

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**



**“EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL
FREÁTICO Y SU INFLUENCIA EN LA SALINIZACIÓN
DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS PAMPAS DE
VILLACURÍ - ICA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

AUTOR: Bach. HEBERT SAÚL URRUCHI PARIONA

ASESOR: Ing. MANUEL RICARDO BACA RUEDA

Two handwritten signatures are present. The top one is in black ink and appears to be 'H. Saúl Urruchi Pariona'. The bottom one is in blue ink and appears to be 'M. Ricardo Baca Rueda'.

Callao, Noviembre, 2018

PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

COMISION DE GRADOS Y TITULOS

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
N° 006-2016-JEDT-FIARN**

Siendo las 11:45 horas del día viernes 09 de diciembre de 2016, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO Y SU INFLUENCIA EN LA SALINIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LAS PAMPAS DE VILLACURÍ-ICA** presentada, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales del Bachiller: Hebert Saúl Urruchi Pariona.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesor a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 059-2016-D-FIARN de fecha 02 de diciembre de 2016, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo	Presidente
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez	Vocal
Ing. Manuel Ricardo Baca Rueda	Asesor

Terminada la exposición, el Jurado Evaluador invita al Bachiller y al público en general se retiren del Auditorio para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **MUY BUENO** da por terminado el acto de exposición.

En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 12:37 horas del día 09 de diciembre de 2016.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
OFICINA DE SECRETARIA GENERAL

EL SECRETARIO GENERAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO que suscribe, CERTIFICA: Que la presente es copia fiel del original. Se expide la presente certificación a solicitud del (a) interesado (a) para los fines que juzgue conveniente

Callao, 26 de NOV. 2018 del 20

Ing. Gabriel Eduardo Escudero Cornejo
Presidente

Lic. Janet Mamani Ramos
Secretaria

Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez
Vocal

Ing. Manuel Ricardo Baca Rueda
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
Oficina de Secretaría General

Lic. Cesar Guillermo Jauregui Lafuente
Secretario Gene

DEDICATORIA

**A mis padres, a mis hermanos y a todos mis
familiares.**

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido a que este trabajo de investigación sea una realidad.

A mi asesor, Manuel Ricardo Baca Rueda, por confiar en mi desde el principio, por el gran esfuerzo de dirección realizado, por permitirme aprender de su conocimiento y sobre todo, por alentarme en el mundo de la investigación desde la fase de realización de la tesis.

Por su colaboración institucional a la “Autoridad Nacional del Agua” y en especial al Ing. Elvis Patrick Risco Olivera - Coordinador de Aguas Subterráneas en ANA, al apostar decididamente por esta línea de investigación y por el inestimable esfuerzo realizado al ser la fuente de financiamiento para llevar a cabo. A la “Autoridad Local de Agua - Ica” por su ayuda en la proporción de la base de datos de las variables independientes de esta investigación.

A mis padres, hermanos y tíos, por su continuo apoyo durante estos cinco intensos años, y por comprender perfectamente mis periodos de ausencia y de distancia.

ÍNDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Identificación del problema.	9
1.2. Formulación del problema.	10
1.3. Objetivos de la Investigación.....	10
1.3.1. Objetivo General.	10
1.3.2. Objetivos Específicos.....	11
1.4. Justificación.	11
1.5. Importancia.	12
1.5.1. Legal.....	12
1.5.2. Social.....	14
1.5.3. Ambiental.....	14
II. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes de la investigación.	15
2.2. Referencia Teórico Conceptual.....	18
III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....	36
3.1. Variables de la investigación	36
3.2. Operacionalización de variables	36
3.3. Hipótesis.	37
IV. METODOLOGÍA	38
4.1. Tipo de investigación	38
4.2. Diseño de la investigación	38

4.3.Población y Muestra.....	38
4.3.1. Población.....	38
4.3.2. Muestra.....	39
4.4.Técnicas e instrumentos de la recolección de datos.....	42
4.5.Procedimientos de recolección de datos	45
4.6.Procesamiento estadístico y análisis de datos	45
V. RESULTADOS.....	55
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
6.1.Contrastación de hipótesis con los resultados.....	61
6.2.Contrastación de resultados con otros estudios similares	61
VII. CONCLUSIONES	64
VIII. RECOMENDACIONES	66
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
X. ANEXOS	72
10.1. Matriz de Consistencia	72
10.2. Otros anexos necesarios para respaldo de la investigación.....	73

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
TABLA N° 4.1. Número de pozos a analizar	40
TABLA N° 4.2. Conductividad eléctrica y nivel freático	47
TABLA N° 4.3. Conductividad eléctrica y nivel freático corregida	52
TABLA N° 4.4. Segmentación de los 22 pozos	53
TABLA N° 5.1. Evaluación del nivel freático y C.E	57

ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina
CUADRO N° 2.1. Desbalance hídrico en el acuífero del valle de Ica	19
CUADRO N° 2.2. Interpretación de coeficiente de determinación	35
CUADRO N° 5.1. Coeficiente de correlación de SPEARMAN	56
CUADRO N° 10.1. Limite tolerables de potabilidad	78
CUADRO N° 10.2. Potabilidad de aguas subterráneas de Valle Ica - Villacurí 2009	78

