

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Faculta de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



TESIS

**Variabilidad de la Napa Freática en la Cuenca Baja
del Río Huaura**

PRESENTADO POR:

ROMERO NIÑO DE GUZMAN JUAN PABLO

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

HUACHO – PERÚ

2019

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Faculta de Ingeniería Agraria, Idustrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Variabilidad de la Napa Freática en la Cuenca Baja del Río Huaura

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL

.....
Mg. José Miguel Montemayor Mantilla
PRESIDENTE

.....
Ing. Luis Miguel Chavez Barbery
SECRETARIO

.....
Ing. Segundo Rolando Alvites Vigo
VOCAL

.....
Mg. SC. Eroncio Mendoza Nieto
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por el toque mágico de la vida.

A mi madre Yolanda, por su esfuerzo y dedicación como pilar de la familia Romero Rengifo, gracias por su consejo y paciencia.

A mis tíos Paola y Anibal, por su paciencia y acompañamiento en esta etapa de mi vida.

A la comunidad en que vivo, por ser un motor y fuente de inspiración para ser un buen profesional y continuar en la lucha por un mundo mejor .

.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al Mg. SC. Eroncio Mendoza Nieto, que si bien no compartimos muchas horas en las aulas de estudio, nos conocimos en la lucha por la defensa de la educación universitaria, y en esta etapa de la realización de mi trabajo de Tesis, por su apoyo total y desinteresado.

A la Autoridad Nacional del Agua perteneciente al Ministerio de Agricultura y riego, por la información brindada para la realización del presente trabajo

Agradezco a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, mi casa de estudio, que con sus limitaciones y fortalezas, nos han albergado estos 5 años de estudios, a los docentes consecuentes que con sus conocimientos y experiencias, nos instruyeron para no ser solo profesionales, si no para ser ciudadanos de cambio en nuestra sociedad.

Agradecer a la comunidad que me acompañado estos años, ya sea familia, amigos y compañeros, la cual con sus consejos han generado los valores para mi formación profesional.

ÍNDICE

	<i>Pág.</i>
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema.....	7
1.3. Objetivos de la investigación.....	7
1.4. Justificación de la investigación.....	7
1.5. Delimitación del estudio.....	8
1.6. Viabilidad del estudio.....	9
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Bases teóricas.....	14
2.3. Definiciones conceptuales.....	24
2.4. Formulación de la hipótesis.....	26
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	27
3.1. Diseño metodológico.....	27
3.2. Muestra.....	28
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.....	28
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	28
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.....	29
CAPITULO IV. RESULTADOS.....	32
4.1. Precipitación en la zona de estudio.....	32

4.2. Identificación de sectores de estudio	32
4.3. Comparación de la precipitación con el nivel freático	32
4.4. Resultados del análisis de varianza	35
CAPITULO V. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1. Discusión	44
5.2. Conclusiones	46
5.3. Recomendaciones	47
CAPITULO VI. FUENTES DE INFORMACIÓN	49
6.1. Fuentes bibliográficas	49
6.2. Fuentes hemerográficas.....	49
6.3. Fuentes documentales	50
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1. Variación del nivel freático por distrito.....	6
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	27
Tabla 3. Programas de cómputo utilizados.....	30
Tabla 4. Valores de cuadrados medios de los parámetros trabajados en la Investigación.....	36
Tabla 5. Variación del nivel freático en sectores evaluados.....	37
Tabla 6. Valores promedios del nivel freático en las épocas evaluadas.....	38
Tabla 7. Valores promedios del nivel freático y su prueba Tukey.....	38
Tabla 8. Variación de la conductividad eléctrica en sectores evaluados.....	39
Tabla 9. Valores promedios de la C.E. en las dos épocas evaluadas.....	40
Tabla 10. Valores promedios de la conductividad eléctrica del agua freática y su prueba Tukey.....	41
Tabla 11. Valores promedios del pH en los sectores evaluados.....	42
Tabla 12. Valores promedios del pH en las dos épocas evaluadas.....	42
Tabla 13. Valores promedios del pH del agua freática y su prueba Tukey.....	43
Tabla 14. Matriz de consistencia - Variabilidad de la napa freatica en la cuenca baja del río Huaura.....	54
Tabla 15. Sectores de evaluación del nivel freático en función a la época del año.....	58
Tabla 16. Sectores de evaluación de la conductividad eléctrica en función a la época del año.....	59
Tabla 17. Sectores de evaluación del nivel freático en función a la época del año.....	60
Tabla 18. Valores del nivel freático realizadas en las campañas de monitoreo por la ANA.....	61

Tabla 19. Valores de C.E. obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA.....	63
Tabla 20. Valores de pH obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA.....	65
Tabla 21. Registro de medición de pozos usado por la ANA.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Escenario de estrés hídrico para el 2040.....	02
Figura 2. Promedio de variación mensual de precipitación en épocas del año.....	43
Figura 3. Identificación de sectores de estudio en la cuenca baja del río Huaura.....	44
Figura 17. Datos de precipitación del satélite TRMM_3B43 V7, en la parte alta de los .. sectores estudiados.	68
Figura 20. Inicio de zona de estudio, puente Sayan.....	81
Figura 21. Fin de zona de estudio, desembocadura del río Huaura	81
Figura 22. Preparando equipos para medición de parámetros de agua subterránea.....	82
Figura 23. Identificación de punto de monitoreo en el sector de Santa Rosa.	82
Figura 24. Medición de parámetros de agua subterránea.....	83
Figura 20. Inicio de zona de estudio, puente Sayan.....	70
Figura 21. Fin de zona de estudio, desembocadura del río Huaura	70
Figura 22. Preparación de equipos para monitoreo de agua subterránea	71
Figura 23. Identificación de punto de monitoreo en la zona de irrigación Santa Rosa...	71
Figura 24. Medición de parámetros de agua subterránea.....	72
Figura 25. Pozo de agua, zona de irrigación Santa Rosa	72
Figura 26. Zona costera de la cuenca baja del río Huaura	73

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la variabilidad de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura.

Método: Se evaluó los niveles freáticos para el periodo 2005-2017 en cinco sectores de monitoreo, siendo los pozos, puntos de muestreo para la obtención de datos del nivel freático, conductividad eléctrica y pH; los datos se ordenaron y procesaron empleando el diseño estadístico de bloques completo randomizado (DBCR). **Resultados:** Se encontró diferencias estadísticas para la precipitación entre épocas de avenida y estiaje, la napa freática se halló a mayor profundidad en el sector Parte baja del río (7.489 m) y menor profundidad es el sector Huacho (1.799 m), resultando para periodos de estiaje la napa freática presenta mayor profundidad que para la época de avenida (4.2828 y 3.7476 metros respectivamente). La C.E. del agua freática presenta para épocas de avenida mayores valores que para épocas de estiaje (0.8948 y 0.6988 mmhos/cm en promedio respectivamente), los valores de pH a nivel de sector de estudio presentan una pequeña diferencia estadística (7.626 avenida y 7.3816 estiaje). **Conclusiones:** Del presente estudio se a podido determinar que la napa freática se comporta estacionalmente, en periodos de avenida se encuentra mas superficial que en periodos de estiaje, con valores de pH en promedio neutro y baja salinidad.

Palabras: Napa freática, variabilidad, correlación, estacionalidad.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the variability of the water table in the lower basin of the Huaura River. **Method:** The groundwater levels for the period 2005-2017 were evaluated in five sectors of monitoring, being the wells, sampling points for the obtaining of data of the phreatic level, electrical conductivity and pH; the data were ordered and processed using the randomized complete block statistical design (DBCR). **Results:** Statistical differences were found for precipitation between avenue and low water seasons, the water table was found at greater depth in the sector Lower part of the river (7,489 m) and lower depth is the Huacho sector (1,799 m), resulting in periods of low water the water table presents greater depth than for the season of avenue (4.2828 and 3.7476 meters respectively). The C.E. of the water table presents higher values for seasons than for periods of low water (0.8948 and 0.6988 mmhos / cm on average, respectively), the pH values at the level of the study sector show a small statistical difference (7,626 avenue and 7,3381 drought). **Conclusions:** From the present study it was possible to determine that the water table behaves seasonally, in periods of flood it is more superficial than in periods of low water, with pH values in neutral and low salinity.

Keywords: Napa phreatic, variability, correlation, seasonality.

INTRODUCCIÓN

El agua elemento vital para la vida, cubre mas del 70 % del territorio de nuestro planeta, distribuida en mares, glaciares, ríos, lagunas, acuíferos, atmosfera, entre otros, crea un entorno fértil en los espacios que se encuentra; el ser humano necesita de la denominada agua dulce para su procesos biológicos y la mayoría de sus actividades para el desarrollo de sociedades, sin embargo esta agua dulce solo se encuentra en un pequeño porcentaje de 3% del agua en nuestro planeta, de las cuales en los últimos años el hombre ha venido aprovechándose sin una adecuada planificación, presentándose escenarios no favorables para el aprovechamiento de este recurso como lo presentado en la Figura 1.

Escenarios como los que viene sucediendo en nuestro Perú en la zona de Ica, en donde el hombre viene utilizando las fuentes de agua subterránea como alternativa de uso debido al agotamiento de las fuentes superficiales, producto de una inadecuada gestión en el uso de este recurso, el aumento de la población y eventos como el fenómeno del niño que se viene presentando con mayor frecuencia, nos hace repensar la importancia de una adecuada gestión de este recurso y de las investigaciones que deben de haber entorno a este recurso.

En el valle del río Huaura, los distritos costeros así como los nuevos áreas agrícolas, tienen como fuente el uso de agua subterránea, principalmente su uso debido a la abundancia, continuidad y calidad, sin embargo la sobreexplotación de este recurso y la actual variabilidad climática llevara a escenarios no muy favorables como los que se vienen dando en el valle de Ica, por lo que es necesario aumentar los esfuerzos en las investigaciones por parte de instituciones publicas y privadas, con el fin de poder priorizar medidas de protección a los acuíferos mas superficiales y tan vulnerables a la contaminación por parte del hombre, con miras a un adecuado uso de nuestro territorio o también llamado ordenamiento territorial.

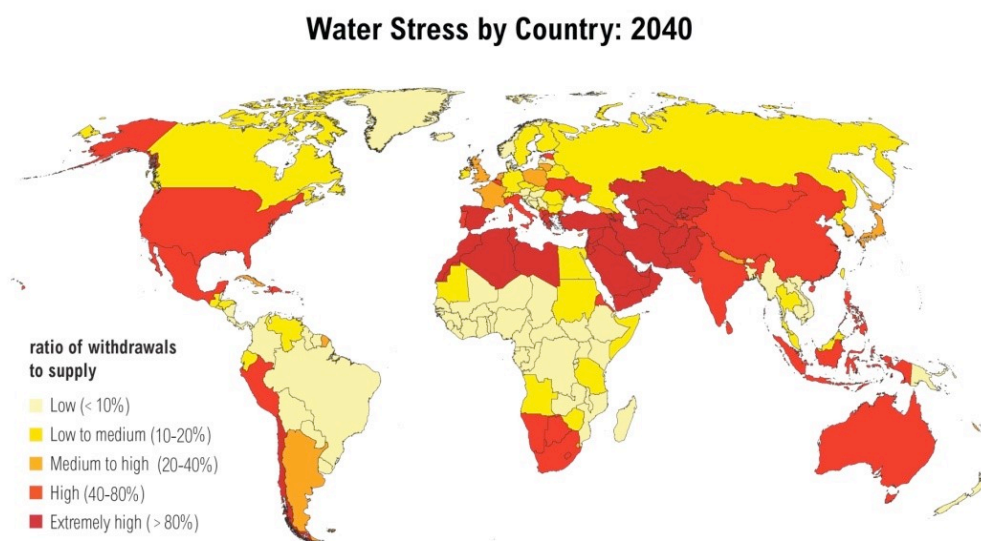


Figura 1. Escenario de estrés Hídrico para el 2040. Fuente: World Resources Institute.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las aguas subterráneas juegan un rol relevante, no solo porque forman parte del ciclo hidrogeológico, sino porque dan soporte a varias funciones y servicios ecológicos, función inapreciable en un futuro marcado por el cambio climático y el estrés hídrico, el potencial del Perú en materia de aguas subterráneas es enorme pues, debido a la tectónica de placas, en la cordillera de los Andes se ha formado uno de los mayores espesores del sial de la corteza terrestre; un sistema de pliegues, fracturas, espacios litológicos y sus conductos que constituyen, en conjunto, reservorios naturales, de capacidades gigantescas, para el almacenamiento de agua subterránea (Tovar, 2006).

En la vertiente del Pacífico de los Andes Centrales la mayor parte del agua que precipita en las alturas se debe infiltrar al subsuelo y no escurre por los ríos. “Debemos considerar que solo de 15 a 25% de las aguas de lluvia precipitadas en las tierras altas durante el verano escurren superficialmente. Un porcentaje desconocido se evapora y otro más desconocido aún se infiltra hacia el subsuelo y pasa a constituir los acuíferos subterráneos (Pavez, 2005).

Debido a estas condiciones geológicas, la siembra y cosecha de agua aún se practica en algunas partes de nuestro país, encontrándose la practica de amunas en Huarochiri, en los reservorios en puna húmeda de Ayacucho y la sierra de Arequipa, en las represas de infiltración de la cordillera negra en Ancash, en los micro-reservorios familiares de Cajamarca y en otras regiones del país. La cual infiltra el agua en zanjas, represas o reservorios contruidos en la cabecera de cuenca de los Andes, en zonas con rocas fisuradas, la cual sirve para acumular el recurso en depósitos subterráneos que serán utilizados en la parte baja del valle cuando aflore en los manantiales (Alencastre, 2009).

El dramático aumento de la población mundial (y la demanda asociada de agua y alimentos), durante los últimos 40 años el uso del agua subterránea se ha incrementado sustancialmente en el mundo; habiéndose estimado que durante 2010, 67% del agua subterránea mundial fue usada para irrigación; fomentando el desarrollo rural y la producción de alimentos (Bocanegra, 2010).

La evaluación de los recursos hidrogeológicos subterráneos en nuestro Perú son muy escasos, habiéndose efectuado algunos estudios en la región Costa en su mayoría, alguno de ellos en: Tumbes, Alto Piura-Huanacabamba, Motupe-Olmos-La Leche, Chancay-Lambayeque, Chicama, Moche-Viru-Chao, Santa-Lacramarca, Pucallpa, Nepeña-Casma Huarney, Chancay-Huaral, Mala-Omas-Cañete, Chincha-Pisco, Ica, Palpa-Nazca, Acari Yauca-Puquio y Tacna, algunos de estos estudios realizados por el IPEN son los siguientes:

- Hidrodinámica del acuífero de Lima, en donde se determinaron los tiempos de residencia de las aguas subterráneas y se delimitó las áreas de recarga provenientes de los Ríos Rímac y Chillón.
- Origen de aguas del Túnel Graton, lográndose determinar que parte importante de esta agua provienen de la cuenca alta del río Mantaro y que las aguas del Túnel no confluyen con el río Blanco.
- Evaluación de los tiempos de residencia y mecanismo de recarga del acuífero de Lima – sector río Chillón.
- Evaluación hidrológica del Altiplano Sur, evaluándose los tiempos de residencia de las aguas subterráneas y su interrelación con aguas de lagunas, ríos y lluvia de la zona, asimismo se desarrolló una primera hipótesis de la hidrodinámica de los acuíferos regionales Capillune y Maure.

- Estudio del Potencial geotérmico del Altiplano Sur, donde se determinó que las temperaturas de las aguas termales de la zona de Borateras son lo suficientemente altas para su explotación con fines energéticos.
- Estudio del origen de filtraciones de agua en túneles de conducción en la central hidroeléctrica Charcani-VI.
- Estudio de velocidad y dirección de flujo de aguas subterráneas en la presa Yuracmayo. Determinación de pérdidas en el túnel de aducción de la Central Hidroeléctrica Charcani V. Estudio del origen de aguas del manantial “Morro de Arica” en Cañete.

Del estudio del INGEMMET (2010), la cuenca del río Huaura esta dividida en tres sectores, estando comprendida la cuenca baja desde la desembocadura a Sayán (0 a 800 m.s.n.m) cuenca media, de Sayán a Churín (800 a 2000 m.s.n.m.), y cuenca alta desde Churín hasta la divisoría (entre los 2000 y 5000 m.s.n.m.).

En la cuenca baja del río Huaura, se observa un agresivo proceso urbanístico que forma parte de la expansión del área urbana, localizándose este proceso a lo largo de la nueva panamericana norte, estando condicionado en su organización por tres factores determinantes: el primero, la carretera panamericana, eje integrador norte-sur y corredor económico preponderantes en el espacio nacional. El segundo factor es el frente marino cuyo litoral da lugar a la existencia de un conjunto de puertos de gran significación para la actividad turística y extractivo- pesquera. El tercer factor de determinación del espacio es la existencia de los valles costeros de Huaura, en donde se desarrolla una gran parte de la agricultura del valle (MINAGRI, 2010).

