altos y el Pozo 2 los valores más bajos de nivel freático.

4.3 NIVEL DEL AGUA EN LOS POZOS

Figura N°25: Gráfica del Nivel de agua en el Pozo 1



Elaboración propia

En el Pozo 1, cuya mayor profundidad mayor de nivel freático fue de 261 centímetros, se obtuvo que el mayor nivel de agua en el pozo fue de 146 centímetros en octubre de 2019; posteriormente, en los meses de diciembre, enero y febrero los valores disminuyeron hasta cero centímetros que representa que el pozo no registró agua, y respectivamente en mayo y junio el nivel del agua aumenta con valores desde ocho a 120 centímetros con respecto a la profundidad del pozo. El promedio del nivel de agua para el pozo 1 fue de 49.7 centímetros.

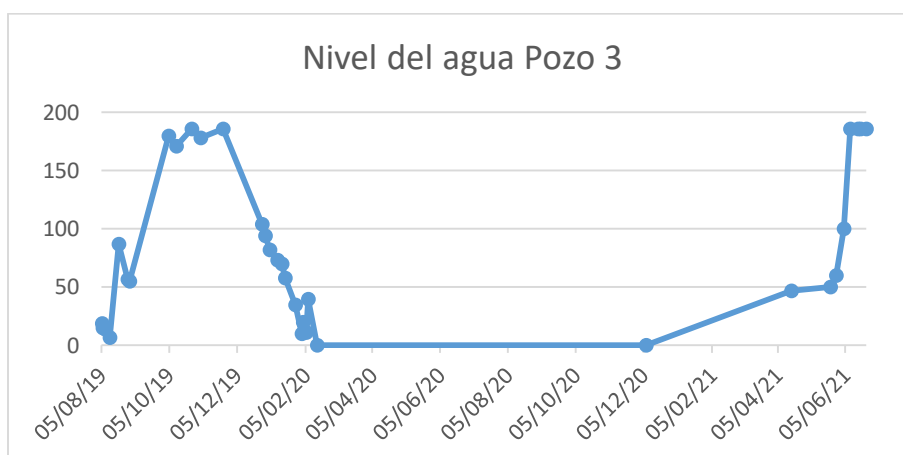
Figura N°26: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 2



Elaboración propia

El Pozo 2 registró su mayor nivel de agua de 157 centímetros de los 266 centímetros de profundidad del nivel freático. Este valor más alto de nivel de agua, al igual que el Pozo 1, se obtuvo en el mes octubre, manteniéndose el mes de noviembre con valores cercanos como: 133 centímetros, 145 centímetros, 154 centímetros y 148 centímetros. Se registró cero en los primeros meses del año 2020, al igual que marzo y abril de 2021. Nuevamente aumentó en mayo y junio con valores de cuatro centímetros, 102 centímetros, 120 centímetros y 113 centímetros. En promedio, el nivel del agua en el Pozo 2 está a 46 centímetros con respecto a su profundidad en la estación lluviosa.

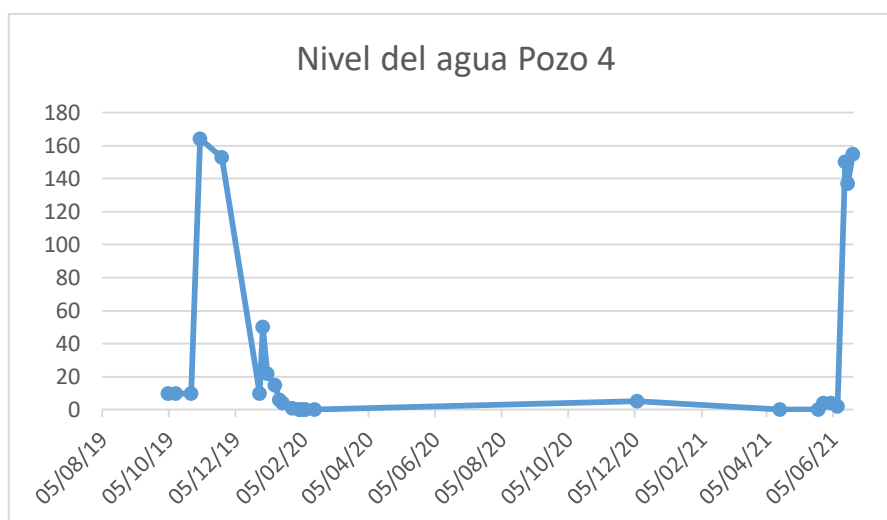
Figura N°27: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 3



Elaboración propia

Los valores más altos del nivel de agua se encontraron en mayo y junio de 2021 con 186 centímetros, 100 centímetros, 60 centímetros, 50 centímetros y 47 centímetros. El promedio para el Pozo 3 es de 83.4 centímetros de nivel de agua de los 186 centímetros de profundidad del nivel freático.