ÍNDICE DE GRAFICAS

	Pagina
GRAFICO N° 4.1. Ubicación de los 22 pozos	41
GRAFICO N° 5.1. Dispersión matricial	55
GRAFICO N° 5.2. Regresión lineal y velocidad de descenso de la zona I	58
GRAFICO N° 5.3. Regresión lineal y velocidad de descenso de la zona II	58
GRAFICO N° 5.4. Regresión lineal y velocidad de descenso de la zona III	59
GRAFICO N° 5.5. Regresión lineal y velocidad de descenso de la zona IV	59
GRAFICO N° 5.6. Regresión lineal y velocidad de descenso de la zona V	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina	
FIGURA N° 2.1.	Isopropundidad de la napa acuífero Pampas de Villacurí - junio 2013	22
FIGURA N° 2.2.	Consecuencias de la variación del nivel freático	23
FIGURA N° 2.3.	Flujo de agua subterránea en Pampas de Villacurí - junio 2013	27
FIGURA N° 2.4.	Isoconductividad de la napa acuífero Pampas de Villacurí - junio 2013	32
FIGURA N° 4.1.	Medición de Nivel Freático	44
FIGURA N° 4.2.	Medición de Conductividad Eléctrica	45
FIGURA N° 10.1.	Mapa hidrogeológico de la cuenca del rio Ica	74
FIGURA N° 10.2.	Condiciones geoelectricas Villacurí: fundo casuarinas, Perutom, agroindustrias Backus, agrícola llano verde	76
FIGURA N° 10.3.	Condiciones geoelectricas Villacurí: fundo Florisur, San Gregorio, El Recuerdo, Pampa, Rincón.	77
FIGURA N° 10.4.	Registro de datos en las columnas del SPSS	81
FIGURA N° 10.5.	Propiedades de las variables en el SPSS	82
FIGURA N° 10.6.	Calculando el coeficiente de SPEARMAN	82
FIGURA N° 10.7.	Ventanas de MINITAB	84
FIGURA N° 10.8.	Informe resumen de diagrama de dispersión	85

RESUMEN

Las Pampas de Villacuri está ubicado a 13° 55' 25,7" latitud sur y 75° 50' 39,3" latitud norte, perteneciente la provincia de Ica y distrito de Salas. En Villacurí el agua extraída de 300 pozos son utilizados para el cultivo de esparrago, ají paprika, vid, entre otras. En los últimos 20 años se observa el crecimiento continuo de superficies cosechadas de estos productos, lo que genera una demanda mayor de las aguas subterráneas.

Los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua - ANA no solo confirman la sobreexplotación sino un serio problema de descenso y degradación de la calidad del agua subterránea de este acuífero. El problema continúa además porque debido a la agresividad de la actividad agroexportadora, algunos pozos alcanzan altos niveles de salinidad que los hacen inaceptables para la agricultura y el consumo humano. Estos impactos ambientales influyen en la escases del recurso hídrico subterráneo, que no permite un desarrollo de una agricultura de exportación óptima.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí. Así también; determinar la velocidad de descenso del nivel freática y vida útil de los pozos.

Para evaluar la correlación se tomó una muestra de 22 pozos de una población de 178 pozos, con datos desde 1998 al 2014. Para determinar esta correlación se utilizó el coeficiente de correlación SPEARMAN en el SPSS 22. Para estimar la velocidad de descenso del nivel freático y vida útil de los pozos, se dividió en cinco (5) zonas el área de estudio, en las cuales se aplicó regresión lineal en MINITAB 16.

Como conclusión de la investigación se tiene que el descenso del nivel freático no influye directamente en la salinización del acuífero; debido que el coeficiente de SPEARMAN nos da como resultado -0,033. Determinándose que la zona IV es la más crítica, con 139,28 cm/año de velocidad promedio de descenso y vida útil del pozo sería 7 años para una muestra de 5 pozos. Asimismo; la zona V tiene 75,74 cm/año de velocidad promedio de descenso y vida útil del pozo sería 13 años para una muestra de 2 pozos; la zona III tiene 72,95 cm/año de velocidad promedio de descenso y vida útil del pozo sería 14 años para una muestra de 6 pozos; la zona II tiene 56,74 cm/año de velocidad promedio de descenso y vida útil del pozo sería 18 años para una muestra de 6 pozos; la zona I tiene 26,62 cm/año de velocidad promedio de descenso y vida útil del pozo sería 37 años para una muestra de 3 pozos.

ABSTRACT

The Pampas de Villacuri is located at 13 ° 55 '25.7 "south latitude and 75 ° 50' 39.3" north latitude, pertaining to the province of Ica and Salas district. Water extracted in Villacurí from 300 water well is used for growing asparagus, paprika peppers, vine, among other plants. In the last 20 years, it observes the continuous growth of these products, what generates a greater demand of underground waters.

Studies made by the Autoridad Nacional del Agua - ANA not only confirm the overexploitation of this resource, they also prove that degradation of the quality of underground water is a serious problem of this aquifer. The problem continues, due to the aggressiveness of the agro-export activity, some water wells reach high levels of salinity that make it unacceptable for agriculture and human consumption. These environmental impacts influence the lack of underground water resource that do not permit an optimum export activity of the agriculture.

The present research aims to evaluate the variation of the water table and its influence on the salinization of groundwater in the Pampas de Villacurí. In addition, determine the descent speed of the freatic level and the service life of the water wells.

To assess the Correlation, it took a sample of 22 wells of a population of 178, this data belongs to the period since 1998 to 2014. To determine correlation, it used SPEARMAN correlation coefficient in the SPSS 22. To estimate the descent speed

of the freatic level and the service life of the water wells, was divided into five (5) areas of study área, it used Minitab 16.

This research conclude that the descent speed of the freatic level does not directly influence the salinization of the aquifer, because SPEARMAN coefficient gives results -0033. Besides, it determines that zone IV is the most critical, with 139.28 cm/year of average descent speed and service life of 7 years for a sample of 5 wells. Likewise; Zone V is 75.74 cm / year average descent velocity and well life would be 13 years for a 2-well sample; Zone III has 72.95 cm / year of average descent velocity and well life would be 14 years for a sample of 6 wells; Zone II has 56.74 cm / year of average descent velocity and well life would be 18 years for a sample of 6 wells; Zone I has 26.62 cm / year of average descent velocity and well life would be 37 years for a sample of 3 wells.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema.

En Sudamérica la mayor cantidad de agua es destinada al uso agrícola expresado en casi el 70 % del recurso utilizado en comparación al menos del 10 % del agua que es destinada al consumo humano y el casi 20 % para las industrias.