La expansión urbana producto del crecimiento poblacional y de la inmigración al valle así como también el de la formación de nuevas fronteras agrícolas, genera un entorno vulnerable del medio ambiente, una de ellas el aprovechamiento del recurso hídrico para

abastecer a la población y a las nuevas fronteras agrícolas, generando un estado de sobreexplotación del agua subterránea (SUNASS, 2010).

Las aguas subterráneas se encuentran ligadas a las condiciones geomorfológicas de la cuenca, la naturaleza de la roca y condición estructural de las formaciones geológicas. La estratigrafía y la tectónica de la cuenca son importantes para la caracterización hidrogeológica, la determinación de las dimensiones y la geometría de los mantos acuíferos (Peña, 2001).

El acuífero de la cuenca baja del río Huaura se encuentra conformado principalmente por materiales de origen aluvial y eólico, características propias de los acuíferos de la costa peruana, el acuífero está constituido por materiales detríticos suelos de naturaleza variada (volcánica, intrusiva y sedimentaria) de granulometría variable y principalmente de origen fluvio-aluvial aunque hay clastos de origen marino en las zonas costeras (SUNASS, 2014).

La napa freática en la cuenca del río Huaura es libre y superficial, alimentándose de las aguas que se infiltran de las precipitaciones en la parte alta de la cuenca, las infiltraciones del lecho del río, los canales de riego no revestidos, y las área de cultivo bajo riego. En la Tabla 1 se presenta el rango de variación de profundidad del nivel freático que existen en los 04 distritos.

Tabla 1

Variación del nivel freático por distrito

Distrito	Nivel Freático (m)
Sayán	0.60 - 52.00
Vegueta	2.33 - 07.86
Huacho	3,24 - 10.20
Hualmay	1.98 - 17.49
Santa María	1.05 - 34.69
Huaura	3.15 - 24.54
Caleta de Carquín	0.86 - 05.39

Fuente: Elaborada con información del INRENA 2005

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ¿En que medida varía estacionalmente la napa freática en sectores de la cuenca baja del río Huaura?

1.2.2. Problema específicos

- ¿Cómo se relacionan la precipitación con el nivel freático en sectores de la cuenca baja del río Huaura?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la variación estacional de la napa freática en sectores de la cuenca baja del río Huaura.

1.3.2. Objetivo específicos

- Determinar la relación entre la precipitación y el nivel de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura.
- Establecer la variabilidad estacional de la conductividad eléctrica en sectores de la cuenca baja del río Huaura.
- Estimar la variabilidad estacional del pH en sectores de la cuenca baja del río Huaura

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El aumento de la población vienen generando que cada vez mayor demanda del recurso hídrico, a esto se suma la ocupación de terrenos con aptitud agrícola por terrenos urbanos y el cambio climático con los cambios en los patrones de las condiciones climáticas; estas condiciones actuales de nuestro entorno nos lleva a repensar escenarios futuros, en donde el actual modelo de desarrollo tiene un limite, los científicos del Panel Intergubernamental sobre cambio Climático han tomado como referencia el 2030 como

punto de no retorno en la que si no se toman y aplican políticas en las que el desarrollo sustentable sea una prioridad, habrán fuertes cambios en la configuración de nuestro entorno.

Con la presente investigación se pretende dar a conocer la dinámica de la napa freática en sectores de la cuenca baja del río Huaura, relacionando esta dinámica con la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Huaura, esta dinámica es importante estudiarla, ya que ante eventos de sequías o cambios de patrones climáticos se producirán efectos en los acuíferos, sin una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo escenarios como los que viene sucediendo en el valle de Ica, con eventos de escases hídrico serían los escenarios futuros.

Se justifica la presente investigación con el propósito de evaluar la situación actual de la principal fuente de recurso hídrico de consumo humano para los pobladores de los distritos costeros de la provincia de Huaura, siendo este estudio un precedente para evaluar futuros eventos, ya sean por origen del hombre o propios del cambio climático.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue trabajado con datos por periodos de evaluación desde el 2005 – 2017. El estudio abarcó la zona de la cuenca baja del río Huaura, estando comprendida la zona de estudio entre las coordenadas proyectadas UTM WGS 84 Zona 18 L, en el Puente Sayan 259922.2 m E y 8768274.8 m S a 650 msnm y en la desembocadura del río Huaura 212831.0 m E y 8773413.0 m S, a 0 msnm (Ver Anexo, Figura 18).

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

El presente estudio cuenta con el apoyo de instituciones como la Autoridad Nacional del Agua para los datos de monitoreo de agua subterránea, de herramientas brindadas por la NASA - Giovanni para el estudio de la precipitación en la cuenca con

ayuda del producto tipo TRMM 3B43 V7, siendo esta información vital para la viabilidad técnica temporal, los gastos económicos propios de la investigación y tramites en la universidad han sido cubiertos en su totalidad por el tesista.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes nacionales

Churra (2015), en su tesis de investigación de Pregrado “Evaluación del agua subterránea a través de pozos con fines de riego en la Comunidad de Quenapajja- Acora”. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Tiene como objetivo evaluar el comportamiento de los niveles del agua subterránea a través de pozos tubulares en la comunidad de Quenapajja, siendo la metodología de investigación el estudio de la morfología de la superficie freática de los acuíferos libres, evaluando la fluctuación del nivel freático en el tiempo y espacio (10 meses ,16 pozos),en donde las lecturas de las variaciones del nivel freático en función del tiempo registra el valor más profundo con 3.35 m en el pozo N° 07 en el mes de octubre del 2014 y el nivel más próximo a la superficie terrestre se registra en el pozo N° 16 con un valor de 1.00 m en el mes de febrero del 2015, siendo estas condiciones en el área de estudio una forma sencilla de estudiar las condiciones del agua subterránea, las cuales servirá para presentar en forma grafica mediante planos o mapas Isohypsas, mínimos niveles freáticos, hidrógrama de pozos, para su análisis.

Muñoz (2015), presento un articulo de investigación “El caso de la escasez de agua subterránea en Ica”. Revista de Ciencia Politica y Gobierno. 2(4), 115-138. Pontificia Universidad Católica del Perú. La cual evalúa la explotación de los acuíferos en el Valle de Ica. La metodología empleada para el presente estudio está basada en dos modelos teóricos la cual nos permite acercarnos a la comprensión del problema que representa la sobreexplotación de los acuíferos. Dichos modelos son “la tragedia de los recursos comunes” por Garret Hardin (1968). Y el “dilema del prisionero” Ostrom (2000). Estos

modelos teóricos permiten formular las causas del deterioro del acuífero en la cuenca del río Ica, junto con el acelerado proceso de concentración de tierras y fuentes de agua subterránea.

Evalúa la reserva explotable desde el 2009 al 2014, siendo esta reserva un promedio de 189 hm^3 /año, para el año 2009 y la explotación llegó según estimaciones del ANA (2012), a 335 hm^3 /año para el acuífero de Ica, para el año 2009 la ANA identificó en el Valle de Ica 867 pozos sin licencia y para el año 2014 los pozos sin licencia llegaron a 1242, evaluó también el descenso de la napa freática en 14 distritos del valle, para el año 2012 en el distrito de Pueblo Nuevo el descenso de la napa freática a llegado a un promedio de $1,84 \text{ m/año}$, siguiendo esta tendencia la vida útil de varios pozos en Ica será entre once y quince años a partir del 2012, si no se produce una recarga del acuífero o se regula la sobreexplotación.

Lujano, Felipe, Lujano y Quispe (2015), realizaron un estudio comparativo entre el satélite TRMM_3B43, en donde los valores obtenidos de precipitación total mensual de las estimaciones por satélite TRMM producto 3B43 considerados para el periodo enero 1998 a diciembre de 2013, indican un comportamiento similar al observado. El coeficiente de determinación espacial en la cuenca Ramis varía de 0.49 a 0.91, resultados similares fueron obtenidos por Lavado (2009). Li (2014). Mantas (2015). Al utilizar productos de satélite TRMM. Las estimaciones del algoritmo 3B43 del TRMM para la cuenca Ramis, muestran una baja calidad en la zona este de la cuenca donde se encuentran ubicados las estaciones meteorológicas de Crucero y Ananea, teniendo una mejor representación en el resto de la cuenca Ramis. Las estimaciones del TRMM, replican de manera eficiente los valores observados de las estaciones Progreso, Chuquibambilla, Muñani, Pucara, Arapa, Ayaviri, Azángaro, Llally, Lampa, Pampahuta, Huancané, Putina, Taraco y Muñani con

indicadores estadísticos R comprendidos entre 0.65 y 0.91, considerados como «satisfactorios» y «buenos» . (Andersen, 2001).

Carita (2017), presento la tesis de pregrado denominada “Variabilidad Espacio-Temporal de la Calidad del Agua Subterránea en el Valle de Lurín”. Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú. Siendo el objetivo general evaluar la variabilidad en el espacio y el tiempo de la calidad del agua subterránea con fines de uso domestico y de riego en el valle de Lurín, determinó la variabilidad en el espacio y el tiempo de la calidad del agua subterránea con fines de uso domestico y de riego en el valle de Lurín, a partir de la información hidrogeoquímica que recopiló SEDAPAL, Autoridad Nacional del Agua, y la Universidad Nacional Agraria la Molina, en el período 2001-2013, la metodología empleada para la presente investigación esta en base a los datos iniciales de la información hidrogeoquímica de las cuales se generaron mapas bajo el método de interpolación Krigging, luego se extrajo la información puntual requerida con ayuda de un script desarrollado con el software R, y se realizaron análisis con gráficas Box-plop de los parámetros hidrogeoquímicos, auto correlación de los parámetros hidrogeoquímicos, análisis de conglomerados Jerárquicos, análisis de conglomerados principales, análisis de componentes principales (ACP), variabilidad espacial de la calidad del agua subterránea. Estudio que se realizó en dos época, húmeda y seca, se determinó grandes variaciones temporales de acuerdo al análisis de los Box-plot de los parámetros hidrogeoquímicos, los resultados del estudio arrojan valores de pH los cuales varían de 5.80 a 8.75, cuyo alto valor fue en el 2010, indicando que la naturaleza del agua subterránea es ligeramente ácida a alcalina. Para el caso de la conductividad eléctrica los valores oscilaron de 0.30 a 4.00 dS/m, registrándose altos valores en el 2005, cuya agua es de baja mineralización a ligeramente mineralizada.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Lizárraga (2003), en su tesis de Postgrado titulada “Análisis y Evaluación del Agua Subterránea del Área del Tiradero Municipal y la Petaca, Linares, N. L., México”. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. La cual tiene como objetivo principal de la investigación, identificar la existencia de elementos o compuestos en el agua subterránea, que sobrepasen los límites establecidos por las normas de calidad del agua en el área de estudio. Realizó un estudio hidrogeológico comprendió la evaluación de los recursos del agua subterránea, su comportamiento hidrodinámico y su disponibilidad para cubrir necesidades de una población, Un estudio Hidrogeoquímico, la cual comprendió tres etapas, la primera el muestreo y análisis de los parámetros, el segundo fue un monitoreo mensual y la última etapa consistió en la evaluación de las condiciones de la calidad del agua con los LMP de la normativa Mexicana, luego con los datos de estas etapas se procedió a realizar un análisis de varianza convencional y análisis multivariados.

De los resultados del estudio, se observa una tendencia de recarga en el nivel piezométrico a través del tiempo, por lo que puede suponerse que uno de los factores al parecer relacionados con esta tendencia es la precipitación, ya que mientras en los meses de febrero y marzo se presenta escasa pluviometría, son los meses de julio, agosto y septiembre cuando existe mayor precipitación y el nivel piezométrico tuvo un ascenso en sus niveles. Por otra parte, se observa la marcada predominancia de la evaporación sobre la precipitación y los ascensos y descensos de esta última. Sin embargo, aún cuando es notable que la recarga del agua subterránea por medio de la precipitación no se produce rápidamente, sino que el tiempo y cantidad de infiltración dependen de la permeabilidad de la zona no saturada, su espesor, el tipo de uso de suelo, entre otros factores, puede deducirse la influencia que ejercen las precipitaciones sobre el nivel del agua subterránea, aún cuando no se infiltre al 100%.

Imelda (2012), en su estudio de Post grado titulado “Evaluación del Descenso del Nivel Freático en la Parte Norte del Acuífero Metropolitano en el Valle de Guatemala. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. El objetivo general de la investigación determinó el nivel freático, en los treinta y dos pozos en estudios ubicados en el acuífero metropolitano, sus variaciones espaciales como temporales para estimar las tasas de descenso y de extracción, identificar el pozo crítico en cada uno de los cuatro sectores y conocer el límite de tiempo para su aprovechamiento, la metodología empleada consistió en la evaluación de las características y el comportamiento hidrogeológico de los 32 pozos, que conforman los cuatro sectores conocidos como: Lavarreda-Rodeo, Vista Hermosa, canalitos y Norte, asimismo la caracterización climática, geológica, morfológica, geofísica, hidrográfica, hidrológica e hidrogeológica para las subcuencas, siendo el método para evaluar el nivel freático el de sondeo eléctrico.

Luego se presentó dos análisis, el primero analizó el comportamiento de los niveles freáticos y caudal extraído con ayuda de graficas, el segundo se ilustró las fluctuaciones de los pozos críticos para el periodo 1998-2011. Estimando el potencial hídrico finaliza aproximadamente en el año 2020 y las tasa de extracción superan el metro de descenso anual, siendo la velocidad de descenso en promedio para el nivel freático de los sectores es: Lavarreda-Rodeo 8 m/año, Vista Hermosa y Canalitos 11 m/año, para Norte 7 m/año, para los cuatro sectores es un promedio de 9 m/año.

Portocarrero (2011), presento la tesis de investigación de Postgrado titulada “Interacción Agua superficial-Acuifero Libre y el Contenido de Nutrientes en la Cuenca del Arroyo El Tejar, Departamentos Monteros, Provincia de Tucumán”. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. El objetivo general del trabajo de investigación, fue evaluar la interacción del flujo, hidrológico y de los compuestos nitrogenados, entre el arroyo El Tejar y el acuífero libre, los objetivos específicos fueron implementar y

desarrollar el conocimiento de enfoques, metodologías y técnicas disponibles, en el estudio de la interacción entre los ambientes hídricos superficiales y subterráneos, el segundo objetivo específico es lograr un primer modelo de la interacción entre el cauce superficial y el acuífero libre, en la cuenca del arroyo El Tejar, departamento Monteros, Tucumán, en base a datos tomados durante Noviembre 2008 – Mayo 2009.

La metodología empleada en este trabajo sigue el concepto de paisaje hidrológico (Winter, 2001). El cual estudia la interacción entre el acuífero libre y el cuerpo superficial, en un perfil transversal de la cuenca media del arroyo El Tejar durante Noviembre 2008 - Mayo 2009, realizan un balance hídrico (precipitaciones y evapotranspiración potencial) del ciclo en estudio (Julio 2008 - Junio 2009), establecieron una relación entre las precipitaciones y el nivel estático del acuífero libre y la interacción del acuífero libre con el cauce superficial, los datos obtenidos se analizaron a través de estadística descriptiva, análisis de correlación, regresión lineal y multivariadas (análisis de componentes principales). Dando como resultado variaciones del nivel del acuífero libre en donde: un primer ciclo de recarga y descarga, cuya recarga se registró en los primeros días de Noviembre, un segundo ciclo de recarga y descarga, cuyo ascenso se observó a mediados de Diciembre y un tercer ciclo de recarga y descarga, de mayor magnitud que los anteriores, cuya recarga inició a mediados de Febrero hasta mediados de Marzo.

2.2. BASES TEÓRICAS

Acuíferos. Se entiende por acuífero a toda formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea a través de ella, pudiendo aprovecharse en cantidades importantes mediante obras de captación, no todas las formaciones geológicas tienen el potencial de almacenar y transmitir agua, encontrándose formaciones que pudiendo contener agua no la transmiten en condiciones naturales y por lo tanto no es posible aprovecharlas, son los denominados acuícludos (Collazo, 2012).

Las aguas que precipitan en un espacio geográfico, no todas van a tener como destino al mar, ni se evaporan. Parte de ellas quedan confinados en puntos bajos que no tienen salida, las cuencas endorreicas, o en cuencas cuya salida es mucho menor que el caudal de ingreso, o se acumulan bajo el suelo en los acuíferos. En estos dos modelos generales encontramos, según sus características, diferentes tipos:

- Acuicluda: formación geológica que almacena volúmenes agua que se mueve con dificultad a través de ella (por ejemplo, limo, arcilla).
- Acuitardo: formación geológica que almacena agua que prácticamente permanece inmóvil (por ejemplo, rocas compactas).
- Acuífugo: formación geológica que no tiene la propiedad de almacenar agua o no es permeable (por ejemplo, granito inalterado) (Collazo, 2012).