Figura N°28: Gráfica del Nivel del agua en el Pozo 4

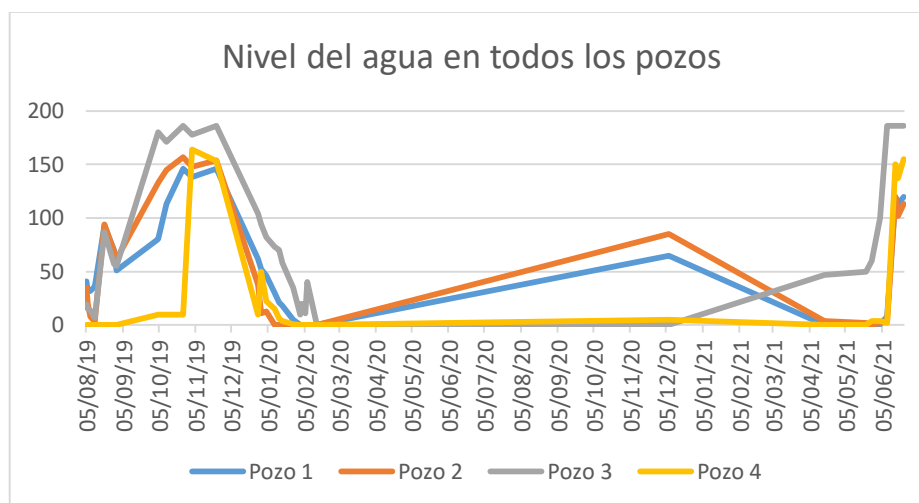


Elaboración propia

El Pozo 4 presentó valores altos de 164 centímetros, 150 centímetros, 137 centímetros y 155 centímetros y otros valores cercanos en octubre, noviembre, mayo y junio. Se registró cero en los primeros meses del año 2020 y su promedio de nivel de agua es de 35.1 centímetros.

La profundidad mayor del nivel freático en este pozo fue de 248 centímetros.

Figura N°29: Gráfica del Nivel del agua en todos los Pozos



Elaboración propia

La figura N°29 corresponde al comportamiento del nivel de agua en los cuatro pozos de observación, siendo el Pozo 3 el que presentó valores más altos de nivel de agua, ya que el mismo se posee la menor elevación del área de estudio y posee menor infiltración. Por el contrario, el Pozo 4 presentó los valores más bajos, ya que se encuentra ubicado en la parte más alta del terreno y también por a su cercanía con el cauce del río tapia que al interceptar los flujos de agua puede causar de manera natural el abatimiento del nivel freático, al presentar el material no consolidado conocido

| | | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|---|-----|----|---|---|----|----|
| 23/06/21 | 5.2 | 141 | 7 | 153 | 11 | 0 | 0 | 93 | 18 |
|----------|-----|-----|---|-----|----|---|---|----|----|

Elaboración propia

El Cuadro III corresponde al tiempo de respuesta de las lecturas para cada uno de los pozos en el periodo del 9 de junio de 2021 hasta el 23 de junio del mismo año.

Todos los pozos presentaron un tiempo de respuesta ante la precipitación de dos días en el periodo de tiempo establecido que corresponde al inicio de la estación lluviosa.

Empezando con el Pozo 1 el 16 junio de 2021, con precipitación de 7.1 milímetros para el día anterior y 109.9 mm dos días antes, el cual presentó un incremento de 112 centímetros del nivel freático, lo que representó un 44 por ciento, con respecto a la lectura anterior. Para la siguiente lectura el día 18 de junio de 2021, los dos días anterior registraron entre cero milímetros y 0.4 milímetros por lo que se representó en un descenso de menos siete centímetros del nivel freático lo que representa un cinco por ciento de la lectura anterior. Nuevamente se comportó en incremento de la lectura del día 23 de junio, con una precipitación de 33.5 milímetros dos días antes, el cual resultó con un incremento del cinco por ciento.