El Perú tiene una gran cantidad de agua superficial per cápita anual de 2 046 287 MMC/año¹; pero su distribución geográfica, climática y topográfica, no permite muchas veces su aprovechamiento óptimo y eficiente.

En los últimos años (2001 hasta el 2012) en el Perú se ha incrementado en 4,8 % el PBI, este incremento fue aportado por el sector agropecuario. Ica registra la mayor tasa de crecimiento anual del PBI entre el 2001 y 2012 en 7,6 %, este crecimiento sostenible es consecuencia del Desarrollo de la Agroindustria y de la Manufactura, ambas industrias soportadas en la agro-exportación. Sin embargo a pesar de este auge Ica debe enfrentar dos amenazas: la falta de agua y escaso desarrollo de su infraestructura.

Ica está utilizando una gran cantidad de agua para el desarrollo de la agricultura, y debido al tipo de clima subtropical seco, el valle se abastece de los acuíferos para regar los terrenos agrícolas. En la actualidad el manejo del recurso en Ica y

¹ AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Situación de los Recursos Hídricos en el Perú. Lima, Perú. 2015

Pampas Villacurí no es el adecuado, la Autoridad Nacional de Agua (ANA) ha calculado que el acuífero de Ica tiene la mayor explotación, 563 350 000 m³, que representa el 35 % de la explotación de aguas subterráneas a nivel nacional².

Los principales problemas de Villacurí son; la ausencia de agua superficial y el agotamiento del agua subterránea. La advertencia la han formulado conocidos especialistas y productores del valle de Villacurí después de realizar nuevos estudios del acuífero en este sector. No solo se confirma la sobreexplotación del recurso, sino un serio problema de descenso y degradación de la calidad de las aguas que forman parte del nivel freático en los pozos. El problema continúa además porque, debido a la agresividad de esta actividad, algunos pozos alcanzan altos niveles de salinidad que los hacen no apto para el riego agrícola y el consumo.

1.2. Formulación del problema.

¿La variación del nivel freático influye en el aumento de la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí - Ica?

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí – Ica.

² AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Plan de Gestión de los Acuíferos Ica, Villacurí y Lanchas. Lima, Perú. Octubre 2012

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar la variación del nivel freático en las Pampas de Villacurí para obtener la velocidad de descenso del nivel freática (m/año).
- Evaluar la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí a través de la Conductividad eléctrica
- Plantear alternativas de solución para mejorar la cantidad y calidad de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí.

1.4. Justificación.

El presente trabajo se va a enfocar en la evaluación de la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí – Ica, a causa de la sobreexplotación de pozos de agua subterránea.

Con este estudio se podrá obtener la velocidad de descenso del nivel freático, vida útil de los pozos y analizar la correlación entre nivel freático con la salinización. Estò con el fin de realizar recomendaciones para las zonas y pozos más críticos del acuífero de Pampas de Villacurí, de tal manera que las autoridades competentes implementen medidas para prevenir el agotamiento y la salinización de las reservas de los acuíferos; para evitar la afectación la producción de cultivo de agroexportación por falta de agua y salinización.

1.5. Importancia.

1.5.1. Legal.

Cumplir con la Normatividad Legal Vigente en la cual resaltamos los siguientes:

- Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos: La protección de los recursos hídricos estuvo regulada anteriormente en el Perú por la Ley General de Aguas (Decreto Legislativo N° 17752 y sus Modificaciones). Desde el 31 de marzo del 2009 entró en vigencia la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a ésta, promoviendo la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenibilidad en la gestión por cuencas hidrográficas y acuíferos, para la conservación e incremento de la disponibilidad del agua, así como para asegurar la protección de su calidad. (título IX Aguas Subterráneas, artículos 108 al 113 principalmente)

- Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental - ECA para Agua, D.S N° 002-2008-MINAM: Tiene como objetivo establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representa riesgos significativos para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental clasifican los cuerpos de agua del país respecto a sus usos, ya sean terrestres o marítimos.

- Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, Modificadorias de ECA para Agua. Para evaluar la calidad de las aguas subterráneas de Pampas de Villacurí, se tomará como referencia la clasificación según Categoría 3 (Riego de vegetales y bebidas de animales); debido a que actualmente no se cuenta con el ECA para aguas subterráneas en el Perú.
- Resolución Jefatural N° 330-2011-ANA: Ratifican condición de Veda de los Acuíferos de Ica, Villacurí y Lanchas.
- D.S N° 023-2014-MINAGRI. Modifican el reglamento de la Ley N° 29338, artículos 1, artículo 85 numeral 85.3 Tratándose de licencias para uso de aguas subterráneas, la instalación de medidores de caudal instantáneo y de volumen en metros cúbicos, constituye condición previa para el otorgamiento de la licencia de uso de agua. También, en la segunda disposición complementaria, indica un plazo máximo de nueve meses computados a partir de la vigencia del presente decreto, los titulares de licencia de uso de aguas subterránea deben instalar los sistemas de medición.
- Resolución Jefatural: N° 007-2015-ANA: Menciona en el subcapítulo II, artículo 24 las disposiciones especiales para el otorgamiento de “licencia de uso de agua subterránea”. También se menciona que vencido el plazo

señalado en el D.S N° 023-2014-MINAGRI, la ALA efectuara las acciones de supervisión y de ser el caso iniciara los procedimientos sancionadores contra quienes haya incumplido, previa oportunidad para que subsanen la omisión voluntariamente.

1.5.2. Social.

La disponibilidad de agua subterránea con fines de aprovechamiento para la agricultura de exportación por parte de los agricultores de la zona.