Agua subterránea o agua freática. El agua subterránea fue considerada hasta hace algunos una fuente inagotable, pero recientemente debido a la presión del hombre y otros acontecimientos, indican que el agua subterránea es muy vulnerable a la contaminación y a su desaparición. En algunas partes del mundo, la contaminación es la mayor amenaza. Se han encontrado contaminantes que amenazan a la salud de las personas en algunas reservas de agua subterránea. Podría ser económicamente no viable el remover algunos de estos contaminantes, por lo cual el agua resulta virtualmente inservible debido a esta amenaza, por ello es importante entender el proceso mediante el cual el agua subterránea se encuentra disponible para su uso y como las el hombre la viene poniendo en peligro este recurso (Montaño, 2012).

El agua subterránea se desplaza a través de los materiales porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría estas agua tienen como destino los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora. Por ello, el agua

subterránea representa una fracción importante de la masa de agua dulce presente en cada momento en los continentes. Siendo almacenadas en acuíferos, ubicados a varios 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 de nuestro planeta, trátase de zonas húmedas, áridas o semiáridas. El agua del subsuelo es un recurso muy importante, pero de difícil de gestionar, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación (Ordoñez, 2011).

Cuenca. La cuenca es una unidad natural hidrológica y geofísica, con límites definidos, la cual facilita la planificación y el aprovechamiento de sus recursos. Los límites de la cuenca dependen de su topografía y están determinados por la línea divisoria de aguas. Siendo posible efectuar un balance del ciclo hidrológico, aproximando una cantidad de el recurso hídrico disponible. De igual modo, las cuencas hidrográficas facilitan la idea del efecto negativo del hombre sobre su entorno, evidenciándolas en la contaminación y en la calidad del agua que se desplaza por la cuenca, quedando claro, por cierto, que el agua es el recurso integrador y el producto resultante de la cuenca (CEPES, 2012).

Arreola y Muñoz (2002). Las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal ya que implica la relación directa entre las partes altas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y/o desembocadura, de tal manera que la parte alta afecta de forma directa a la parte baja.

Cuenca hidrográfica. Se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común. En la cuenca hidrográfica, se identifican por lo general tres sectores: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden obstruir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de los recursos (Llerena, 2003).

Clima y estado del tiempo. Se entiende por estado del tiempo al estado de la atmósfera en un instante dado, definido por diferentes elementos meteorológicos. (UNESCO y WMO, 2012).

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2011): “en sentido estricto, se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados.” El clima puede entenderse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad principales de elementos pertinentes, como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos, tales como tipos y fenómenos meteorológicos, que son propios de un lugar o región, o del mundo en su conjunto, durante cualquier período de tiempo.” El clima, en un sentido más amplio, es el estado, incluyendo una descripción estadística, del sistema climático, el cual se puede entender como un sistema de alta complejidad compuesto por 5 grandes componentes: la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la litósfera y la biósfera, y las interacciones entre ellos (IPCC 2013).

Conductividad eléctrica. Es la medida de la capacidad que tiene un cuerpo o material para conducir la corriente eléctrica. En el suelo se encuentra estrechamente ligado a la concentración de sales solubles en él, siendo su unidad el mho cm^{-1} , que es la unidad de la conductancia. En las aguas subterráneas su medición se realiza directamente, tomando una muestra de agua del punto de monitoreo y con ayuda de sensores o test de muestreo se puede analizar insitu la conductividad eléctrica.

Napa freática. Se entiende como la superficie que limita las zonas de aireación y de saturación del suelo (Varela, 2014). o techo de la zona saturada (Jobbágy, 2007). ésta última corresponde al acuífero libre o freático. El nivel freático se destaca por su movilidad en el tiempo, tanto ascendente como descendente y con un relieve muy plano y

pobres redes de escurrimiento superficial. Esa fluctuación depende fundamentalmente del agua de lluvia que se infiltra migrando a la zona de saturación(Villar, 2014). Es medida en los pozos de agua con ayuda de una cinta graduada o sondas piezométricas, desde el nivel de la superficie del suelo hasta la superficie de contacto con la lamina de agua (metros).

Variabilidad de la napa freática. El nivel freático es muy cambiante y puede encontrarse desde cero, cuando se encuentra en la superficie, y cientos de metros en algunas partes del mundo. Una característica importante del nivel freático es que su estado varía según la estacionalidad y de un año a otro, porque la suma de agua al sistema de aguas subterráneas está estrechamente relacionada con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones. Pero cuando el nivel freático se encuentra en la superficie, no podemos observarlo directamente. No obstante, su elevación puede evaluarse en detalle allí donde los pozos son numerosos porque el nivel del agua en los pozos se encuentra con el nivel freático. Estos mapas representan que el nivel freático ocasionalmente es horizontal, como se podría esperar. En cambio, su forma suele ser una réplica similar al de la topografía superficial, alcanzando sus mayores elevaciones debajo de las colinas y luego descendiendo hacia los valles. En las zonas pantanosas, este nivel freático coincide precisamente con la superficie. Lagos y corrientes de agua ocupan generalmente áreas lo bastante bajas como para que el nivel freático esté por encima de la superficie del terreno.

Pronósticos hidrológicos. En la guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2008). se define la predicción hidrológica como la estimación del estado futuro de los fenómenos hidrológicos. El desarrollo de un país se encuentra estrechamente ligado con los recursos hídricos para conocer la influencia que estos pueden tener en la sociedad y en cada una de las actividades que desarrolla el ser humano ya que permite la prevención de catástrofes y el aprovechamiento de los recursos de una mejor manera (WMO, 2008). Las predicciones hidrológicas pueden ser

desarrolladas en el tiempo a corto, mediano, largo y ultra largo plazo de acuerdo a las necesidades o al proyecto que se esté desarrollando, por ejemplo, los sistemas de alerta temprana en los cuales el periodo de predicción hidrológico es corto, pero con una alta influencia para desarrollos sociales que se ubican en las riberas de los cuerpos de agua. En cuanto a las predicciones a mediano plazo se puede resaltar la evaluación de ciclos estacionales de la precipitación con el cual se tiene una idea bastante aproximada de los ciclos húmedos y secos que tiene una región de estudio determinada. La evaluación de predicciones hidrológicas a largo plazo las podemos observar en la factibilidad de embalses de producción energética, en los cuales se evalúan ciclos estacionales en ventanas de tiempo que permitan calcular la relación costo/beneficio para el inversor, determinando si el proyecto es rentable o no.

El caso de los ciclos seculares nos permite hacer pronósticos o previsiones a ultra largo plazo, ya que se puede observar (de existir) la recurrencia de fenómenos de baja frecuencia que describen cierta estructura de fondo en el comportamiento de las variables hidrológicas que no se detecta a simple vista en las series de tiempo observadas. Existe una diferencia clara entre el cálculo estadístico en hidrología y la predicción hidrológica, mientras que el cálculo estadístico sirve al hidrólogo para evaluar la probabilidad esperada de ocurrencia de una magnitud hidrológica específica, la predicción hidrológica permite calcular las magnitudes de un evento del régimen hidrológico para una ventana de tiempo determinada hacia el futuro, sin embargo ambos tipos de cálculo o evaluación resultan aproximados y manejan cierto grado de incertidumbre (WMO, 2008). La fiabilidad de las predicciones se encuentra directamente relacionada con la incertidumbre del proceso, la cual puede ser vista desde tres diferentes puntos de vista: ontológico (Física del proceso), epistemológico (Conocimiento del proceso) y metrológico (Medición de variables del proceso).

Percepción Remota y SIG. Según Chuvieco (2002), la percepción remota es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, suponiendo que entre la tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial, y que no solo engloba el proceso para adquirir las imágenes, sino también el posterior procesamiento que implica la conversión de las imágenes a productos de información. Es en la etapa posterior de procesamiento donde entran en función los SIG, en los cuales se vacía la información proveniente de los sensores para poder ser manipulada; los SIG pueden definirse en grandes rasgos como hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, lo cual nos indica la estrecha relación que guardan los SIG con la percepción remota, desde la adquisición de la información proveniente de los sensores remotos hasta la obtención del insumo final, en forma de cartografía, datos estadísticos, etc. Con el objetivo final de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Satélite artificial. Según Monroy (2013). Un satélite artificial es una astronave creada por el hombre, lanzada al espacio y situada alrededor de un planeta. Los descubrimientos de los científicos sobre el movimiento de los planetas y la fuerza de gravedad fueron las bases que dieron origen al lanzamiento de satélites artificiales. Éstos, al igual que los naturales, como la Luna, son atraídos por el planeta alrededor del cual giran; pero no caen precisamente por el hecho de que giran. La fuerza, llamada centrífuga, es la que permite a los satélites no sentirse atraídos por la fuerza gravitatoria del planeta. Para colocar un satélite en órbita es necesario contar con combustibles especiales para impulsarlo, e instrumentos de precisión para guiarlo. El hombre utiliza estos satélites para las

telecomunicaciones, el control de los recursos terrestres, para el estudio del clima, la investigación científica y muchas otras aplicaciones.

La era de los satélites artificiales comenzó el 4 de octubre de 1957 cuando la Unión Soviética lanzó al espacio el Sputnik 1. La esfera de poco menos de 60 centímetros de diámetro fue el primer artefacto construido por el hombre en orbitarla Tierra. Desde la década anterior, cuando, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, las potencias ganadoras se repartieron a los científicos alemanes de mayor renombre, la Unión Soviética y los Estados Unidos se dedicaron al desarrollo de la tecnología de cohetes y comenzaron a estudiar la posibilidad de colocar en órbita satélites artificiales. En el año 1945, en un artículo publicado en una revista de ciencia ficción, el escritor inglés Arthur C. Clarke examinó en detalle la posibilidad de contar con dispositivos en el espacio que permitieran la creación de una red de comunicaciones que abarcara todo el planeta, llegando a sugerir que tres satélites en órbita geostacionaria alcanzarían para dar cobertura a todo el globo.

Satélite TRMM. La TRMM: Misión de Medición de Lluvias tropicales (Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) es una conjunción de exploración espacial entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA) diseñada para monitorear y estudiar precipitaciones tropicales y subtropicales, entre 35°N y 35°S. El término encierra toda la misión espacial del satélite y la investigación de los datos obtenidos, la TRMM es parte de la Misión al Planeta Tierra de la NASA, un estudio de largo alcance, coordinando investigación para el estudio de la Tierra como un sistema global. El satélite TRMM fue lanzado el 27 de noviembre de 1997 desde el Centro Espacial Tanegashima en Tanegashima, Japón.

A partir de julio de 2014, el combustible para mantener la altitud orbital fue insuficiente; y, la NASA cesó las maniobras de mantenimiento de la estación TRMM,

permitiendo que la órbita de la nave decayera lentamente. Y, la reentrada se esperaba originalmente entre mayo de 2016 y noviembre de 2017.

Instrumentos a bordo del TRMM:

- **Radar meteorológico de lluvia (PR)**, radar meteorológico de precipitación, PR, provee cartas de estructuras de tormentas tridimensionales. Se emite radiación y se reciben lecturas de la intensidad y distribución de la lluvia, tipo de lluvia, profundidad de la tormenta, altitud donde la nieve funde en lluvia. Puede estimar el calor obtenido a diferentes alturas en la atmósfera (sobre la base de las mediciones) pudiéndose las usar para mejorar los modelos de circulación atmosférica global.
- **Imágenes por microondas del TRMM (TMI)**, generador de imágenes por microondas del TRMM (TMI, en inglés) es un sensor de microondas pasivo diseñado para dar información cuantitativa de lluvias sobre una amplia franja bajo el satélite TRMM. Con cuidadosas mediciones de mínimas cantidades de energía de microondas emitidas por la Tierra y su atmósfera, el TMI es capaz de cuantificar el vapor de agua, el agua de la nube, y la intensidad de lluvia en la atmósfera. Es instrumental relativamente pequeño que consume poca potencia. La combinación con el gran ancho de detección y la información cuantitativa de lluvia hace al TMI el "caballito de batalla" del paquete medidor de lluvias del TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission.
- **Escáner del visible y del infrarrojo (VIRS)**, escáner de radiación visible e infrarrojo es uno de los tres instrumentos en el paquete de medición de lluvia, que sirve como un muy indirecto indicador de lluvia. VIRS, radiación que viene desde la Tierra en cinco regiones espectrales, del espectro visible al infrarrojo, ó 0,63 a 12micrómetros. El VIRS se incluyó en los instrumentos primarios por dos razones. 1º por su habilidad para delinear lluvia. 2º, y más importante razón, es que sirve como un estándar de

transferencia a otras mediciones que son hechas rutinariamente con satélites POES y GOES; La intensidad de la radiación en las varias regiones espectrales (o bandas) se usan para determinar la brillantez (en el visible y en el cercano infrarrojo) o temperatura (infrarrojo) de la fuente.

- **Sistema de energía radiante de la tierra y de las nubes (CERES)**, mide la energía al tope de la atmósfera, así como estima los niveles de energía dentro de la atmósfera y de la superficie terrestre. Usando información de un Banco de imágenes de nubes de altísima resolución, de los mismos patrones de formas, CERES determina las propiedades nubosas: cantidad de nubosidad, altitud, espesor, tamaño de partículas de las nubes. Todas estas mediciones son críticas para el entendimiento del sistema total climático y para mejorar los modelos predictivos de clima.
- **Sensor de imágenes de relámpagos (LIS)**, es un complejo instrumental para detectar y localizar relámpagos en las zonas de abordaje del TRMM. El detector es una compacta combinación de elementos ópticos y electrónicos incluyendo un detector de brillos de estrellas capaz de localizar y detectar relámpagos en nubes de tormenta individuales. El campo de visión del LIS permite poder observar un mismo punto terrestre o una nube por 80 s, suficiente tiempo para estimar la relación de flashes, que informa al investigador si una tormenta crece o decae.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Cambio climático. Cambio en el clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables (Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).

Conflicto por el agua. Situación en la que dos ó mas personas u organizaciones compiten por el control, acceso, usufructo o posesión de alguno o algunos de los atributos o

cualidades de agua, entendiendo por atributos del agua, entre otros: su cantidad, su calidad y su oportunidad (Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2012).

Gestión integrada de recursos hídricos. Es un proceso que promueve el desarrollo y el manejo concertado de los recursos hídricos, la tierra y otros recursos relacionados en un territorio, a fin de maximizar el bienestar económico y social que resulta de este proceso de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales (Global Water Partnership, 2010).

Recursos. Deriva del latín, concretamente de “recursus”, que viene a hacer referencia a hacer uso de los medios o bienes de los que dispone alguien para acometer algo en concreto.

Hídricos. Puede traducirse como “relativo al agua” y es fruto de la suma de dos partes claramente diferenciadas: el sustantivo “hydor”, que es sinónimo de “agua”, y el sufijo “-ico”, que se usa para indicar “relativo a”.

Recursos hídricos. Son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida.(Merino, 2014).

Percepción. Se le ha considerado como un proceso mediante el cual un organismo recibe o extrae cierta información acerca del medio.

Riesgo. Condición latente que anuncia la probabilidad de daños y pérdidas sobre las personas o sobre los medios de vida de éstas (Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos, 2012).

Satelite TRMM 3B43 V7. Las imágenes satelitales TRMM 3B43 V7 combinan estimaciones de precipitaciones de múltiples satélites pasivos, con datos de pluviómetros cuando estos estuvieran disponibles. TRMM tiene una resolución espacial

de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (aproximadamente 27 km x 27 km a la latitud de 0°), cubriendo la banda de latitud de 50°N a 50°S y de longitud 180°E a 180°E . Su resolución temporal es de 3 horas, sin embargo en pros-proceso se realizan agregaciones acumuladas a escalas diarias y mensuales. La cobertura temporal es desde enero de 1998 hasta la actualidad (Huffman, 2007).

Seguridad hídrica. La seguridad hídrica integra la preocupación por el valor intrínseco del agua con su uso para la supervivencia y bienestar del hombre. Implica erradicar la responsabilidad fragmentada por el agua e integrar la gestión de los recursos hídricos a través de todos los sectores, finanzas, planificación, agricultura, energía, turismo, industria, educación y salud (GWP, 2016).

2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis general

La napa freática varía estacionalmente en sectores de la cuenca baja del río Huaura.

2.4.2. Hipótesis específica

- La variabilidad estacional de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura guarda relación con la precipitación en la cuenca.
- La variabilidad de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura guarda relación con la conductividad eléctrica del agua freática.
- La variabilidad de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura guarda relación con el pH del agua freática.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Tipo de Investigación

Es una investigación de tipo experimental - correlacional, dado que busca evaluar el grado de asociación que presenta la precipitación en la parte alta de la cuenca con los niveles de fluctuación de la napa freática en la parte baja de la cuenca.

3.1.2. Nivel de Investigación.

Investigación de tipo descriptivo - experimental, dado que se a podido estudiar el comportamiento de las variables de estudio en un periodo de tiempo (2005-2017) y área de estudio comprendida entre las coordenadas proyectdas UTM WGS 84 Zona 18 L, en el puente Sayán 259922.2 m E y 8768274.8 m S a 650 msnm y en la desembocadura del río Huaura 212831.0 m E y 8773413.0 m S, a 0 msnm (ver Anexo Figura 17), realizándose con ayuda de los datos de esta investigación, paa describir el comportamiento que tiene las variables.