El Pozo 2 para en día 16 de junio del 2021 presentó un incremento de 44 por ciento, la siguiente lectura que se realizó el 18 de junio del 2021, el nivel freático descendió un 12 por ciento y para su última lectura ascendió un siete por ciento.

En cuanto al Pozo 3, este no registró cambios de respuesta ante la precipitación en el tiempo señalado, porque el mismo se encontraba de manera saturada de agua, por lo que al estar en esta condición no se pudo observar cambios.

El Pozo 4, presentó un incremento de 47 por ciento con respecto a la lectura anterior el 16 de junio de 2021 cuando se produjo una precipitación de 7.1 milímetros y 109.9 milímetros los dos días anteriores. Descendió el nivel freático en un 15 por ciento el 18 de junio y volvió a ascender en un 16 por ciento con respecto a lectura anterior el 23 de junio de 2021 que fue su última lectura realizada. Cabe destacar que este pozo es el que presentó una mayor capacidad de respuesta frente a la precipitación.

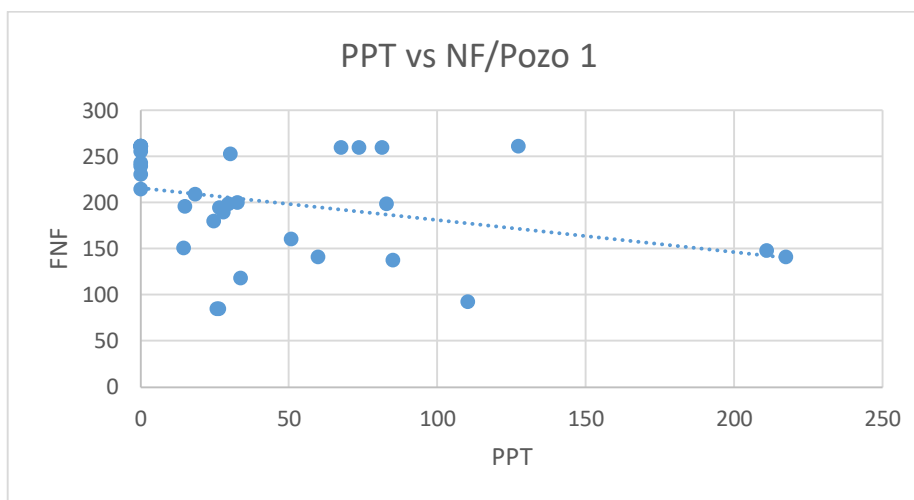
4.5 CORRELACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO Y LA PRECIPITACIÓN

CUADRO IV: COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA LOS POZOS DE OBSERVACIÓN

| POZO | R ² | |
|--------|----------------|-------------------------------|
| Pozo 1 | -0.337 | Baja |
| Pozo 2 | -0.375 | Baja |
| Pozo 3 | -0.464 | Baja próxima a moderada |
| Pozo 4 | -0.591 | Moderada |

Elaboración propia

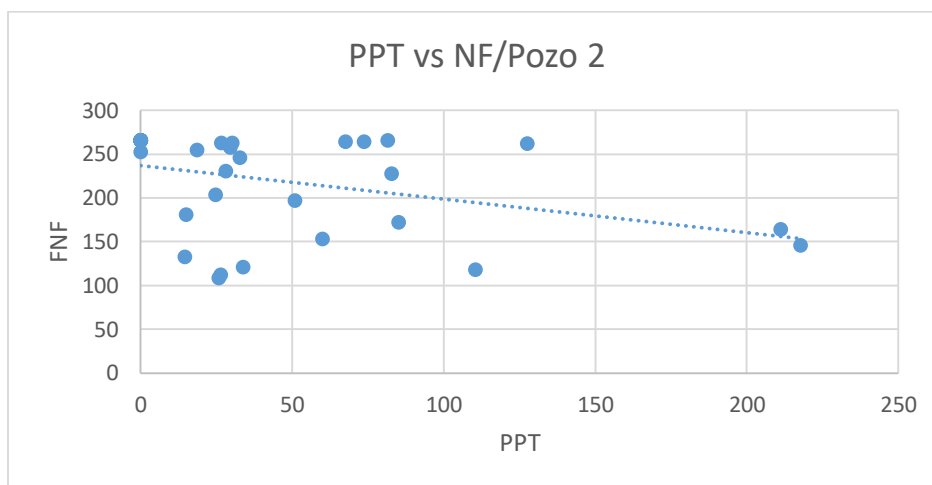
Figura N°30: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 1