1.5.3. Ambiental.

Conservar la cantidad y calidad de las aguas subterráneas en el acuífero de las Pampas de Villacurí - Ica.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

- A través de 1 760 pozos de uso de aguas subterráneas, se explota 597 000 000 m³/año de aguas subterráneas (597 hm³/año) en el área estudiada (Valle de Ica, Pampas de Villacurí y Lanchas). En Las Pampas de Villacurí se cuenta con 460 pozos (con licencia 139 y sin licencia 321) de uso de agua subterránea en la cual se explota 228 000 000 m³/año de aguas subterráneas (228 hm³/año), lo cual equivale al 38,2 % del área de estudio. Teniendo en las Pampas de Villacurí una sobreexplotación de 165 000 000 m³/año de aguas subterráneas (165 hm³/año). Esto demuestra que las aguas subterráneas en Las Pampas de Villacurí se están sobreexplotando. La explotación anual de aguas subterráneas en 49 acuíferos evaluados por la ANA, asciende a 1 630,13 hm³. El mayor volumen explotado se presenta en el uso agrícola con 1 152,73 hm³.³

La cuenca del río Seco se encuentra entre los ríos Pisco e Ica, y no cuenta con recursos hídricos superficiales, razón por la cual las explotaciones agropecuarias, son abastecidas con aguas subterráneas. Las dos principales áreas de explotación agrícola de la cuenca, son las denominadas Villacurí y Lanchas. Hasta fines de la década de los 80's, las áreas desarrolladas en las pampas de Villacurí se mantenían alrededor de las 3 000 ha, duplicándose para

³ AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Plan de Gestión de los Acuíferos Ica, Villacurí y Lanchas. Lima, Perú. Octubre 2012

el año 2000 (6 620 ha) y llegando en el año 2006 a 13 152,90 ha bajo riego, más 679,20 ha de granjas y unas 3 474,00 ha en descanso; existiendo 21 956,20 ha de eriazos con cuatro clases de tierras, de las cuales 6 480,70 se consideran arables e incorporables a la agricultura. Actualmente en la zona de Río Seco se siembra mayoritariamente espárragos (6 575 ha) y cítricos (mandarina principalmente, 2 630 ha) en Villacurí y 1 560 ha y 780 ha de dichos cultivos respectivamente en Lanchas. El problema central se define como la disminución de las reservas de agua subterránea provocada por una sobre explotación de los pozos y su insuficiente recarga natural. Este proyecto tiene como objetivo central en el Incremento de las reservas explotables de los acuíferos del Río Seco con el fin de ampliar y potenciar la capacidad productiva de la zona en base a una recarga artificial que mejoraría las reservas no solo en cuanto a su volumen sino también en cuanto a su calidad⁴

- La costa mediterránea de la Península Ibérica está densamente poblada y muestra una intensa actividad económica basada fundamentalmente en agricultura, turismo e industria, lo que implica unas necesidades hídricas muy importantes. Las características meteorológicas propias de la zona, donde imperan los veranos secos y calurosos, obligan a que el consumo de agua durante gran parte del año se suministre de los recursos subterráneos. En la mayor parte de los casos, este hecho se traduce en una intensa explotación de los acuíferos costeros en las épocas del año que precisamente cuentan con una

⁴ INRENA. Afianzamiento Hídrico en la cuenca del río Seco. Lima, Perú. Mayo 2008

recarga mínima, induciendo a la aparición de procesos de intrusión marina. Según la Ley de Aguas de 1985, en la costa mediterránea de la Península Ibérica se distinguen 49 Unidades hidrogeológicas de las cuales el 70 % están afectadas en mayor o menor medida por intrusión marina (Gómez et al. 2003. Calvache y Pulido. 1991; 1993; 1994; 1996; 1997; Calvache et al. 2006). El hecho de que existan acuíferos afectados por intrusión marina obligará a utilizar un agua para riego con elevado contenido salino. La intrusión marina, por lo tanto es un proceso muy grave, no sólo porque contamina e inutiliza grandes volúmenes de recursos hídricos subterráneos, sino porque es un factor agravante en el proceso de desertificación que está padeciendo la región peri-mediterránea⁵.

- Los resultados de los estudios geoquímicos del agua coinciden plenamente con las rutas de migración de la intrusión salina, y con el cono de abatimiento formado por la extracción de agua. Se encontraron seis familias de aguas, predominando los tipos bicarbonatada cálcica y clorurada sódico-cálcica. Existen al menos 60 m de espesor promedio de agua salobre y/o salina (> 2 000 S/cm), con valores que varían entre 2,900 y 40,800 S/cm. Los valores máximos de trazas como bromuros, estroncio, litio y boro se concentran en las zonas de mayor intrusión salina. La intrusión de agua marina ha penetrado gran parte del acuífero de la Costa de Hermosillo, especialmente por dos áreas bien definidas,

⁵ MARÍA LUISA CALVACHE QUESADA. Proyecto de investigación alerta a la intrusión marina en el acuífero Motril - Solobrefia. Granada, España. Febrero 2008

no existen dos diferentes acuíferos, solo semiconfinamientos dentro de un solo acuífero y por debajo de esta unidad hidrogeológica, se encuentra agua muy antigua (agua fósil) almacenada en sedimentos detríticos marinos y rocas volcánicas⁶.

2.2. Referencia Teórico Conceptual.

2.2.1. Bases Científicas

a. Acuífero

Es toda formación geológica que contiene agua ocupando la totalidad de los vacíos y que la transmite de un punto a otro en cantidades suficientes, recibe el nombre de acuífero. En contraste, un Acuicludo es una formación que contiene agua pero que no la transmite con la rapidez suficiente para proveer un abastecimiento significativo a un pozo o a un manantial. Un Acuífugo no tiene intersticios interconectados y no puede retener o transmitir el agua⁷.