3.1.3. Diseño

Según el diseño del presente trabajo es de naturaleza experimental ya que a sido ejecutado empleando el diseño de bloque completo randomizado con arreglo factorial en 5 sectores por dos épocas de abundancia de agua con 5 replicas y para la comparación de los promedios se a usado la prueba de Tukey al nivel de $\alpha = 0.05$

3.1.4. Enfoque

Con enfoque cualitativo-cuantitativo, cualitativo ya que los datos de las variables de precipitación se trabajan para establecer dos épocas de estudio, se sectoriza el área de estudio en función al agrupamiento de pozos y denominación de los centros poblados

cercanos y puntos de monitoreo que existen en el área de estudio, luego se trabaja los datos cuantitativos de los niveles de fluctuación de los puntos de monitoreo, para trabajar el análisis de varianza.

3.2. MUESTRA

La realización del presente trabajo de investigación tomo como muestra 5 puntos de monitoreo en 5 sectores de estudio:

- Parte baja del río.
- Santa Rosa.
- Huaura
- Huacho.
- Vegueta.

Tomados en la cuenca baja del río Huaura, establecidos en función al diseño experimental la cual estableció un criterio de selección en función a la información, ubicación y características de la zona de cada punto de monitoreo.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

En las siguientes tablas se presentan los tipos de variables, así como sus indicadores.

Tabla 2

Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Sectores y Épocas (V.I.)	Elementos condicionantes de la variabilidad del acuífero	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Sectores de estudio • Época del año 	<ul style="list-style-type: none"> mm/mes Nombre del sector Precipitación
Características de calidad evaluadas (V.D)	VARIABLES INDICADORAS DEL CAMBIO FÍSICO O QUÍMICO DE ACUÍFERO	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel freático (profundidad) • Conductividad eléctrica • Potencial de Hidrógeno 	<ul style="list-style-type: none"> Metro Mmhos/cm Escala 1-14

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas empleadas

Para la obtención de datos de precipitación se ha descargado la información del servidor de la NASA – GIOVANNI, el producto del tipo “TRMM 3B43 v7 Multisatellite Precipitation Analysis”, siendo el periodo de estudio desde 2005 al 2017.

Los niveles freáticos, conductividad eléctrica y pH, se obtuvo de las campañas de monitoreo de agua subterránea en la cuenca del río Huaura, dicha información brindada por la Autoridad Nacional del Agua (ver Anexo, Tabla 18, 19 y 20).

3.4.2. Instrumentos utilizados.

La zona de estudio evaluada para el caso de la precipitación, se presenta en la Figura 17, siendo el área evaluada en función a lo solicitado por servidor NASA, para el satélite TRMM_3B43 V7.

Los niveles freáticos, conductividad eléctrica y pH, se obtuvo de la información brindada por la Autoridad Nacional del Agua, de los datos presentados por INRENA en el año 2005 existen alrededor de 566 pozos, de todos ellos no se a podido llevar un control en cada monitoreo, algunos de ellos se han secado, algunos han sido cubiertos, los propietarios no permiten el acceso, entre otros factores, debiéndose establecer criterios para poder analizarlo, en la Tabla 21 se presenta el modelo de registro empleado en el monitoreo de los pozos de agua.

3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para la realización del presente trabajo de investigación, se a trabajado en función al Diseño Estadístico de Bloques Completo Randomizado ó aleatorio (DBCR), el cual se ha constituido en el mas utilizado para las investigaciones de los recursos naturales, los experimentos que utilizan tienen en consideración los tres principios básicos de la

investigación que son: Repetición, randomización ó aleatoriedad y control local. Para lo cual se conformaran bloques de terrenos(sectores), estos a su vez deberán de contener a los tratamientos (pozos de monitoreo), que a su vez se dividen en dos épocas, avenida (Noviembre a Abril) y estiaje (Mayo a Octubre).

Planteado el DBCR se procede a realizar el análisis de varianza (ANOVA) utilizando el método Tukey al nivel de $\alpha = 0.05$, con el fin de crear intervalos de confianza para las comparaciones en cada grupo con todos los demás.

3.5.1. Procesamiento y análisis de datos.

- 1. Datos de precipitación.** La información correspondiente a la precipitación se promedia mensualmente, con ayuda del programa Microsoft Excel 2011, con la finalidad de identificar los patrones de estacionalidad (Avenida y Estiaje), siendo esta información necesaria para poder evaluar la variabilidad de la napa freática.
- 2. Datos de agua subterránea.** La información de la distribución de los puntos de monitoreo y los datos tomados en ellos, fueron trabajados con ayuda del software ARGIS para identificar los sectores de estudio, con ellos ubicar los puntos de monitoreo en un mismo sector y proceder a aplicar el análisis de varianza, la prueba de promedios y Tukey al nivel de $\alpha = 0.05$, siendo para este ultimo necesario el uso de programas como Microsoft Excel y Minitab.
- 3. Análisis de datos.** Con los valores de salida que se obtuvo del análisis varianza y prueba Tukey $\alpha= 0.05$, se procedió a redactar el informe final de la tesis.

3.5.2. Herramientas computacionales

En el desarrollo de la presente investigación, se han trabajado con los siguientes programas de computo que ayudaron a describir la variabilidad espacio temporal de las características del agua freática.

Tabla 3*Programas de cómputo utilizados*

Software	Descripción
QGIS 2.18	Software libre, para procesamiento y presentación de mapas
ARGIS 10.4	Software comercial usado para la Interpolación de datos en los sectores
Minitab 17	Software comercial, utilizado para estadística descriptiva
Excel 2011	Utilizado para realizar cálculos y manejo de datos

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la Figura 19 se presenta los resultados suministrado por el Servidor NASA Giovanni, para el periodo 2005-2017, datos de precipitación presentados en mm/hr.

Los datos de precipitación, obtenidos del servidor NASA Giovanni, estos fueron promediados mensualmente (mm/mes), y graficados en la Figura 2, en donde se destaca la presencia de dos periodos, periodo de avenida para los meses de Noviembre a Abril, periodo de estiaje para el periodo de Mayo a Octubre .

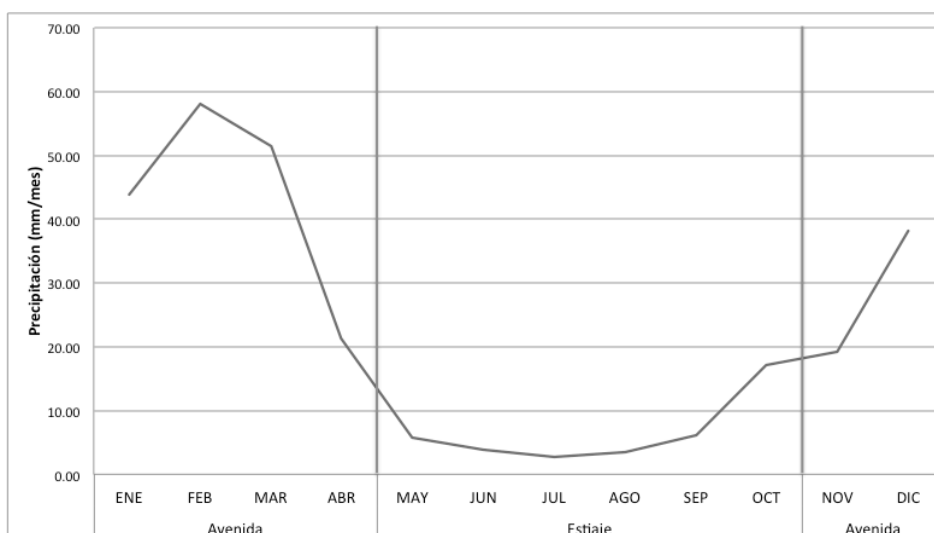


Figura 2. Promedio de variación mensual de precipitación en épocas del año. *Fuente:* Elaboración con datos del Servidor NASA Giovanni

4.2. IDENTIFICACIÓN DE SECTORES DE ESTUDIO

Como se muestra en la Figura 3, conforme al procesamiento de la información se a identificado sectores de estudio conforme a la distribución de los pozos en la cuenca, estos sectores se han dividido en 5 sectores de estudio: Río Huaura, Santa Rosa, Huacho, Huaura y Vegueta; abarcando conforme al diseño de la investigación en gran parte la cuenca baja del río Huaura.

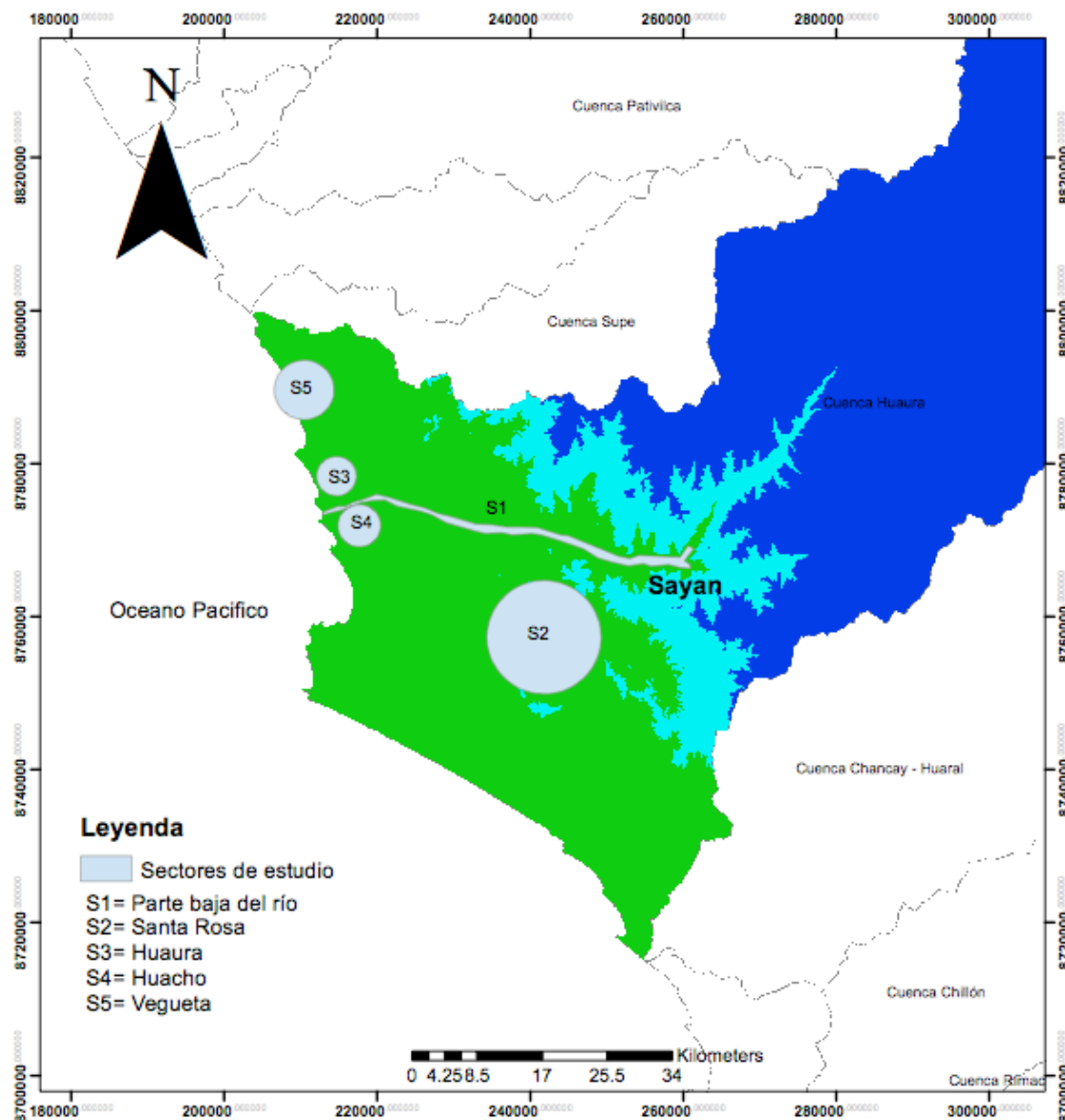


Figura 3. Identificación de sectores de estudio en la cuenca baja del río Huaura. Fuente: Elaboración usando el modelo digital de elevación ASTER-GDEM y datos de monitoreo de la ANA

4.3. COMPARACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN CON NIVEL FREÁTICO

Identificada la precipitación en la parte alta de la cuenca, se procedió a realizar la comparación en como influye dicha precipitación con los niveles freáticos sector por sector, presentando los siguientes resultados:

Para el sector Parte baja del río con una altura promedio de 250 msnm y 242.5 msnm para la napa freática, las condiciones del nivel freático presentan una tendencia en

el tiempo a que está se encuentre a menor altura sobre el nivel del mar como bien se presenta en la Figura 3, es decir a mayores profundidades en dicho sector, presentando cambios en el nivel freático directamente proporcional con la precipitación.

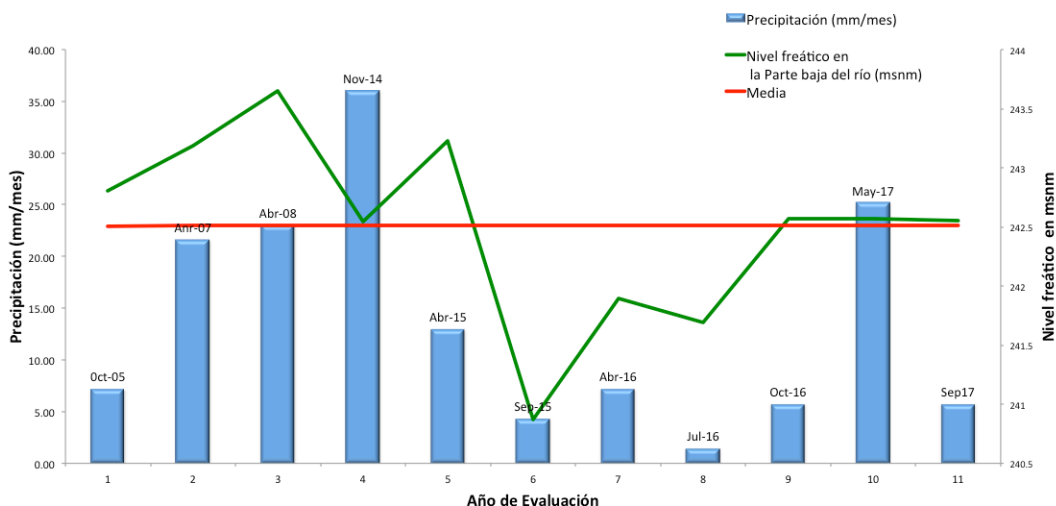


Figura 4: Variación temporal de la napa freática en el sector Parte baja del río.

El sector de Santa Rosa con una altura promedio de 500 msnm y en donde la napa freática en promedio se encuentra a 479.39 msnm y con una tendencia a encontrarse a mayores profundidades como bien se presenta en la Figura 4.

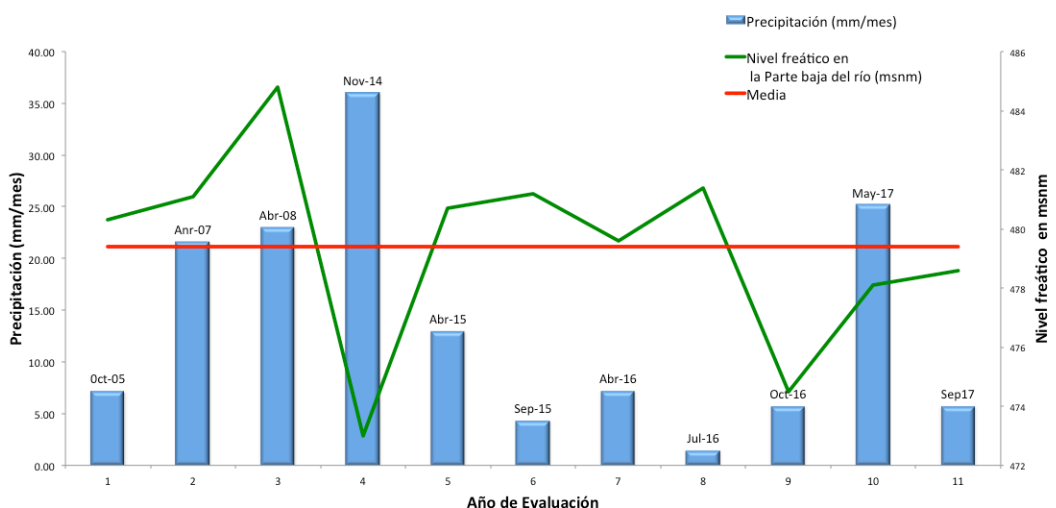


Figura 5: Variación temporal de la napa freática en el sector Santa Rosa

En la Figura 5, del sector Huaura cuya altura e promedio se encuentra a 50 msnm y con una napa freática en promedio que se encuentra a 47.45 msnm, se puede observar los cambios o variaciones en el nivel freático que están influenciados directamente por la precipitación, si bien los cambios no son inmediatos, se puede inferir que los cambios en los patrones de precipitación modifican los niveles de la napa freática de un año a otro.