Elaboración propia, con datos de Hidrometeorología ETESA

Iniciando con el Pozo 1, se observa que cuando la precipitación es cero milímetros, el nivel freático se mantuvo en valores de aproximados de 250 y 266 centímetros. A medida que se registra precipitación el nivel freático asciende acercándose hacia la superficie del suelo; sin embargo, esta reacción es más lenta en comparación con el resto de los pozos. De esta manera, se entiende que, aunque se cumpla la correlación inversamente proporcional, la misma es baja con un valor de -0.337 . Esto se puede deber a factores como la textura de suelo arcilloso que incrementa el tiempo de infiltración desde la superficie del suelo hasta el nivel freático.

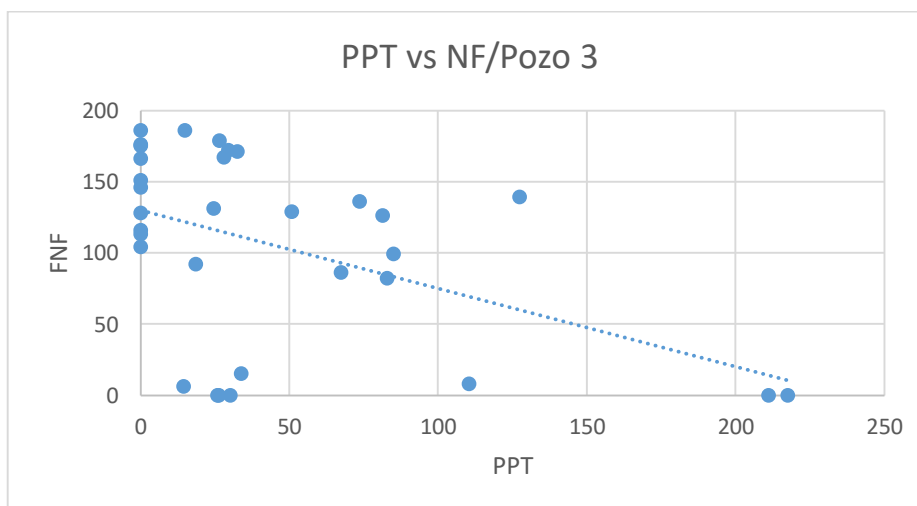
Figura N°31: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 2



Elaboración propia, con datos de Hidrometeorología ETESA

Un comportamiento similar se observa en el Pozo 2, que a pesar de que presentó una correlación más alta, con un valor de -0.375 , se sigue considerando baja. Cabe destacar que la ubicación de los Pozos 1 y 2 se encuentran muy próximas, por lo que aplica el factor de la textura arcillosa del suelo como influencia.

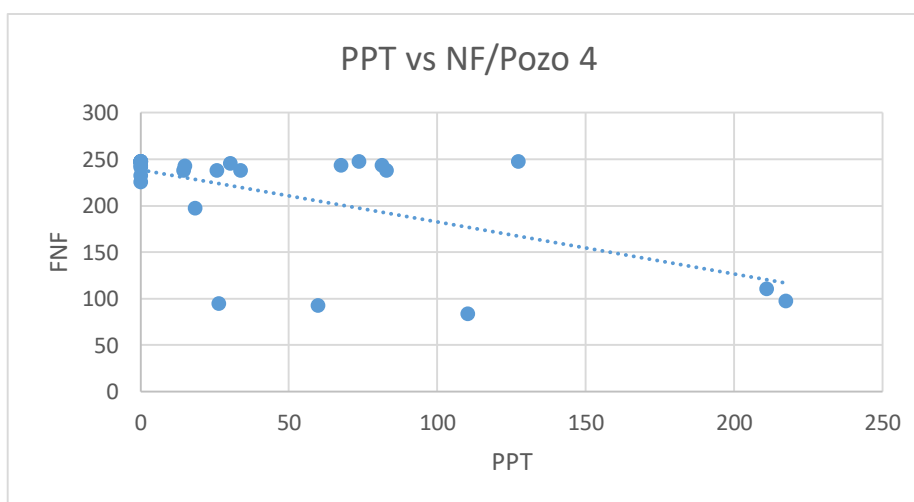
Figura N°32: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 3



Elaboración propia, con datos de Hidrometeorología ETESA

La línea de tendencia del Pozo 3 parte por debajo de la del resto de los pozos esto se debe a que este presentó los menores valores ya que se encuentra a menor elevación en comparación con el resto de los pozos, esta misma particularidad se evidencia en los días con mayor precipitación ya que este es el único pozo en donde se presentan valores en cero por inundación, lo que significa que es el pozo donde el nivel freático se elevó sobre la superficie. Con respecto a la correlación de este pozo, la cual presentó un valor de -0.464 , el cual se considera baja, pero muy próxima a moderada.