- **Situación del acuífero en las Pampas de Villacurí**

La recarga del acuífero en el valle de Ica y Pampas Villacurí es de 322 Mm³ y 149 Mm³ respectivamente, lo cual hace la suma de 471 Mm³. Por otro lado la descarga del acuífero en el valle de Ica y Pampas Villacurí es de 335 Mm³ y

⁶ ROGELIO MONREAL, JOSÉ CASTILLO, MIGUEL RANGEL, MARIANO MORALES, LUCAS ANTONIO OROZ Y HERNÁN VALENZUELA. **La intrusión en el acuífero de la costa de Hermosillo**, Sonora, Mixco. Octubre 2001

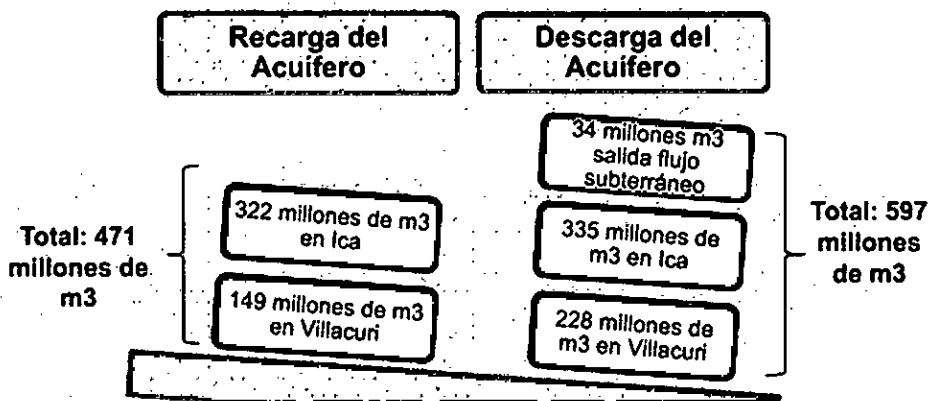
⁷JORGE OYARZÚN M. **Léxico sobre procesos y estructuras geológicas**. La Serene, Chile. 2009.

228 Mm³ respectivamente, y también existe una salida de flujo subterráneo de 34 Mm³.

Las descargas de agua en el Valle de Ica y las pampas de Villacurí hacen un total de 597 Mm³, entonces se genera un desbalance hídrico de 126 Mm³ de agua subterránea⁸ (véase el cuadro N° 2.1). Esto podría llevar al agotamiento y desertificación de las tierras regadas por este tipo y fuente de agua.

CUADRO N° 2.1

DESBALANCE HÍDRICO EN EL ACUÍFERO DEL VALLE DE ICA



Fuente: Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua - ANA.

- **Explotación de acuíferos**

Pampas de Villacurí por sus condiciones climáticas, posee escasez de precipitaciones y con ello el flujo de agua en las fuentes superficiales es de poca magnitud, es por ello que se recurre al uso de los acuíferos para todas las actividades (agricultura, consumo, agroindustria, etc.). Lo mencionado

⁸CECILIA BLUME C. Problemática del agua en Ica. Lima, Perú. Ambiental peruana. Noviembre 2010

anteriormente se puede demostrar con el incremento de los pozos perforados en el valle de Ica y Pampas Villacurí desde el año 2000 al 2009. En el valle de Ica se ha incrementado el 55 % de pozos, mientras que en Villacurí el 95 %⁹.

- **Permeabilidad**

Es la capacidad que tiene un material para permitir el paso de fluidos a través de él. Esta propiedad depende principalmente de tres factores que son la porosidad, el tamaño de grano y la naturaleza sus partículas. El limo y la arcilla son materiales muy porosos, sin embargo son poco permeables debido al pequeño tamaño de sus partículas y a su gran capacidad de retención de agua. Con las arenas ocurre lo contrario, aunque son menos porosas, sus partículas son de mayor tamaño y tienen menor capacidad de retención de agua, por ello son unos materiales muy permeables. También son permeables las rocas consolidadas que tengan grietas y fracturas, sobre todo si éstas se encuentran interconectadas, pues a través puede haber una buena circulación del agua.¹⁰

b. Nivel Freático

El nivel freático es la distancia de la superficie al subsuelo en donde se encuentra la primera capa del agua subterránea, la cual se puede extraer perforando pozos tubulares por bombeo o manuales. Este nivel freático, mientras exista una gran explotación del recurso hídrico subterráneo, sumado

⁹CECILIA BLUME C. **Problemática del agua en Ica**. Lima, Perú. Ambiental Peruana. Noviembre 2010

¹⁰ A. DEL VALLE GONZÁLEZ, M.P. NIÑO SACRISTÁN. **El Agua Subterránea**. Disponible en: <http://cogecesmonte.galeon.com/periodicos/pe111al120/eas120.htm>. Artículo web. Consultado el 21 de noviembre del 2015.

con una baja recarga del acuífero va descendiendo constantemente con el tiempo, hasta el agotamiento total.

El nivel freático, el límite superior de la zona de saturación, es un elemento muy significativo del sistema de aguas subterráneas. El nivel freático es importante para predecir la productividad de los pozos y explicar los cambios de flujo de las corrientes y los manantiales, justificando las fluctuaciones del nivel de los lagos¹¹.