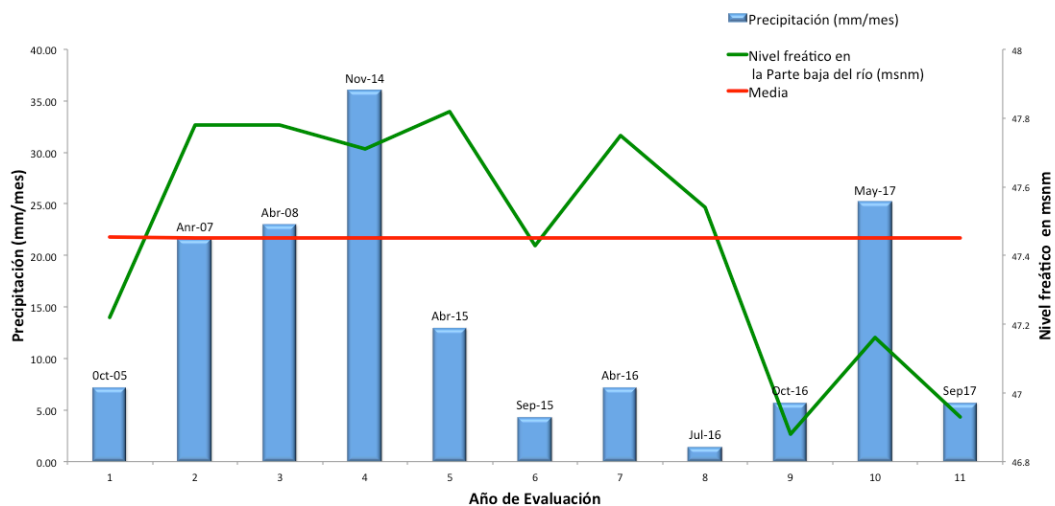


Figura 6: Variación temporal de la napa freática en el sector Huaura.

Con altura sobre el nivel del mar en promedio de 50 m, en el sector de Huacho la napa freática se presenta a 48.12 msnm en promedio, la Figura 5 nos presenta la relación del agua subterránea en función de la precipitación y el tiempo, mostrando una tendencia del agua subterránea a encontrarse a mayores profundidades al igual que los otros sectores.

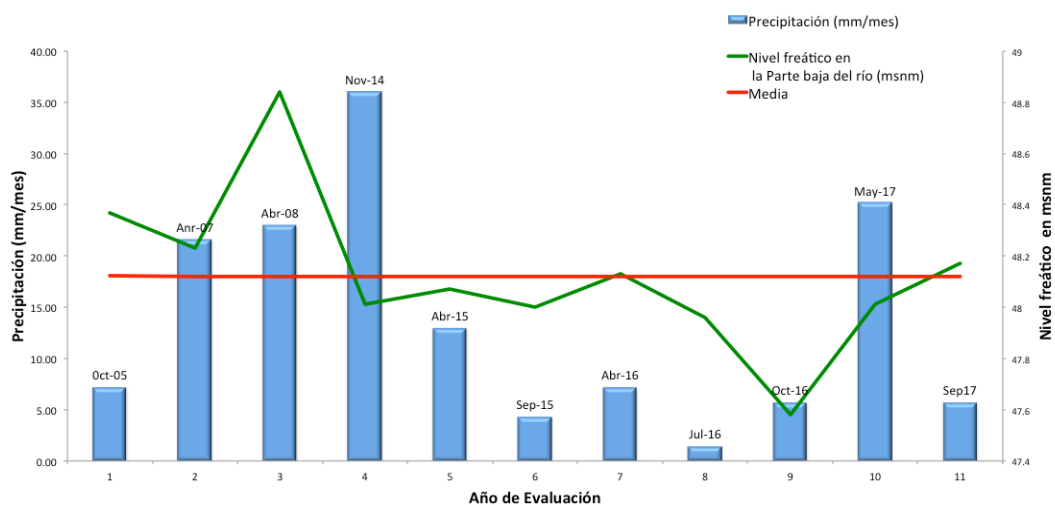


Figura 7: Variación temporal de la napa freática en el sector Huacho.

El sector de Vegueta se encuentra en promedio a 40 msnm, en la cual se presenta el agua subterránea en promedio a 33.67 msnm, de los sectores estudiados es el que presenta el agua subterránea mas cercano al nivel del mar, la Figura 7 nos muestra como influye la precipitación en los niveles de agua subterránea, presentando variaciones pero que se mantengan sobre la media del novel freático en dicho sector.

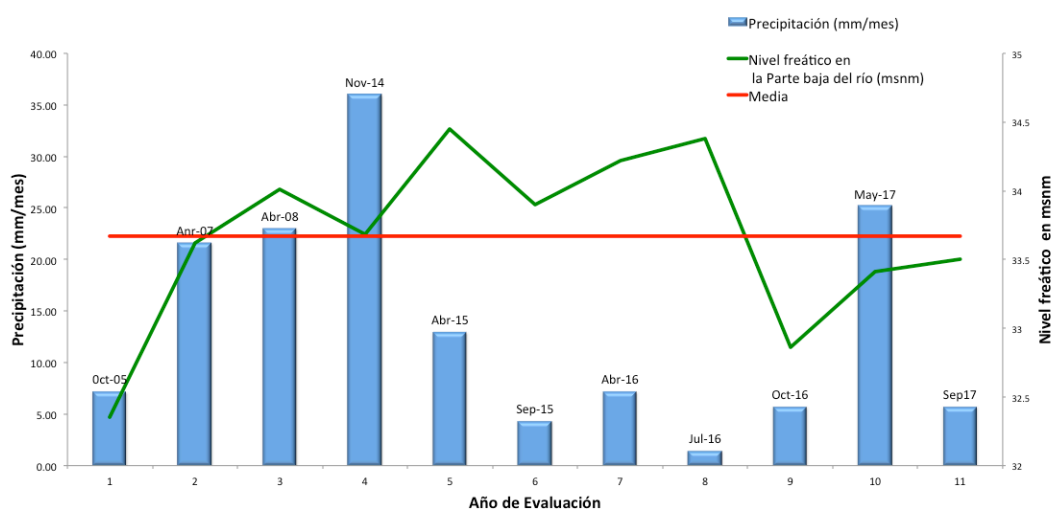


Figura 8: Variación temporal de la napa freática en el sector Vegueta.

4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA

A continuación se presentan los resultados del análisis de varianza para las variables evaluadas: nivel freático, conductividad eléctrica y pH ; así como también los valores promedios y su significación (prueba de Tukey) establecidos en función al diseño de bloques completamente aleatorizado, los resultados de este análisis se presentan a continuación.

Tabla 4

Valores de cuadrados medios de los parámetros trabajados en la investigación

Fuente	Grado de libertad	Cuadrado Medio (CM)		
		Nivel Freático	Conductividad eléctrica	pH
Bloque	4	11.8274	0.06599	0.13855
Sector	4	71.6429	0.21403	0.03244
Época	1	3.5805	0.048020	0.74664
Sector x Época	4	0.0729	0.05232	0.14096
Error	36	0.8632	0.01966	0.05583
Total	49			
R-Cuadrado(%)		88.53	61.73	31.68
CV(%)		22.99	17.52	3.14

En la Tabla 4 se presenta el Análisis de Varianza, siendo el Cuadrado Medio (CM) una medida que nos ayudará a establecer la relación entre las variables (Nivel Freático, Conductividad y pH) y la Fuente (Bloque, Sector, Época, Sector x Época), siendo esta última la que interfiere directamente en la variabilidad; del resultado de esta tabla el R-Cuadrado (%) nos presenta una condición, siendo que mientras más cerca se encuentre al 100% dependerá en mayor medida la variable fuente, en nuestro caso presentado en la tabla el que mayor depende es la Napa freática seguido de la conductividad eléctrica y el pH en menor medida. Para el caso del Coeficiente de Variación (%) que es un indicador de que tan confiables son las estimaciones, mientras más cerca al 0% es más confiable, de la tabla los datos de pH es uno de los datos más confiables estadísticamente seguido por la Conductividad Eléctrica y el Nivel Freático

4.3.1. Resultados del análisis de la Napa Freática.

Los valores del nivel freático en los sectores de estudio presentados en la Tabla 5, nos presenta dos agrupaciones la cual estadísticamente son diferentes, la primera agrupación “A” presenta un nivel freático que se encuentra a mayor profundidad que el la

agrupación “B”, siendo los distritos de esta ultima agrupación la cual presentas mayor condiciones para estudios de aprovechamiento hídrico.

Tabla 5

Variación del nivel freático en sectores de evaluados

Sector	N	Media	Agrupación
Parte baja del río	10	7.489	A
Vegueta	10	6.304	A
Huaura	10	2.517	B
Santa Rosa	10	1.967	B
Huacho	10	1.799	B

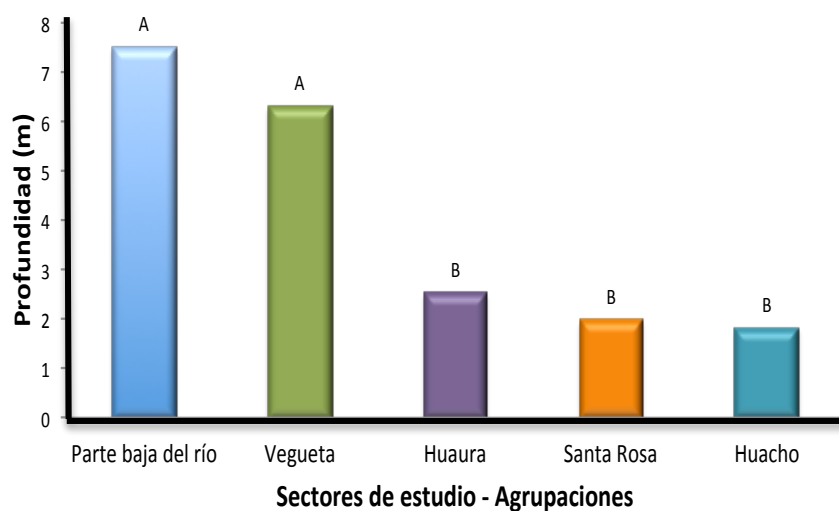


Figura 9. Variación del nivel freático en sectores evaluados

La Tabla 6 nos muestra los valores resultantes de la comparación entre el Nivel Freático y la Época de estudio, obteniéndose como resultado dos épocas significativamente diferentes a nivel de la media, existiendo una variación de la napa freática en promedio de 0.5352 m, entre épocas del año.

Tabla 6

Valores promedios del nivel freático en las épocas evaluadas

Época	N	Media	Agrupación
Estiaje	25	4.2828	A
Avenida	25	3.7476	B

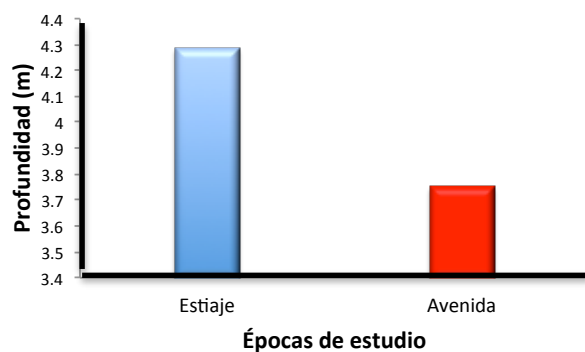


Figura 10. Valores promedios del nivel freático en las épocas evaluadas

La Tabla 7 nos indica los valores promedios del nivel freático y su prueba Tukey, teniendo como resultado dos agrupamientos, el primer agrupamiento al igual que en la Tabla 5 y 6 esta definido por los sectores Río Huaura y Vegueta con sus respectivas épocas, mientras que los demás sectores y sus épocas conforman el otro agrupamiento.

Tabla 7

Valores promedios del nivel freático y su prueba Tukey

Sector * Época	N	Media	Agrupación
Parte baja del río-Estiaje	5	7.872	A
Parte baja del río-Avenida	5	7.106	A
Vegueta-Estiaje	5	6.604	A
Vegueta -Avenida	5	6.004	A
Huaura-Estiaje	5	2.806	B
Huaura-Avenida	5	2.228	B
Santa Rosa-Estiaje	5	2.146	B
Santa Rosa-Avenida	5	1.788	B
Huacho-Avenida	5	1.612	B
Huacho-Estiaje	5	1.986	B

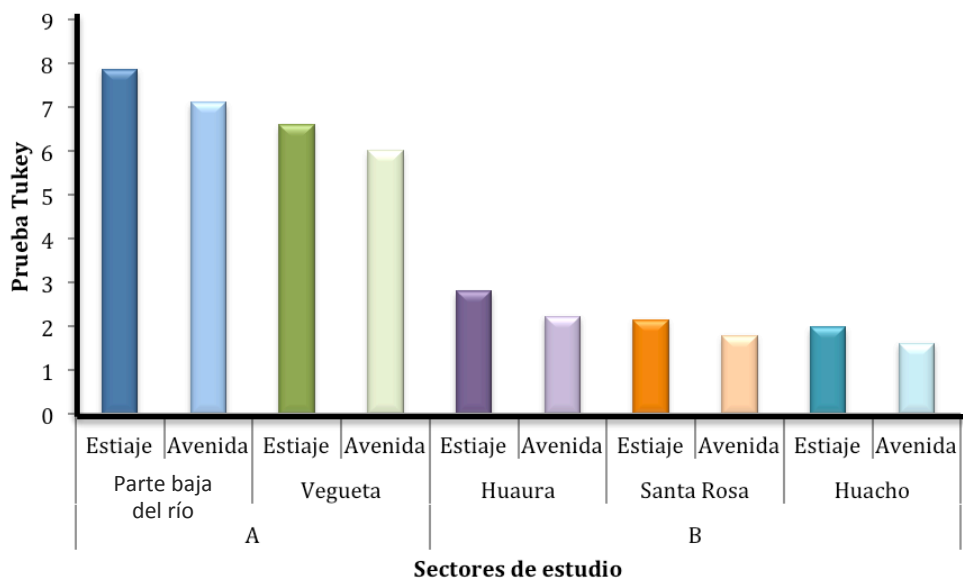


Figura 11. Valores promedio del nivel freático y su prueba Tukey

4.3.2. Resultados del análisis de la C.E. en la napa freática.

Los resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica (mmhos/cm) presentados en la Tabla 8, presentan tres agrupaciones A, B y C para los sectores de estudio, pero entre estos grupos existen sectores con características que obedecen estadísticamente a dos agrupaciones, como es el caso del sector Vegueta, estos casos se debe a que la media se encuentra cerca a dos agrupaciones, el sector de Vegueta y Huaura se encuentran incluidos en dos agrupaciones debido a la proximidad de su media a estos sectores.

Tabla 8

Variación de la conductividad eléctrica en sectores evaluados

Sector	N	Media	Agrupación	
Huacho	10	0.985	A	
Vegueta	10	0.899	A	B
Huaura	10	0.802	B	C
Parte baja del río	10	0.675	C	
Santa Rosa	10	0.633	C	

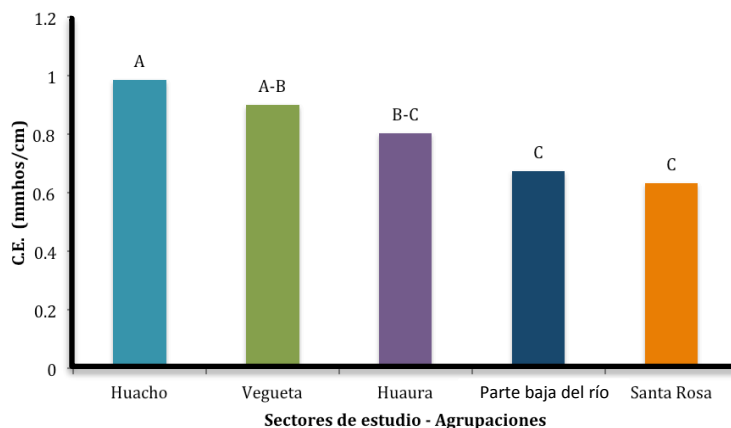


Figura 12. Variación de la conductividad eléctrica en sectores evaluados

La comparación de los datos de conductividad eléctrica con la época, nos muestra dos agrupaciones significativamente diferente, presentando una diferencia entre estas de 0.196 mmhos/cm, siendo esta relación una respuesta al cambio de época.

Tabla 9

Valores promedios de la C.E. en las dos épocas evaluadas.

Época	N	Media	Agrupación
Avenida	25	0.8948	A
Estiaje	25	0.6988	B

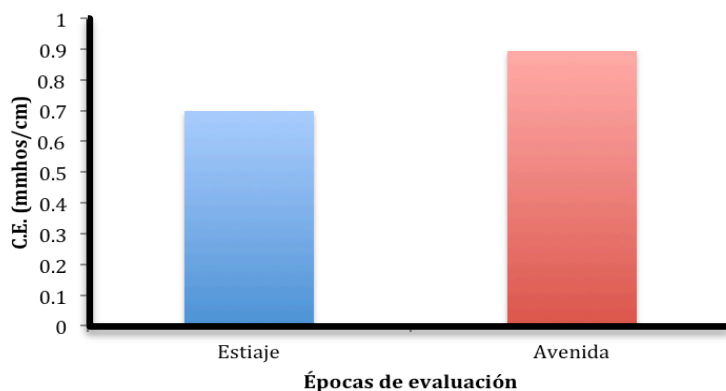


Figura 13. Valores promedios de la C.E. en las dos épocas evaluadas.