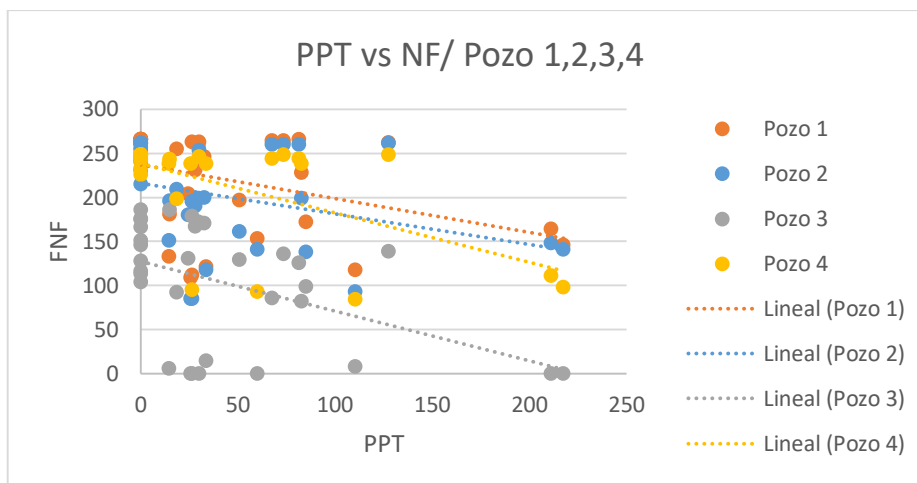
Figura N°33: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático del Pozo 4



Elaboración propia, con datos de Hidrometeorología ETESA

Por su parte, el Pozo 4, es el que presentó una mayor correlación con valor de -0.591 , que se considera moderada. Esto puede deberse a que el suelo donde se encuentra el Pozo 4 presentó tosca a siete centímetros de la superficie, mayor a la tosca que se presentó en los demás pozos, por lo que el agua al tener más espacio para recoger, tiene una mayor respuesta al momento en el que aumenta o disminuye a precipitación. De igual manera, su comportamiento es similar a los demás pozos cuando la precipitación registró cero milímetros.

Figura N°34: Gráfica de Correlación Precipitación vs Nivel Freático de todos los pozos de observación



Elaboración propia, con datos de Hidrometeorología ETESA

En la figura N°34 se observa de manera general que los 4 pozos de observación presentaron el mismo comportamiento, pero teniendo una variación en el tiempo de reacción del nivel freático con respecto a la precipitación.

5. CONCLUSIONES

- Existe una correlación inversamente proporcional el nivel freático y la precipitación del área de estudio.
- El pozo con mayor correlación de precipitación vs nivel freático corresponde al Pozo 4.
- El Pozo 3 posee una correlación moderada, y es el que presentó valores mayores de nivel freático y de nivel de agua.
- El tiempo de respuesta ante la precipitación del Pozo 4 fue mayor en comparación a los demás pozos, con respecto a la precipitación.
- La topografía de cada pozo influyó en el comportamiento del nivel freático.
- De acuerdo a los resultados, se puede entender que el área de estudio no presentó problemas de drenaje, solo en áreas con depresión como fue el caso del área donde se encuentra el Pozo 3.
- Las áreas con mayor tosca y cercanía al cauce del río Tapia presentaron rápido drenaje interno.

6. RECOMENDACIONES

- Continuar con el monitoreo y de los pozos de observación de manera continua para obtener información con suficientes datos de la zona.
- Crear más pozos de observación para tener una caracterización más precisa del área de estudio.
- Utilizar la información generada como insumo de futuras investigaciones del área de estudio.