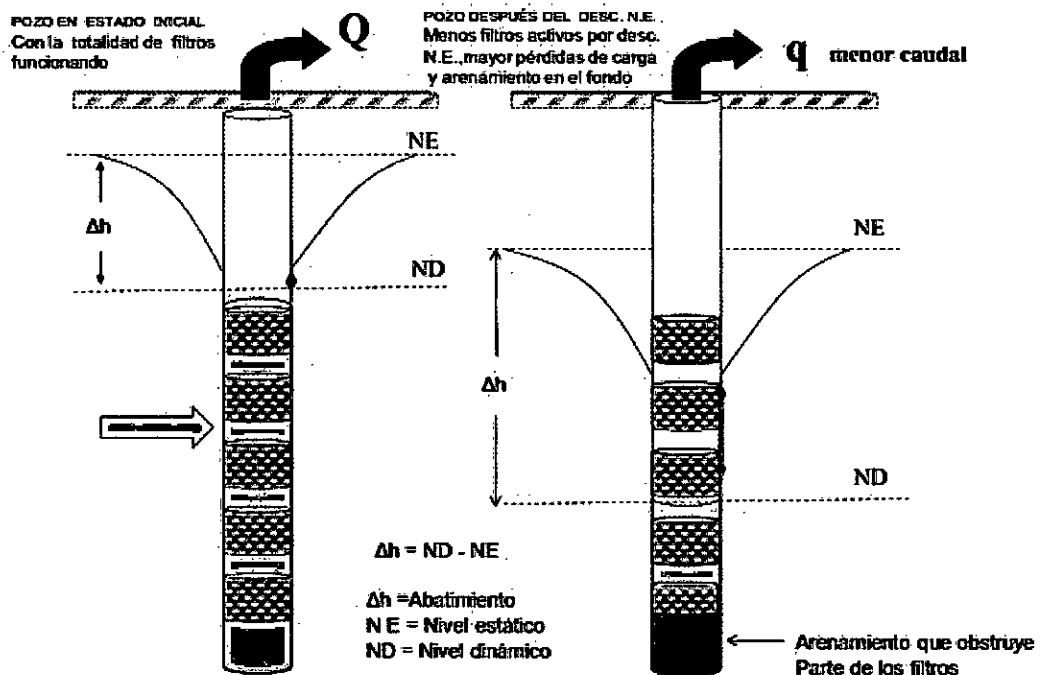
El nivel estático en las Pampas de Villacurí se encuentra a 350 m.s.n.m., los materiales que se pueden encontrar dentro del acuífero son material grueso permeable, mezclado menos permeable, fino permeable e impermeable, el acuífero de las Pampas de Villacurí posee en su mayoría material grueso permeable y fino permeable, el cual hace que la infiltración de agua sea más rápida. (Véase la figura N° 2.1. en la página “22”)

¹¹EDWARD J. TARBUCK, FREDERICK K. LUTGENS. **Ciencias de la Tierra, una Introducción a la Geología Física**. Madrid, España. Pearson Educación S.A. Octava edición. 2005

- **Variaciones en el nivel freático**

La profundidad del nivel freático es muy variable y puede oscilar entre cero, cuando se sitúa en la superficie, y centenares de metros en algunos lugares. Una característica importante del nivel freático es que su configuración varía según las estaciones y de un año a otro, porque la adición de agua al sistema de aguas subterráneas está estrechamente relacionada con la cantidad, la distribución y la frecuencia de las precipitaciones. Excepto cuando el nivel freático se sitúa en la superficie, no podemos observarlo directamente. Sin embargo, su elevación puede cartografiarse y estudiarse en detalle allí donde los pozos son numerosos porque el nivel del agua en los pozos coincide con el nivel freático (véase la figura N° 2.2).

FIGURA N° 2.2
CONSECUENCIAS DE LA VARIACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO



Fuente: Autoridad Nacional del Agua - ANA

- **Descenso de los niveles piezométricos.**

Los descensos progresivos y continuados del nivel de agua en los pozos de bombeo pueden conducir a un descenso de los caudales obtenidos o incluso al secado de los pozos. Además el aumento de los costes energéticos debidos a la extracción del agua a mayor profundidad puede hacer económicamente inviable la explotación de los pozos.

A menudo se tiende a considerar como sobreexplotado un acuífero en el que se aprecia una tendencia de descenso de niveles durante una serie de años, sin considerar aspectos esenciales como las características hidrogeológicas y tamaño del acuífero o la secuencia climática.¹²

c. Agua subterránea

El agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo, en los distintos estados y relaciones de composición con la parte sólida y gaseosa, se conoce como agua subterránea.

Representa una fase muy importante del ciclo hidrológico ya que la mayor parte del flujo en corrientes permanentes de agua proviene del agua subterránea.

¹²JOSÉ JAVIER CLÚA. **Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas.** Madrid, España. Realigraf S.L. Enero de 2000

- **Flujo de agua subterránea**

En el sub-suelo el agua fluye tanto en dirección vertical como horizontal; sin embargo las condiciones de este movimiento son muy variadas e influenciadas por diferentes factores principalmente geológicos. El movimiento vertical se da por el proceso natural e infiltración hacia capas inferiores en el subsuelo. Horizontalmente el agua generalmente se mueve de las áreas de mayor altura a las de menor altura relativa. Otro aspecto relevante respecto al flujo del agua subterránea es la velocidad de éste, la cual depende del gradiente hidráulico y de una propiedad del material geológico llamada conductividad hidráulica, misma que puede conceptualizarse como una medición de la facilidad con la que ocurre el flujo de agua a través de los medios porosos. Por ejemplo: el agua fluye más rápido por la grava que por la arcilla muy fina; de lo cual se deriva que la conductividad hidráulica de la grava es mayor, propiedad que depende de otras características de los materiales geológicos, incluido el diámetro del grano y la porosidad¹³. (Véase la figura N° 2.3. en la página “27”)

- **Sobre-explotación de las Aguas Subterráneas**

Aunque existen distintos criterios técnicos que determinar si un acuífero se encuentra en proceso de explotación intensiva, incluyendo el cambio de la composición química, y otros efectos de carácter socio-económico como las migraciones, disminución de productos agrícolas y escasez en el suministro de

¹³ JUAN JULIO ORDOÑEZ GÁLVEZ. *Aguas Subterráneas-Acuíferos*. Lima, Perú. Primera edición. 2011

agua potable; el descenso permanente de los niveles de agua subterránea en función de tiempo y espacio, constituye uno de los más representativos, el cual es producto del desbalance de las aguas subterráneas. Sin embargo el descenso de los niveles se puede atribuir no solamente a la explotación intensiva de las aguas subterráneas, sino también a la falta de recarga de los acuíferos, ya sea por los períodos largos de sequía o por la expansión poblacional en las zonas de recarga. Por esta razón, las observaciones de niveles deben ser por un periodo mínimo de diez a quince años para poder definir si se trata de un caso de sobre-explotación¹⁴.