La conductividad eléctrica frente a la interacción del sector*época, nos presenta (Tabla 10) tres agrupaciones, existiendo relaciones parciales entre ellas como es el caso del sector Santa Rosa quien mantiene características estadísticas con los sectores

de Huaura, Vegueta y Huacho, similar caso sucede con las demás agrupaciones que mantiene relación con dos agrupaciones, las cuales estadísticamente comparten ambos grupos por su cercanía entre sus media.

Tabla 10

Valores promedios de la conductividad eléctrica del agua freática y su prueba Tukey

Sector * Época	N	Media	Agrupación
Huacho-Avenida	5	1.184	A
Vegueta-Avenida	5	1.026	A B
Huaura-Avenida	5	0.846	B C
Huacho-Estiaje	5	0.786	B C
Parte baja del río-Avenida	5	0.766	B C
Huaura-Estiaje	5	0.758	B C
Vegueta-Estiaje	5	0.752	B C
Santa Rosa-Avenida	5	0.652	C
Santa Rosa-Estiaje	5	0.614	C
Parte baja del río-Avenida	5	0.584	C

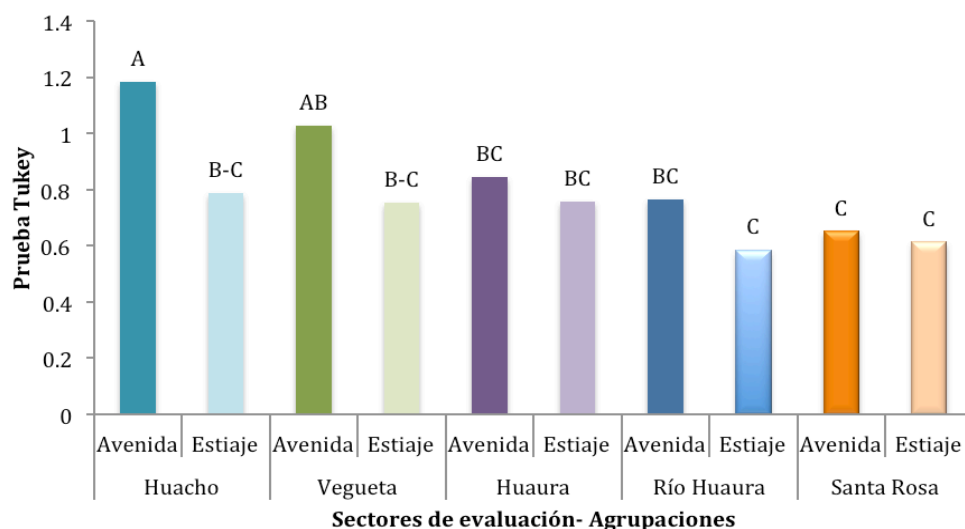


Figura 14. Valores promedios de la C.E. del agua freática y su prueba Tukey.

4.3.3. Resultados del análisis del Potencial de Hidrógeno.

La Tabla 11 nos presenta los resultados de la comparación entre los datos del pH en los pozos estudiados y los sectores de estudio, siendo la tendencia a nivel de la media que todos los sectores se agrupan en uno solo, debido a la poca diferencia entre ellas.

Tabla 11

Valores promedios del pH en los sectores evaluados

Sector	N	Media	Agrupación
Vegueta	10	7.555	A
Santa Rosa	10	7.536	A
Huaura	10	7.521	A
Parte baja del río	10	7.498	A
Huacho	10	7.409	A

La relación entre el pH y las épocas de estudio presentan dos agrupaciones significativamente diferentes, existiendo una diferencia a nivel de la media para época de estudio, tal como se ha venido presentando con las otras variables comparadas con la época del año.

Tabla 12

Valores promedios del pH en las dos épocas evaluadas

Época	N	Media	Agrupación
Avenida	25	7.6260	A
Estiaje	25	7.3816	B

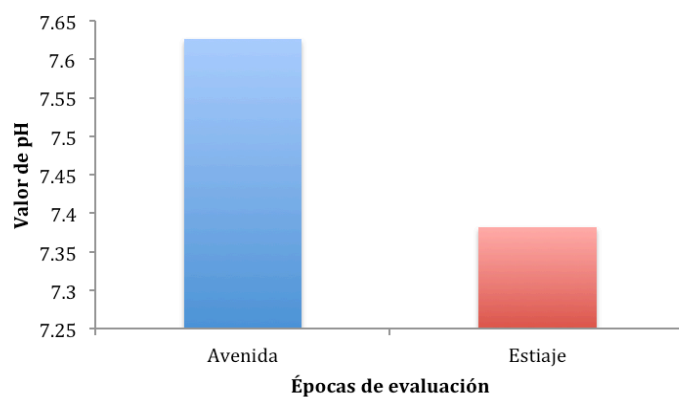


Figura 15. Valores promedios del pH en las dos épocas evaluadas.

Para el caso de la comparación pH y término sector*época, los resultados estadísticos a nivel de la media nos presentan dos agrupaciones, las cuales internamente hay en su mayoría una relación tanto de un grupo como del otro debido a la cercanía a nivel de la media, de manera general se puede observar la tendencia de polos opuestos, como es el caso del sector Huaura que tiene el máximo valor para la época de Avenida y la mínima para la época de estiaje, caso que se cumple en la mayoría de los casos, esto quiere que en épocas de Avenida en donde el agua freática es aumentada la alcalinidad de las aguas aumenta, y en época de estiaje en donde el nivel freático baja, el pH se neutraliza .

Tabla 13

Valores promedios del pH del agua freática y su prueba Tukey

Sector * Época	N	Media	Agrupación	
Huacho-Avenida	5	7.758		
Santa Rosa-Avenida	5	7.742		
Parte baja del río-Avenida	5	7.66	A	B
Vegueta-Estiaje	5	7.59	A	B
Huacho-Avenida	5	7.488	A	B
Vegueta-Estiaje	5	7.482	A	B
Parte baja del río-Estiaje	5	7.382	A	B
Santa Rosa-Estiaje	5	7.368	A	B
Huacho-Estiaje	5	7.33	A	B
Huaura-Estiaje	5	7.238		

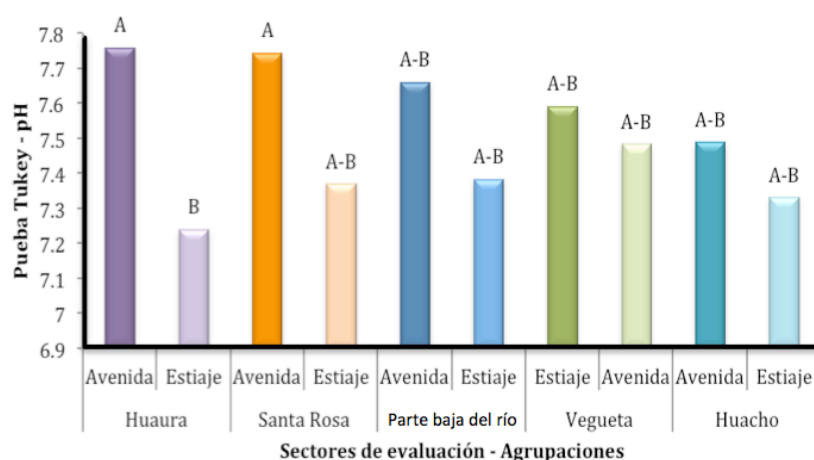


Figura 16. Valores promedios del pH. del agua freática y su prueba Tukey

CAPITULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN

A partir de los resultados de la presente investigación, podemos confirmar la hipótesis general la cual establece que la napa freática en los sectores de estudio de la cuenca baja del río Huaura presentan una variación estacional, tal como se presentan en la Tabla 6 y Figura 9 del presente trabajo de investigación, en la cual nos dio como resultado una diferencia en promedio de 0.5352 m entre estaciones, encontrándose la napa freática mas superficial para épocas de avenida.

El establecer las estaciones en función a la precipitación en la parte alta de la cuenca, nos condujo a poder utilizar herramientas en el sistema de internet, como son los datos suministrados por la Nasa del proyecto satélite TRMM_3B43 V7, desde donde se pudo extraer la información de los periodos de precipitación en los últimos 10 años y con el promedio de esta información se pudo establecer dos estaciones durante el año (Avenida: Noviembre-Abril y Estiaje: Mayo-Octubre), estos datos del satélite han sido utilizados por otros autores como es el caso del estudio presentado por Lujano, Felipe, Quispe y Lujano (2015).

Churra (2015), realiza una evaluación del comportamiento del los niveles de agua subterránea a través de pozos tubulares en la comunidad de Quenapajja – Puno, identificando la variación del nivel freático en función del tiempo, registrando valores promedios de 3.35 m de octubre (época de Estiaje) del 2014 y valores promedios de 1.00 m en el mes de febrero del 2015 (época de avenida). En el caso de nuestra investigación se a registrado valores promedios de 3.7476m para avenida y para estiaje 4.2828 m de profundidad

En lo que respecta la variabilidad estacional de la napa freática y la precipitación en la cuenca del río Huaura, el establecer dos épocas de estudio (avenida y estiaje) en función a la precipitación en la zona de estudio, guarda relación con los resultados del análisis de la precipitación realizados con el satélite TRMM_3B43, presentado Lujano, Felipe, Quispe y Lujano (2015), estos últimos evalúan el comportamiento de la precipitación en la zona de cuenca Ramis por el periodo 1998-2013, siendo comparado con los resultados de la presente investigación se a podido identificar la relación entre el nivel freático y la época de precipitación .

El análisis de los resultado de los valores de la conductividad eléctrica del agua freática en función a la época del año y lo presentado por Carita (2017), la cual evalúa el comportamiento anual de la conductividad eléctrica en la zona de Lurin, en donde los valores oscilan entre 0.30 a 4.00 dS/m anualmente, y para nuestro caso de estudio la evaluación es para dos épocas del año siendo esta información útil para poder evaluar el comportamiento de los suelos de nuestra costa peruana, ya que ambos estudios se encuentran en similares condiciones o piso ecológico.

Los valores de pH en función a la variabilidad de la napa freática, al igual que lo presentado por Muños (2015) y Carita (2017), de este últimos los resultados del estudio arrojan valores de pH los cuales varían de 5.80 a 8.75, indicando que la naturaleza del agua subterránea es ligeramente ácida a alcalina, pero en los resultados del presente estudio nos arrojan valores promedios para época de avenida de pH 7.6260 y estiaje de pH 7.3816, siendo para nuestro caso una agua freática ligeramente neutra.

Identificar la variabilidad de la napa freática en los puntos de monitoreo (Pozos), constituye una forma de control y evaluación del nivel freático frente a la demanda actual por parte de la población, como bien lo realizó Imelda (2012). Si bien con el actual cambio climático, se están alterando algunos patrones de precipitación, a nivel del los acuíferos en

la cuenca baja del río Huaura aún se mantienen estos patrones los cuales obedecen a la periodicidad estacional de las precipitaciones en la parte alta, mostrando a nivel de los acuíferos un descenso del nivel freático en épocas de avenida y todo lo contrario para las épocas de estiaje, tal como lo evaluó Churra (2015).

Si bien los resultados nos presentan tanto para el nivel freático, conductividad eléctrica y pH, una diferencia estacional en cuanto a sus parámetros de monitoreo, hay que resaltar que los datos no han sido tomados periódicamente (mensual o Trimestral), establecer puntos de control en las cuales periódicamente se pueda tomar la información de ellos, nos ayudara a evaluar de una manera mas controlada los cambios en el acuífero, siendo la presente investigación un precedente para futuros estudios de acuíferos en esta parte del país, sugiriéndose a las instituciones publicas el establecimiento de estos puntos de control colocados estratégicamente en el valle, nos ayudará a planificar mejor el uso de este recurso ante eventos de cambio climático o contaminación de acuíferos.

El establecimiento de sectores nos ayudo a abarcar estratégicamente el área de estudio y poder comparar los cambios en las propiedades físicas y químicas entre los puntos de monitoreo de un mismo sector y entre sectores, para el caso de la napa freática y la conductividad eléctrica con el análisis de varianza se pudo identificar agrupaciones entre sectores, pero para el caso del pH no se pudo identificar estas agrupaciones debido a que la diferencia a nivel de la media para estos puntos de monitoreo es mínima, siendo a nivel general el pH del agua subterránea a nivel de la cuenca baja del río Huaura neutra y con una ligera diferencia entre cambio de estación.

Los resultados del análisis de varianza para el caso del pH presenta una característica, mientras que en periodos de avenida los acuíferos se encuentran en sus valores mas bajos, el pH tiende a aumentar su alcalinidad, esto debido a la presencia de sales que hay en el medio, caso contrario cuando los acuíferos en época de estiaje

empiezan a elevar su nivel, la concentración de sales baja por ello la tendencia del pH es a neutralizarse. Esto se corrobora con los resultados obtenidos para el caso de la conductividad eléctrica del agua freática, en la cual en todo los sectores para periodos de avenida en la que el nivel freático es bajo, los datos de conductividad eléctrica son altos, es decir hay una mayor concentración de sales en el medio, caso contrario sucede para la época de estiaje.

5.2. CONCLUSIONES

Del análisis de la presente investigación se puede concluir:

- Los resultados de la presente investigación han podido determinar la variación estacional de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura, la cual para periodos de Avenida el nivel promedio de la napa freática se encuentra en promedio a 3.7476 m de profundidad y para épocas de Estiaje a 4.2828 m de profundidad.
- Del análisis de la variación temporal de la napa freática, se a podido identificar que en la mayoría de los sectores la napa freática se viene presentando cada vez a mayores profundidades, siendo en promedio 1 m esta diferencia, para los años de estudio (2005-2017).
- La napa freática en la cuenca baja del río Huaura, obedece a patrones de estacionalidad principalmente relacionado con la precipitación, esta variabilidad se a podido identificar en las fluctuaciones del nivel de la napa freática, la cual según los datos recabados en la presente investigación tomados desde el 2005 al 2017, presentan una fluctuación promedio de 0.5352 m a nivel de los sectores de estudio.
- Los cambios en los niveles de conductividad eléctrica del agua subterránea, según los datos del presente estudio, obedecen a los patrones de estacionalidad,

- identificándose a nivel de los sectores de estudio para el periodo de Avenida un valor de 0.8948 mmhos/cm y para épocas de Estiaje de 0.6988 mmhos/cm.
- Se a podido estimar la variabilidad del pH en los sectores de estudio de la cuenca baja del rio Huaura, estando los valores promedios para épocas de Avenida en 7.6260 y para épocas de Estiaje en 7.3816.
 - De los sectores evaluados la zona de Huacho y Santa Rosa son la que presenta un nivel mas superficial de la napa freática, siendo estos sectores los que presentan mayor aptitud para estudios de aprovechamiento hídrico, siendo necesario profundizar mayor la evaluación de estos sectores, con estudios hidrogeológicos.

5.3. RECOMENDACIONES

Establecer puntos de control o piezómetros ayudara a mantener un mejor control del acuífero, siendo necesario automatizarlos a través de sensores que trabajen con energía solar, los cuales podrán ser programados para que tomen las mediciones de algunos parámetros en el acuífero.

Es necesario poder complementar estas investigaciones con estudios Hidrogeológico, estudios de régimen de explotación de los pozos, incluir en estos estudios la recarga por parte de campos de cultivo e identificar zonas de sobreexplotación del acuífero.

El pago por retribución de servicios ecosistémicos, es una estrategia que se viene implementando en algunas zonas de nuestro país, con la cual se puede implementar proyectos de reforestación en la parte alta de la cuenca con el fin de ayudar a infiltrar una mayor cantidad de agua a los acuíferos.

Los trabajos de modelamiento de agua subterránea son estudios que nos permiten predecir futuros cambios en el acuífero, considerando alteraciones como sobreexplotación de los acuíferos, cambios en el ingreso de infiltración de los acuíferos por parte de la

precipitación, o cambios de uso de suelos. Son estudios que nos permitirán predecir futuros cambios partiendo de las condiciones actuales , las cuales deben ser motivo de investigación por parte de las universidades, entidades publico o privadas.

Los sectores de Santa Rosa y Vegueta, si bien no forman parte directamente de la cuenca del río Huaura, si no de otras microcuencas, el presente estudio los toma como parte de la cuenca del río Huaura debido a su cercanía a está y a la relación que se a obtenido con los otros sectores de estudio en la presente investigación.

CAPITULO VI

FUENTES DE INFORMACIÓN

6.1. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

Alencastre, A. (2009). *Las amunas. Recarga del acuífero en los Andes. La gestión social del agua en Tupicocha*, Huarochirí. Lima Provincia, Perú.