7. REFERENCIAS CITADAS

- Agua, C. N. (2007). *Reactivación de Redes de Monitoreo Piezométrico y de calidad del Agua en los Acuíferos Villa García, El Salvador, Guadalupe y Garzarón.*
- Akther, H. M., Ahmed, & Rasheed, K. (2009). *Spatrat and temporal analyzis of groundwater level fluctuation in Dhaka City, Bangladesh.* (Vol. 2). Dhaka City, Bangladesh: Asian Journal of Earth Sciences.
- Alvarez, M. P. (2010). *Linking geomorphology and hydrodynamics: a case study from Península Valdés.* Patagonia, Argentina: Hydrogeology Journal.
- ANAM, A. N. (2009). *Informe del Estado del Ambiente.* Panamá.
- ANAM, A. N. (2010). *Situación Actual de la Gestión del Agua Subterránea en Panamá. Programa de Formación Iberoamericano en Materia de Aguas.* Panamá.
- Ascencio H., G. C. (2017). *Metodología para la Identificación y caracterización de acuíferos superficiales en un campo geotérmico de El Salvador.* Ciudad universitaria.
- Briseño Ruiz, J., H. S. (2011). *Método para el diseño óptimo de redes de monitoreo de los niveles del agua subterránea.* México: Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería Hidráulica .
- Cai, Z. (2016). *Analysis of groundater-level response to rainfall and recharge estimates in fractured hard rock aquifer .* Ireland: Nw Ireland journal of hydrology.
- Chow, V. (1964). *Hidrología aplicada.* New York: mcgraw-hill.
- Collazo, C. M., & Montaña, X. J. (2012). *Manual de agua subterránea.* Montevideo: Ministerio de ganadería agricultura y pesca dirección general de desarrollo rural.
- De Ridder, N. (1978). *Estudios del agua subsuperficial.* Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Dieleman, P. y. (1978). *Ensayos de drenaje. Estudios. FAO. Riego y Drenaje.* Italia.
- E., F. (2011). *Relaciones entre los niveles freáticos y variables hidro-meteorológicas en un área de llanura.*
- Europea, C. (2008). *Protección de las aguas subterráneas en Europa.* España.
- FAO. (2002). *Soil moisture and food security in tropical and subtropical agriculture.* Roma.

- Fresina, M. (2011). *Capa freática*.
- Gálvez, J. J. (2011). *Aguas subterráneas- acuíferos*. Lima-Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Herrera, J. A. (1994). *Fundamentación técnica de la propuesta de transformación de la técnica de riego y operación de los sistemas de riego y drenaje en la zona sur de la ECV "Nueva Paz"*. La Paz.
- Jacobus J. de Vries, I. S. (2002). *Groundwater recharge: an overview of processes and challenges*. Hydrogeology Journal.
- Linsley, R. K. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá, Colombia: mcgraw-hill latinoamericana, s.a.
- Mathias, S. B. (2005). *The significance of flow in the matrix of the Chalk unsaturated zone*. *Journal of Hydrology*.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, A. y. (2011). *Recarga el acuíferos*. España: Geoportal.
- Murray, R. (2009). *Artificial recharge, the intentional banking and treating of water in aquifers*. Republic of South Africa: Water affairs and forestry.
- NUNES, L. C. (2004). *Groundwater monitoring network optimization with redundancy reduction*. J. Water Resour. Plng. and Mgmt.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: ciclo hidrológico*. Perú: Foro peruano para el agua.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*.
- Panamá, A. d. (2021). *Plan estratégico del Distrito de Panamá*. Panamá.
- Pizarro, F. (1985). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid, España: Editorial Agrícola Española.
- Pool, D. R. (1995). *Measurements of Aquifer-Storage Change and Specific Yield Using Gravity Surveys*. Ground water.
- Programme., U. W. (2021). *Valorando el agua*.
- Risser, D. &. (2005). *Comparison of methods for estimating groundwater recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report.