- **Contaminación de aguas subterráneas**

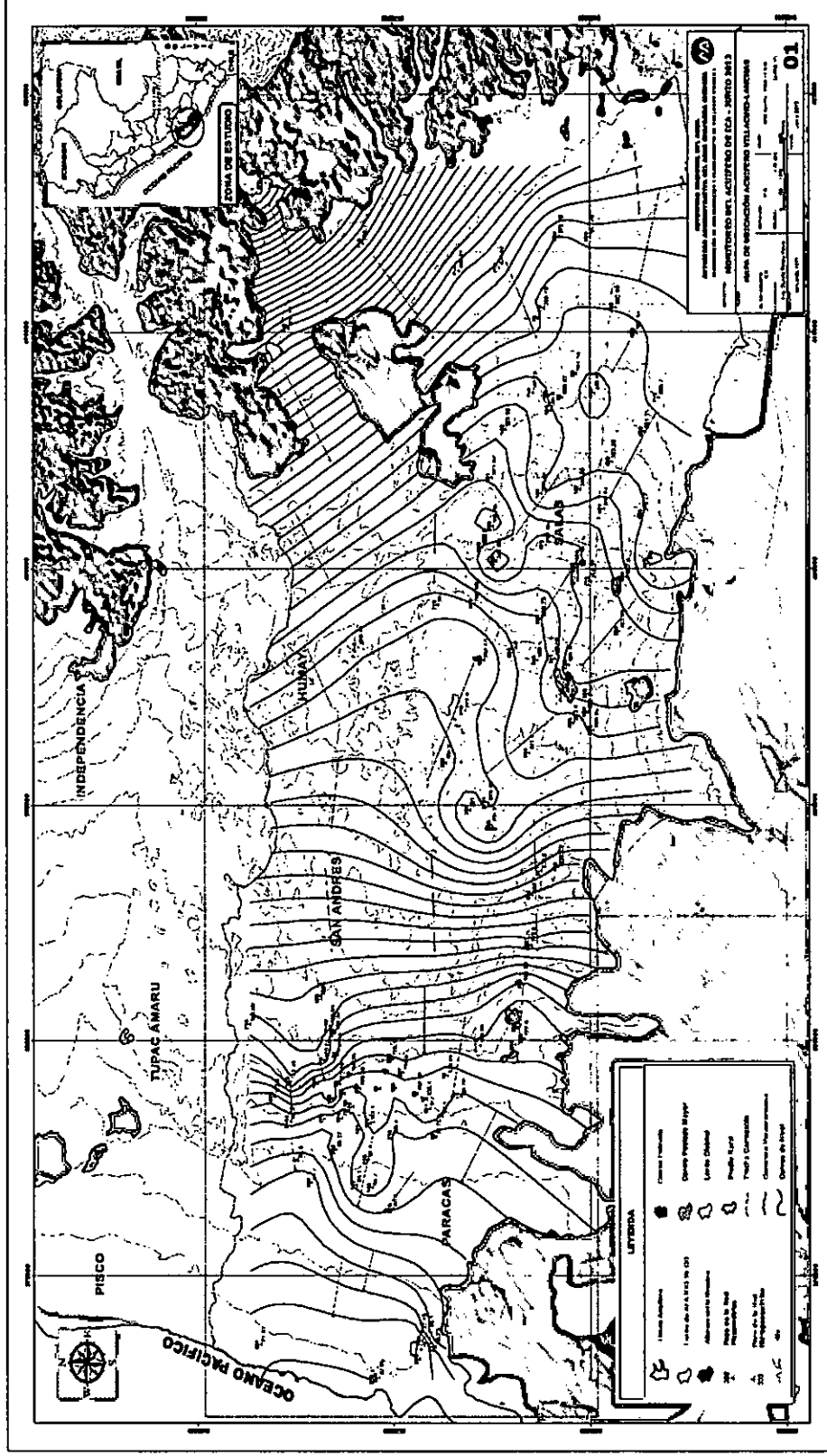
La contaminación del agua subterránea puede considerarse más grave que la del agua superficial, debido que el acuífero tiene el flujo lento y volúmenes grandes, limitan la eliminación de la contaminación en éstos, pues se necesita mucho tiempo para que se renueve completamente el agua contenida en ellos, e incluso entonces el problema persiste por las sustancias que quedaron absorbidas en los mismos¹⁵.

¹⁴ NORBERTO O. BELLINO. **Aguas Subterráneas Conocimiento y Explotación**. Buenos Aires, Argentina. Instituto de Ingeniería Sanitaria Facultad de Ingeniería. 2012.

¹⁵ JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE. **Contaminación de aguas subterráneas por lixiviación provenientes de sepulcros bajo suelo en el camposanto "Parques del Paraíso" Lurín - Lima**. Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias Ambientales. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2007.

FIGURA N° 2.3

FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN PAMPAS DE VILLACURÍ - JUNIO 2013



Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

En general, los contaminantes entran al medio subterráneo a través de:

- La disposición de líquidos o productos solubles con el agua, sobre la superficie del terreno.
- El entierro de sustancias en el subsuelo, por encima del nivel freático.
- La inyección de materiales en el subsuelo por debajo del nivel freático.
- El transporte de contaminantes solubles desde un río “influyente”.

La migración de los contaminantes en los suelos y en los estratos geológicos de los acuíferos depende mucho de sus propiedades fisicoquímicas, y contenidos de sales presentes en estos. Mientras más soluble en agua sea una sustancia, con mayor probabilidad bajará verticalmente por el suelo hasta el acuífero, y migrará con el agua; es probable que éste tipo de sustancias atraviesen el suelo y estratos geológicos y lleguen a un acuífero. Las sustancias poco solubles en agua, cuando migran por el agua subterránea generalmente lo hacen en fase no acuosa, las mismas que según su densidad respecto al agua, se dividen en ligeros de fase no acuosa (menos densos que el agua), los cuales tenderán a “flotar” sobre el nivel freático y, denso de fase no acuosa, los cuales tenderán a “hundirse” en el acuífero.