Castro, J. y Johany, J. (2017). *Abastecimiento de agua subterránea con fines de uso agrícola para el fundo La Empedrada agroindustrial La Punta S.A.C.* Huaura-Lima. Recuperado el 22 diciembre del 2018 de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3373>.

Custodio E. y Llamas M. (1983). *Hidrología subterránea*. Editorial Omega, Segunda Edición, Tomos I y II. Barcelona , España.

Carita, G. (2017). *Variabilidad espacio temporal de la calidad del agua subterránea en el valle de Lurin*. Tesis. UNALM. Lima. Recuperado el 12 de diciembre del 2018 de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2874>.

Llosa, J. Pajares, G. y Toro ,O. (2002). *Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas*. Lima: RAAP. (307-334).

Lujano, E. Felipe, O. Lujano, A. Quispe, J. (2015). *Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis* Puno, Perú. Recuperado el 27 de diciembre del 2018 de: <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/116>.

Ordoñez, J. (2011). *Aguas Subterráneas – Acuíferos*. Lima, Perú: Sociedad Geográfica del Perú.

Pavez, A. (2005). *Las aguas subterráneas en la costa del Perú y el norte de Chile*. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile.

6.2. FUENTES HEMERÓGRAFICAS

Aceves, E. (2005). *Análisis de la teoría aceptada sobre la disociación del agua*. Agricultura, sociedad y desarrollo, 2(2), 65-73. Recuperado el 5 de enero del 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722005000200003&lng=es&tlng=es.

Damonte, G. y Lynch, B. (2016). *Cultura, política y ecología política del agua: Anthropologica*, 34(37), pp.5-12. Recuperado el 16 de enero del 2019, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-92122016000200001&lng=es&tlng=es.

Moreno, L. (2000). *Conocimiento y estudios sobre el agua subterránea en la Costa de Hermosillo*. Región y sociedad, 12(20), 75-110. Recuperado en 16 de enero del 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252000000200003&lng=es&tlng=es.

Lesser, C., Luis E., Lesser, I., Juan, M., Arellano, I., Santiago, y González, D. (2011). *Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central*. Revista mexicana de ciencias geológicas, 28(3), 323-336. Recuperado en 16 de Enero de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742011000300001&lng=es&tlng=es.

6.3. FUENTES DOCUMENTALES

- Dirección General de Aguas y Suelo (1998). *Estudio Hidrológico de la Cuenca del Rio Huaura.*
- INGEMMET (2010). *Estudio Geoambiental de la cuenca del rio Huaura.*
- Ventura, M. (1992). *Contaminación del agua subterránea en zonas rurales y su incidencia en la agricultura y la salud (caso Huaura, Perú).*
- Ministerio de Agricultura y Riego (2005). *Inventario y monitoreo de las aguas subterráneas en el valle de Huaura.*
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1970). *Reconocimiento sobre el uso de aguas y tierras para el desarrollo de la cuenca del rio Huaura.*
- Romero, D. y La Torre, O. (2003). *Memoria Explicativa de la Actualización Geológica del Cuadrángulo de Oyon.*

ANEXOS

ABREVIATURAS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
C.E.	Conductividad eléctrica
DBCR	Diseño de Bloques Completo Randomizado
GOES	Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental
GWP	Asociación Mundial para el Agua
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero Metalúrgico
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
mm	milímetros
mmhos/cm	milimhos por centímetro
m.s.n.m	metros sobre el nivel del mar
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
pH	Potencial de Hidrógeno
POES	Satélite Ambiental de Operación Polar
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TRMM	Misión de Medición de Lluvias Tropicales
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
WMO	Organización Meteorológica Mundial

Tabla 14

Matriz de consistencia - Variabilidad de la napa freatica en la cuenca baja del río Huaura

PLANTAMIENTO DE PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOS	VARIABLES / INDICADORES
Problema general	Objetivos general	Hipótesis general	Tipo de investigación	Variable Independientes
¿ En que medida varía estacionalmente la napa freática en sectores de la cuenca baja del río Huaura, en el periodo 2014-2017?	Evaluar la variación estacional de la napa freática en sectores de la cuenca baja del río Huaura, en el periodo 2014-2017.	La napa freática varía estacionalmente en sectores de la cuenca baja del río Huaura, en el periodo 2014-2017.	El tipo de investigación que se adapta al presente trabajo es del tipo experimental – correlacionar.	<ul style="list-style-type: none"> • Sectores (zonas de muestreo) de la cuenca baja del río Huaura. (Coordenadas UTM) • Época del año (Precipitación) • Precipitación (mm/mes)
Problemas específicos	Objetivo específicos	Hipótesis específicos	Diseño y análisis estadístico	Variable dependientes
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se relacionan la precipitación con el nivel freático en sectores de la cuenca baja del Río Huaura, en el periodo 2014-2017? • ¿Qué relación existe entre la conductividad eléctrica del agua freática y la época del año en sectores de la cuenca baja del Río 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar la relación entre la precipitación y el nivel de la napa freática en la Cuenca baja del río Huaura, en el periodo 2014-2017 • Establecer la variabilidad estacional de la conductividad eléctrica en sectores de la Cuenca Baja del Río Huaura, en 	<ul style="list-style-type: none"> • La variabilidad estacional de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura guarda relación con la precipitación en la cuenca • La variabilidad de la napa freática en la cuenca baja del río Huaura guarda relación con la conductividad eléctrica. 	Se procesara los datos en función al diseño de bloque completamente randomizado o aleatorio	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel Freático (metro) • Conductividad eléctrica (mmhos/cm) • pH del agua freática

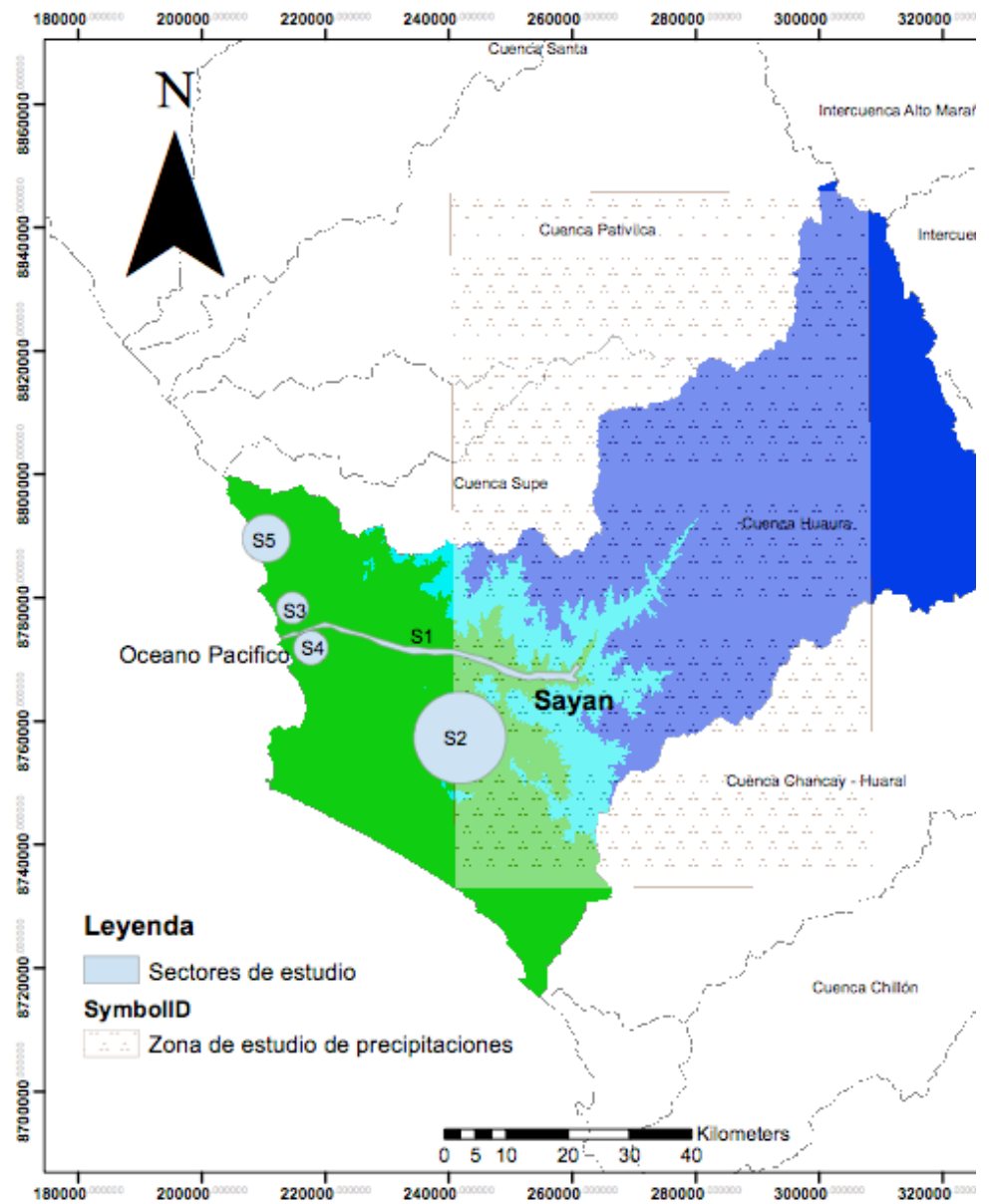


Figura 17. Datos de precipitación del satélite TRMM_3B43 V7, en la parte a sectores estudiados.

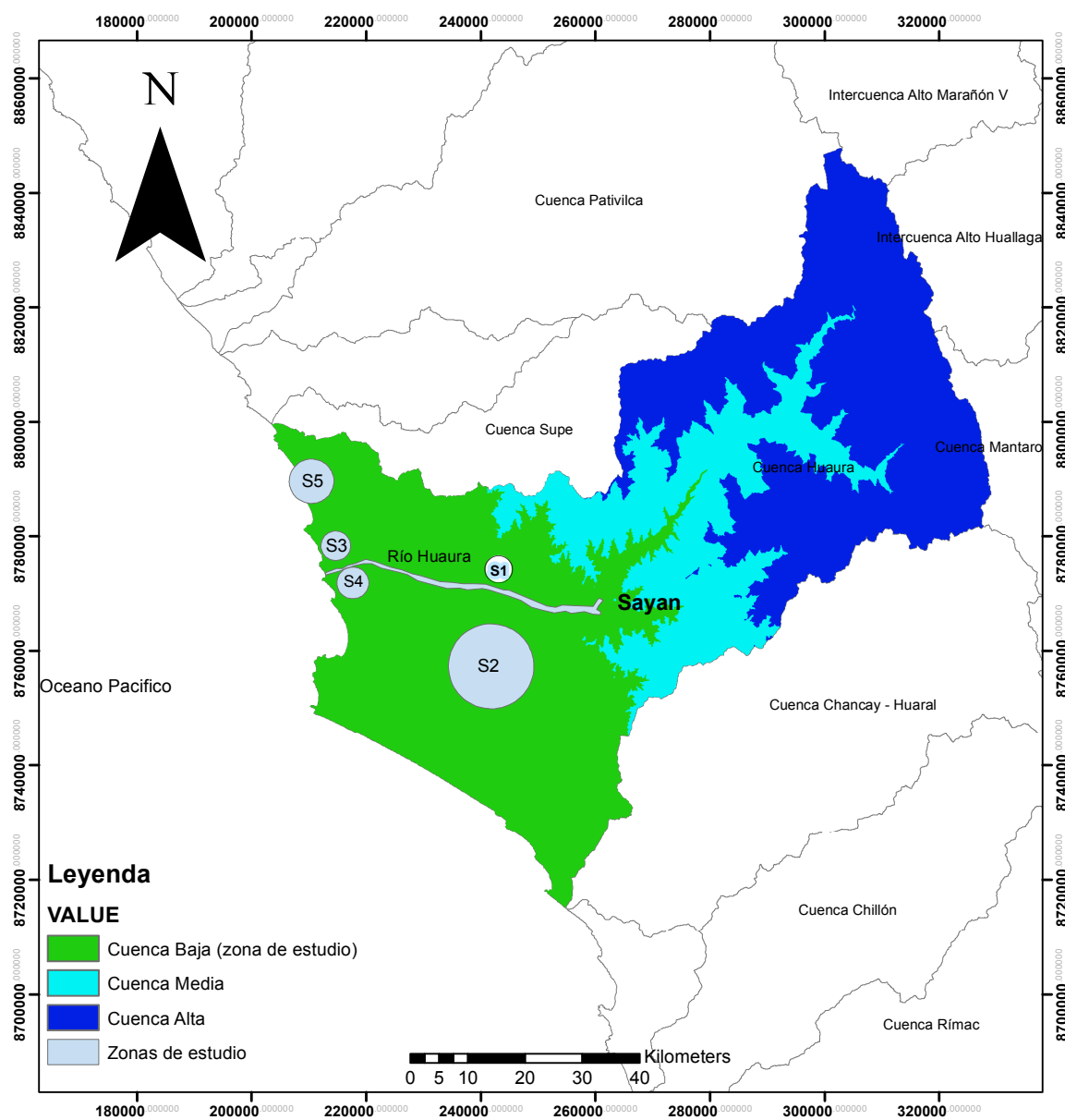


Figura 18. Delimitación de Sectores en la Cuenca del Río Huaura

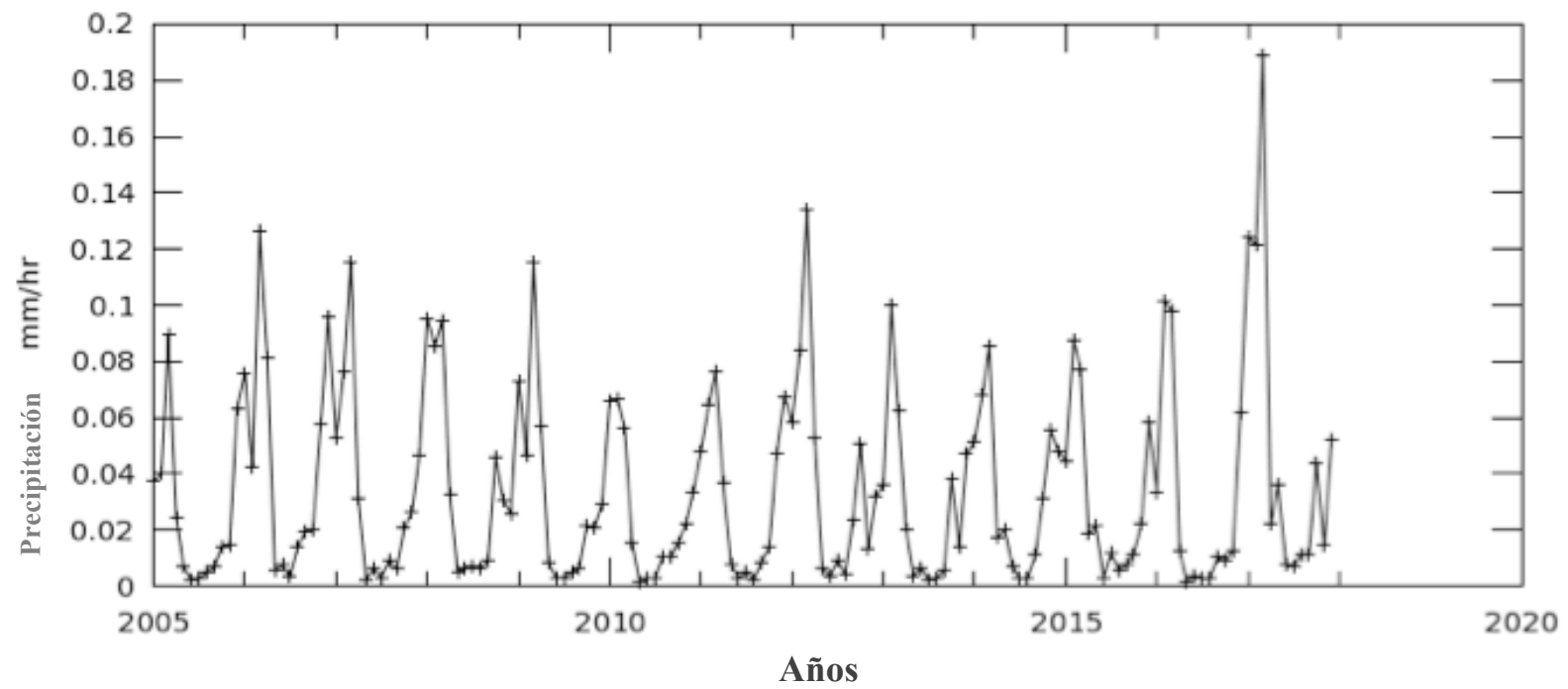


Figura 19. Valores de precipitación en el área de estudio descargado del satélite TRMM_3B43 v7 NASA