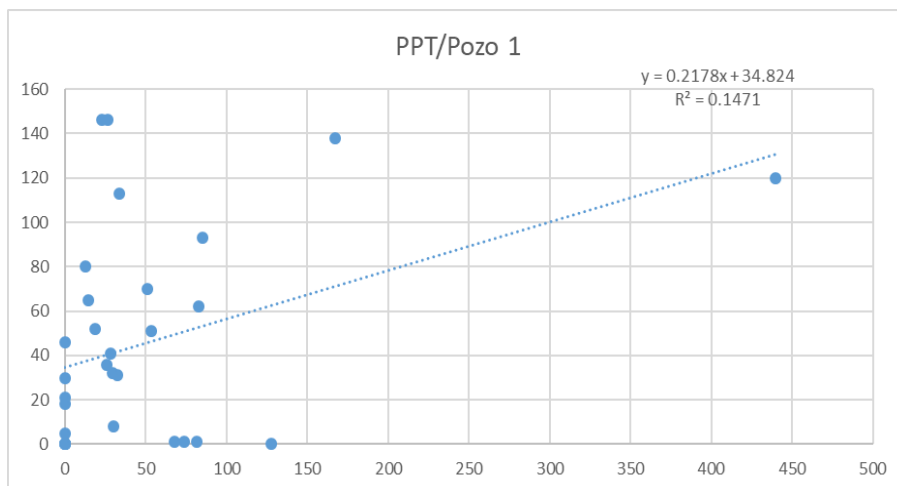
- RISSER, D., & GBUREK, W. a. (2005). *Comparison of methods for estimating groundwater recharge and base flow at a small watershed underlain by fractured bedrock in the eastern United States: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report* . United States.
- Sang-Ki Moon, N. C. (2004). *Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge* . Journal of Hydrology.
- SEMARNAT, S. d. (2008). *Compendio de estadísticas ambientales*. México D.F.
- Varni, M. R. (2013). *Aplicación de varias metodologías para estimar la recarga al acuífero pampeano, Argentina*. Buenos Aires: Tecnología y ciencias del agua.
- Vazquez-Suñé E., S. X. (2010). *Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, na emergin branch of hydrogeology*. Barcelona, Spain: Hydrogeology journal.
- Viessman, W. K. (Introduction to Hydrology). 1977. Toronto, Canadá.
- Weinzettel, P. U. (2002). *Groundwater and human development*. Mar de plata.
- World, I. A. (2013). *International Groundwater Resources Assessment Center*.

Anexo^o 2: Base de datos

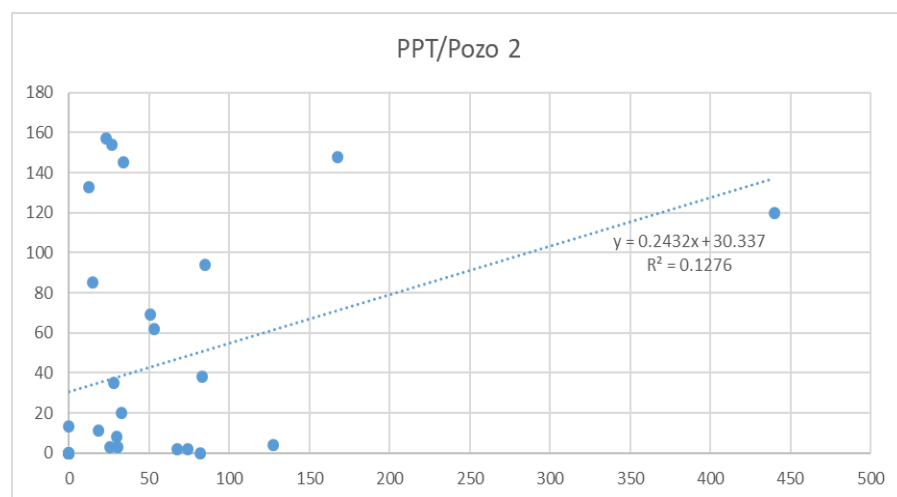
| Fecha | Pozo 1 (cm) | Cota (cm) | Lectura corregida (cm) | Pozo 2 | Cota | Lectura corregida | Pozo 3 | Cota | Lectura corregida | Pozo 4 | Cota | Lectura corregida |
|----------|-------------|-----------|------------------------|--------|------|-------------------|--------|------|-------------------|--------|------|-------------------|
| 05/08/19 | 250 | 30 | 220 | 255 | 24 | 231 | 196 | 29 | 167 | N/D | 33 | - |
| 06/08/19 | 260 | 30 | 230 | 270 | 24 | 246 | 200 | 29 | 171 | N/D | 33 | - |
| 08/08/19 | 259 | 30 | 229 | 282 | 24 | 258 | 201 | 29 | 172 | N/D | 33 | - |
| 12/08/19 | 255 | 30 | 225 | 287 | 24 | 263 | 208 | 29 | 179 | N/D | 33 | - |
| 20/08/19 | 198 | 30 | 168 | 196 | 24 | 172 | 128 | 29 | 99 | N/D | 33 | - |
| 28/08/19 | 221 | 30 | 191 | 221 | 24 | 197 | 158 | 29 | 129 | N/D | 33 | - |
| 30/08/19 | 240 | 30 | 210 | 228 | 24 | 204 | 160 | 29 | 131 | N/D | 33 | - |
| 04/10/19 | 211 | 30 | 181 | 157 | 24 | 133 | 35 | 29 | 6 | 271 | 33 | 238 |
| 11/10/19 | 178 | 30 | 148 | 145 | 24 | 121 | 44 | 29 | 15 | 271 | 33 | 238 |
| 25/10/19 | 145 | 30 | 115 | 133 | 24 | 109 | 29 | 29 | 0 | 271 | 33 | 238 |
| 02/11/19 | 153 | 30 | 123 | 142 | 24 | 118 | 37 | 29 | 8 | 117 | 33 | 84 |
| 22/11/19 | 145 | 30 | 115 | 136 | 24 | 112 | 29 | 29 | 0 | 128 | 33 | 95 |
| 27/12/19 | 229 | 30 | 199 | 252 | 24 | 228 | 111 | 29 | 82 | 271 | 33 | 238 |
| 30/12/19 | 239 | 30 | 209 | 279 | 24 | 255 | 121 | 29 | 92 | 231 | 33 | 198 |
| 03/01/20 | 245 | 30 | 215 | 277 | 24 | 253 | 133 | 29 | 104 | 259 | 33 | 226 |
| 10/01/20 | 261 | 30 | 231 | 290 | 24 | 266 | 142 | 29 | 113 | 266 | 33 | 233 |
| 14/01/20 | 270 | 30 | 240 | 290 | 24 | 266 | 145 | 29 | 116 | 275 | 33 | 242 |
| 17/01/20 | 273 | 30 | 243 | 290 | 24 | 266 | 157 | 29 | 128 | 277 | 33 | 244 |
| 26/01/20 | 286 | 30 | 256 | 290 | 24 | 266 | 180 | 29 | 151 | 280 | 33 | 247 |
| 02/02/20 | 291 | 30 | 261 | 290 | 24 | 266 | 195 | 29 | 166 | 281 | 33 | 248 |
| 05/02/20 | 291 | 30 | 261 | 290 | 24 | 266 | 204 | 29 | 175 | 281 | 33 | 248 |

ANEXO 5: Correlación Nivel de agua vs Precipitación

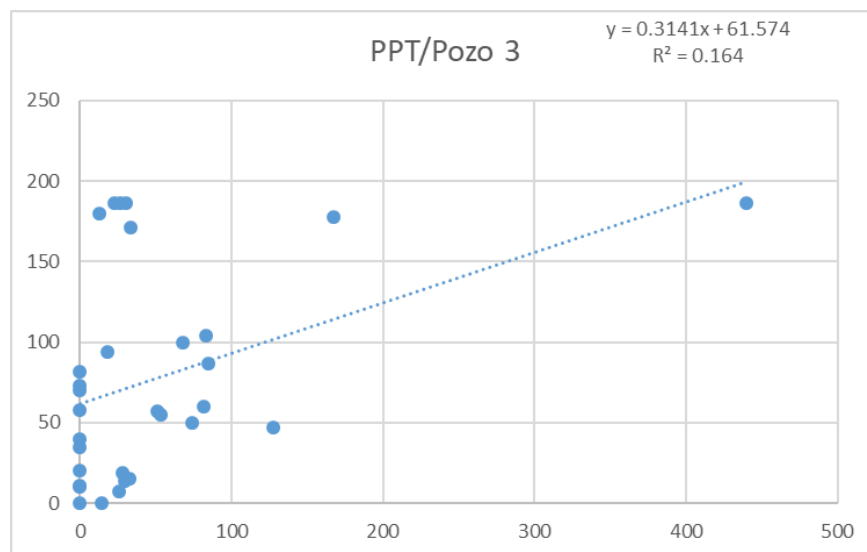
Gráfica 1: Nivel de aguas vs Ppt Pozo 1



Gráfica 2: Nivel de aguas vs Ppt Pozo 2



Gráfica 3: Nivel de aguas vs Ppt Pozo 3



Gráfica 4: Nivel de aguas vs Ppt Pozo 4