Tabla 15

Sectores de evaluación del nivel freático en función a la época del año

Nivel Freático										
Sector	Parte baja del río		Santa Rosa		Huaura		Huacho		Vegueta	
<i>Bloque</i> \ <i>Epoca</i>	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida
I	5.59	5.71	1.10	1.09	2.08	1.27	1.76	1.95	4.54	3.74
II	6.35	5.79	2.12	1.91	2.59	1.91	1.80	1.80	4.54	3.94
III	6.48	6.48	2.54	2.35	2.60	2.09	1.68	1.05	6.21	6.03
IV	10.13	8.51	2.11	1.07	3.21	2.88	1.96	1.37	8.64	8.04
V	10.58	9.04	2.67	3.38	3.55	2.99	2.73	2.55	9.09	8.27
Suma	39.12	35.53	10.53	9.79	14.04	11.15	9.93	8.72	33.00	30.03
Suma de Sectores	74.65		20.32		25.19		18.65		63.03	
Suma de Epoca	Avenida:	106.63				Estiaje:	95.22			
Promedio	7.82	7.11	2.11	1.96	2.81	2.23	1.99	1.74	6.60	6.01

Tabla 16

Sectores de evaluación de la conductividad eléctrica en función a la época del año

Conductividad Electrica										
Sector	Parte baja del río		Santa Rosa		Huaura		Huacho		Vegueta	
<i>Bloque</i> / <i>Epoca</i>	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida
I	0.59	0.77	0.53	0.57	0.68	0.80	0.75	1.12	0.63	1.16
II	0.42	0.60	0.74	0.75	0.69	0.91	0.60	1.02	0.88	1.01
III	0.84	0.88	0.69	0.71	1.02	0.89	1.00	1.24	0.81	1.24
IV	0.73	0.78	0.47	0.59	0.58	0.76	0.65	0.96	0.85	0.86
V	0.34	0.80	0.64	0.64	0.82	0.87	0.93	1.58	0.59	0.86
Suma	2.91	3.82	3.06	3.25	3.79	4.23	3.92	5.92	3.76	5.14
Suma de Sectores	6.73		6.31		8.03		9.84		8.89	
Suma de Epoca	Avenida:	17.44				Estiaje:	22.36			
Promedio	0.58	0.76	0.61	0.65	0.76	0.85	0.78	1.18	0.75	1.03

Tabla 17

Sectores de evaluación del nivel freático en función a la época del año

Potencial de Hidrogeno										
Sector	Parte baja del río		Santa Rosa		Huaura		Huacho		Vegueta	
<i>Bloque</i> \ <i>Epoca</i>	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida	Estiaje	Avenida
I	7.20	7.35	7.25	7.44	7.12	7.66	7.22	7.54	7.44	7.80
II	7.52	7.90	7.65	8.03	7.28	7.43	7.12	7.31	8.50	7.75
III	7.32	7.69	7.46	7.66	6.96	7.64	7.59	7.60	7.11	7.24
IV	7.52	7.94	7.01	7.72	7.44	7.80	7.99	7.35	7.18	7.59
V	7.35	7.42	7.47	7.86	7.39	8.26	7.47	7.59	7.33	7.62
Suma	36.91	38.31	36.85	38.71	36.19	38.78	37.39	37.38	37.57	37.99
Suma de Sectores	75.22		75.56		74.97		74.77		75.56	
Suma de Epoca	Avenida:	184.91				Estiaje:	191.17			
Promedio	7.38	7.66	7.37	7.74	7.24	7.76	7.48	7.48	7.51	7.60

Tabla 18

Valores del nivel freático obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR PARTE BAJA DEL RÍO																
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE						PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	sep-17	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0041	150806-0041	240048	8771600	HUAURA	376	5.32	4.89	5.70	5.88	6.15	5.59	5.29	5.47	5.12	4.75	7.92
0058	150811-0058	256461	8767286	SAYAN	609	11.20	5.89	4.90	5.11	5.31	5.70	4.04	3.65	5.00	11.28	5.00
0017	150806-0017	220041	8776284	HUAURA	129	6.04	6.63	6.48	7.10	6.38	6.25	6.92		6.00	6.27	6.73
0016	150806-0016	221665	8776886	HUAURA	149	8.43	9.68	9.40	9.20	14.42	9.63	8.71	7.72	8.24	8.58	9.29
0035	150806-0035	215222	8775071	HUAURA	62	14.67	10.15	9.50	9.85	9.30	9.99	9.10	8.62	9.50	9.65	8.32

SECTOR SANTA ROSA																
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE						PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	sep-17	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0044	150811-0044	245710	8754750	SAYAN	439	0.63	1.43	0.90	1.32	0.76	1.56	0.87	0.48	1.60	0.90	1.60
0062	150811-0062	238892	8757718	SAYAN	381	1.87	2.54	1.40	2.32	2.20	2.38	1.14	1.35	1.69	1.90	3.45
0133	150811-0133	233823	8759483	SAYAN	325	2.20	2.32	3.70	2.55	2.09	2.39	3.40	2.35	2.11	1.95	1.94
0045	150811-0045	246966	8756397	SAYAN	477	0.56	3.24	0.64	3.30	1.60	3.32	1.07	0.55	1.07	1.58	1.07
0111	150811-0111	240031	8757346	SAYAN	399	4.16	1.16	3.20	3.49	2.67	1.32	2.96	2.80	3.16	2.56	5.42

SECTOR HUAURA																
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE						PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	sep-17	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0038	150812-0038	215323	8780863	VEGUETA	77	1.30	3.07	1.33	2.61	1.44	2.73	0.76	0.90	1.20	1.40	2.10
0030	150806-0030	215993	8778116	HUAURA	78	2.10	2.88	3.15	2.87	1.97	2.59	2.59	1.83	1.95	1.55	1.65
0021	150812-0021	214941	8777561	VEGUETA	56	2.68	2.76	2.60	2.65	2.25	2.66	2.09	2.09	1.96	2.22	2.09
0010	150812-0010	213872	8776902	VEGUETA	59	3.20	3.20	3.14	3.64	3.10	3.00	2.44	2.85	2.90	3.11	3.11
0026	150806-0026	213766	8775231	HUAURA	45	3.55	3.45	3.70	3.82	3.55	3.23	3.22	3.35	2.90	2.99	2.50

Tabla 18 - Continuación

Valores del nivel freático obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR HUACHO																
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE						PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	sep-17	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
20	150810-0020	219443	8770427	SANTA MARIA	94	1.76	1.76	1.42	2.10	1.75	1.76	1.26	1.80	2.28	1.95	2.47
009	150803-0009	212988	8773080	CARQUIN	28	1.80	1.20	1.80	2.03	2.60	1.37	3.79	0.86	1.80	1.05	1.50
2	150810-0002	221092	8770856	SANTA MARIA	200	1.36	1.77	1.05	2.17	1.40	2.32	0.10	0.50	1.05	1.94	1.64
7	150803-0007	213330	8773136	CARQUIN	12	2.20	1.71	1.65	2.47	1.96	1.78	1.66	0.83	1.50	1.37	1.50
28	150810-0028	218715	8770602	SANTA MARIA	80	2.90	2.73	2.22	3.31	2.50	2.73	2.06	1.80	3.02	3.05	2.84

SECTOR VEGUETA																
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE						PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	sep-17	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
63	150812-0063	213517	8778968	VEGUETA	53	4.35	4.56	4.40	5.07	4.54	4.30	2.91	2.80	4.30	4.27	4.42
0095	150812-0095	209378	8792360	VEGUETA	57	4.54	4.01	6.80	3.30	4.54	4.05	6.37	6.30	1.03	2.87	3.15
0100	150812-	211543	8783866	VEGUETA	21	4.80	6.21	7.16	8.27	5.05	5.75	6.34	4.50	7.33	5.98	6.01
0032	150806-0032	215323	8780863	HUAURA	94.00	8.50	8.64	10.95	9.45	4.88	9.40	8.04	8.65	7.70	7.48	8.32
43	150812-0043	215920	8779453	VEGUETA	93	8.31	9.09	8.95	9.62	9.09	9.46	8.22	7.72	7.40	8.31	9.72

Tabla 19

Valores de C.E. del agua freática obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR PARTE BAJA DEL RÍO															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0041	150806-0041	240048	8771600	HUAURA	376	0.59	0.93	0.24	0.59	0.59	0.61	0.69	0.77	0.89	0.88
0058	150811-0058	256461	8767286	SAYAN	609	0.70	0.34	0.21	0.42	0.42	0.31	0.42	0.75	0.69	0.81
0017	150806-0017	220041	8776284	HUAURA	129	0.96	1.05	0.23	1.12	0.84	0.57	0.65	1.11	0.99	1.06
0016	150806-0016	221665	8776886	HUAURA	149	0.91	1.01	0.73	0.26	0.95	0.78	0.55	0.99	0.55	1.02
0035	150806-0035	215222	8775071	HUAURA	62	0.34	0.52	0.25	0.25	1.09	0.47	0.69	1.29	0.16	1.40

SECTOR SANTA ROSA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0044	150811-0044	245710	8754750	SAYAN	439	0.73	0.41	0.20	0.79	0.53	0.40	0.53	0.83	0.29	0.80
0062	150811-0062	238892	8757718	SAYAN	381	0.81	0.49	0.77	0.80	0.82	0.59	0.75	0.91	0.49	1.00
0133	150811-0133	233823	8759483	SAYAN	325	0.97	0.52	0.23	1.04	0.69	0.56	0.71	1.13	0.36	0.79
0045	150811-0045	246966	8756397	SAYAN	477	0.65	0.39	0.20	0.47	0.62	0.54	0.54	0.59	0.68	0.59
0111	150811-0111	240031	8757346	SAYAN	399	0.69	0.41	0.73	0.64	0.71	0.58	0.64	0.86	0.50	0.61

SECTOR HUAURA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0038	150812-0038	215323	8780863	VEGUETA	77	0.81	0.49	0.90	0.27	0.95	0.68	0.62	0.80	0.89	1.03
0030	150806-0030	215993	8778116	HUAURA	78	0.92	1.01	0.26	0.28	0.97	0.50	0.83	1.07	0.90	1.25
0021	150806-0021	214974	8775483	HUAURA		1.03	1.02	0.99	1.02	1.03	0.64	0.61	1.02	0.89	1.30
0010	150812-0010	213872	8776902	VEGUETA	59	0.91	0.69	0.09	0.27	0.95	0.53	0.54	0.77	0.86	1.09
0026	150806-0026	213766	8775231	HUAURA	45	0.82	1.18	0.23	0.82	1.05	0.84	0.85	0.92	0.87	0.87

Tabla 19 – Continuación

Valores de C.E. del agua freática obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR HUACHO															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0020	150810-0020	219443	8770427	SANTA MARIA	94	0.75	0.95	0.28	0.26	1.51	0.93	0.61	1.16	1.12	1.78
009	150803-0009	212988	8773080	CARQUIN	28	0.86	1.08	0.25	0.11	0.69	0.68	0.90	1.23	1.02	1.26
0002	150810-0002	221092	8770856	SANTA MARIA	200	1.63	0.97	0.28	0.27	1.83	1.01	1.22	1.02	1.24	1.73
0007	150803-0007	213330	8773136	CARQUIN	12	0.99	0.96	0.25	0.12	0.92	0.64	0.40	1.63	0.96	1.16
0028	150810-0028	218715	8770602	SANTA MARIA	80	1.97	1.16	0.30	0.28	0.93	1.37	1.34	1.03	1.58	2.58

SECTOR VEGUETA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	jul-16	may-17	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
63	150812-0063	213517	8778968	VEGUETA	53	0.92	0.49	0.27	0.29	1.16	0.47	0.51	1.16	1.76	1.90
95	150812-0095	209378	8792360	VEGUETA	57	1.12	1.32	0.23	0.31	1.41	1.30	0.78	1.01	1.01	0.94
100	150812-0100	211543	8783866	VEGUETA	21	1.84	0.81	0.28	0.31	0.81	1.86	1.14	1.24	0.73	1.24
43	150812-0043	215920	8779453	VEGUETA	93	1.03	0.53	0.90	0.85	0.94	0.68	0.76	0.86	0.86	1.15
0032	150806-0032	215323	8780863	HUAURA	94.00	0.99	0.51	0.27	0.27	0.92	0.47	0.62	1.24	0.90	1.08

Tabla 20

Valores de pH del agua subterránea obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR PARTE BAJA DEL RÍO															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	may-17	jul-16	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0041	150806-0041	240048	8771600	HUAURA	376	6.91	7.13	6.60	8.17	7.19	8.16	7.45	7.35	6.91	6.88
0058	150811-0058	256461	8767286	SAYAN	609	6.74	6.83	7.40	8.81	7.84	8.22	9.19	7.78	7.34	6.99
0017	150806-0017	220041	8776284	HUAURA	129	6.77	7.37	7.10	7.92	7.42	9.03	7.70	7.13	7.09	7.51
0016	150806-0016	221665	8776886	HUAURA	149	6.76	7.40	7.40	8.45	7.60	9.64	7.92	7.25	7.31	7.59
0035	150806-0035	215222	8775071	HUAURA	62	7.18	6.56	7.25	8.41	7.36	7.72	7.35	7.13	7.15	7.74

SECTOR PARTE SANTA ROSA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	may-17	jul-16	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0044	150811-0044	245710	8754750	SAYAN	439	7.10	6.70	7.12	7.86	7.49	7.54	7.93	7.35	7.10	7.27
0045	150811-0045	246966	8756397	SAYAN	477	7.42	6.96	7.38	8.50	8.01	7.72	8.55	8.03	7.83	8.03
0111	150811-0111	240031	8757346	SAYAN	399	7.17	6.83	7.46	8.13	7.69	7.84	8.53	6.98	7.30	7.66
0062	150811-0062	238892	8757718	SAYAN	381	7.03	6.62	7.01	7.94	6.46	8.10	7.72	7.65	7.51	7.62
0133	150811-0133	233823	8759483	SAYAN	325	7.15	6.90	7.23	8.29	7.78	8.20	7.86	7.64	7.73	7.86

SECTOR HUAURA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	oct-05	oct-16	may-17	jul-16	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0038	150812-0038	215323	8780863	VEGUETA	77	6.93	6.40	6.54	7.97	7.76	8.26	7.63	7.10	7.41	7.89
0030	150806-0030	215993	8778116	HUAURA	78	7.07	7.17	7.34	7.76	7.07	8.32	7.59	6.83	6.72	7.71
0010	150812-0010	213872	8776902	VEGUETA	59	7.17	6.42	6.75	8.17	7.49	8.03	7.87	7.37	7.45	7.46
0063	150812-0063	213517	8778968	VEGUETA	53	7.32	6.63	7.60	8.30	7.37	8.43	7.90	7.35	7.40	7.90
0026	150806-0026	213766	8775231	HUAURA	45	7.39	7.35	6.59	7.97	7.64	8.69	7.70	7.45	8.02	8.86

Tabla 20 – Continuación

Valores de pH del agua subterránea obtenidas en las campañas de monitoreo por la ANA

SECTOR HUAURA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	may-17	oct-05	jul-16	oct-16	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
0007	150803-0007	213330	8773136	CARQUIN	19	6.92	8.09	7.22	7.28	6.59	7.69	7.89	7.22	7.60	7.28
009	150803-0009	212988	8773080	CARQUIN	28	7.12	7.98	7.17	6.74	6.59	7.57	7.48	7.19	7.05	7.25
0028	150810-0028	218715	8770602	SANTA MARIA	80	7.65	7.59	6.96	7.59	8.15	7.42	7.60	7.21	8.07	7.69
0020	150810-0020	219443	8770427	SANTA MARIA	94	7.99	8.87	7.83	7.99	7.27	6.59	7.63	7.35	8.29	6.90
0002	150810-0002	221092	8770856	SANTA MARIA	200	7.72	7.47	7.14	7.66	7.37	7.66	7.59	7.59	7.20	7.91

SECTOR VEGUETA															
CODIGOS		COORDENADAS		DIST	COTA TERRENO	PERIODO DE ESTIAJE					PERIODO DE AVENIDA				
IRHS	COD_IRHS	ESTE	NORTE			sep-15	may-17	oct-05	jul-16	oct-16	abr-07	abr-08	abr-15	abr-16	nov-14
63	150812-0063	213517	8778968	VEGUETA	53	7.32	8.30	6.63	7.37	7.60	8.43	7.90	7.35	7.40	7.90
95	150812-0095	209378	8792360	VEGUETA	57	7.90	9.13	7.58	8.73	9.18	7.61	7.57	8.54	7.16	7.87
100	150812-0100	211543	8783866	VEGUETA	21	6.88	7.11	6.78	7.42	7.34	7.17	7.45	7.07	7.26	7.24
43	150812-0043	215920	8779453	VEGUETA	93	7.25	8.43	6.49	7.18	6.56	7.86	7.60	7.56	7.59	7.35
0032	150806-0032	215323	8780863	HUAURA	94.00	6.77	8.46	6.63	7.30	7.50	8.25	7,40	7.39	6.70	8.13



Figura 20. Inicio de zona de estudio, puente Sayan.



Figura 21. Fin de zona de estudio, desembocadura del río Huaura



Figura 22. Preparando equipos para medición de parámetros de agua subterránea



Figura 23. Identificación de punto de monitoreo en el sector de Santa Rosa.



Figura 24. Medición de parámetros de agua subterránea.



Figura 25. Pozo en el sector de Santa Rosa.



Figura 26. Zona costera de la cuenca baja del río Huaura.