- **pH**

El pH es la medida de la concentración de ión hidrógeno en el agua y es utilizado como índice de alcalinidad o acidez.

- En la Zona IV de las aguas subterráneas en la pampa de Villacurí, el pH varía de 6,00 a 8,60, valores que representan aguas ácidas a alcalinas, observándose el máximo valor en el pozo IRHS N° 11/01/08 – 539.

- **Dureza total**

La dureza es una medida del contenido de calcio y magnesio y se expresa generalmente como equivalente del calcio y carbonato (CO₃).

- En la zona IV la dureza de las aguas subterráneas en la pampa de Villacurí varía de 80 a 4 103 ppm de CaCO₃, valores que representan aguas dulces a muy duras respectivamente, y hay que resaltar que en la pampa de Mutaca las aguas son dulces.

- **Aguas Subterráneas en Villacurí-Ica**

Es una unidad hidrogeológica que da su extensión, capacidad de almacenamiento y transmisión del recurso hídrico.

Los acuíferos más desarrollados del Perú se encuentran en Ica-Villacurí. En Ica, existe un total de 2 193 pozos inventariados, de los cuales 1 554 están en uso o son utilizables. El acuífero de Ica se tiene la mayor explotación 563,35 Hm³. que representa el 35 % de la explotación de aguas subterráneas a nivel nacional¹⁶. De allí la importancia que ha tenido y tiene como fuente de agua

¹⁶ AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Plan de Gestión de los Acuíferos Ica, Villacurí y Lanchas. Lima, Perú. Octubre 2012.

para el desarrollo de la agricultura en Ica. El afloramiento del agua subterránea en la zona dio lugar a las lagunas más hermosas y tradicionales como Huacachina.

En el valle de Ica, entre un 55 % y 80 % del agua utilizada proviene de pozos, según la disponibilidad de aguas de fuente superficial, mientras que en Villacurí el 100 % de las aguas utilizadas provienen de pozos. Ica y Villacurí poseen una completa red de control piezométricos e hidrogeoquímico que abarca unos 220 pozos, y el volumen de la reserva del acuífero ha sido determinado en 3 758,5 Hm³ al año 2003; sería la mayor reserva de agua subterránea hasta ahora identificada en Perú.

Pozos tubulares construidos en zonas áridas de Ica tienen por lo general profundidades entre 40 m y 100 m; nivel freático entre 10 y 30 m y caudales que se obtienen varían entre 12 y 100 l/s.¹⁷

d. Salinización

Acumulación excesiva de cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio en aguas y suelos, provocando el deterioro de esos recursos naturales. (Véase la figura N° 2.4. en la página “32”)

¹⁷ AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Plan de Gestión de los Acuíferos Ica, Villacurí y Lanchas. Lima, Perú. Octubre 2012.

Ejemplo de este fenómeno es el proceso por el cual, debido a la explotación intensa del agua subterránea, se salinizan acuíferos dulces en la costa de los mares, aumentando el contenido en sulfatos y cloruros de sodio y magnesio, entre otros y tornando el agua no apta el riego de cultivos.

e. Curva hidroisohipsas o isopiezas

Son líneas de igual altura de agua. A partir de las curvas de isopiezas se trazan las líneas de flujo o líneas de corriente que deben ser perpendiculares a las curvas de isopiezas. Para trazar las isopiezas, hay que tener en cuenta las condiciones del límite o borde del acuífero, es decir, si el borde es impermeable o permeable. En el caso de un borde impermeable, no existe flujo a su través y las curvas de isopiezas son perpendiculares.

2.2.2. Definición de Términos.

a. Agua Subterránea

Agua que llena todos los espacios interconectados de una roca o sedimento. Su límite superior se denomina nivel freático. Sobre ese nivel se encuentra la zona vadosa, en la cual el agua está presente en su descenso hacia el nivel freático, pero sin llenar todos los espacios interconectados.

b. Nivel Freático.

Es la altura de un punto, con respecto a un nivel de referencia, donde las aguas subterráneas tienen una presión igual a la atmosférica. Es aquel nivel debajo del cual todos los espacios interconectados de una roca o sedimento están saturados de agua. Sobre el nivel freático se encuentra la zona vadosa, donde el agua se encuentra “de paso” en su desplazamiento hacia el nivel freático.

c. Conductividad Eléctrica del Agua.

Es la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica y es lo contrario de la resistencia y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua.

d. Coeficiente de Correlación de SPEARMAN

Es una medida de asociación entre dos variables medidas bajo escala ordinal, intervalar o de razón, previa asignación de rangos a sus valores¹⁸.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$d_i = \text{ran}(x_i) - \text{ran}(y_i)$$

$r \rightarrow 1$. Si su valor se aproxima a 1 existe una asociación directa entre las variables.

$r \rightarrow -1$. Si su valor se aproxima a -1, existe una asociación inversa entre las variables.

$r \rightarrow 0$. Si su valor se aproxima a cero no existe asociación entre las variable

¹⁸ DOUGLAS C. MONTGOMERY & GEORGE C. RUNGER. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. California, EE.UU. John Wiley & Sons. Tercera edición. 2003

e. Modelos de Regresión

El análisis de regresión es una técnica estadística para el modelado y la investigación de la relación de influencia de una o más variables regresoras o predictoras, sobre una variable denominada de respuesta o dependiente.

- **Modelo de Regresión Lineal Múltiple**

Expresa en forma cuantitativa las relaciones entre un conjunto de variables; una variable denominada dependiente o de respuesta y las otras denominadas covariables, explicativas (regresoras, predictoras) o independientes.

Si se extrae una muestra aleatoria de tamaño “n” de una población donde Y e X_1, X_2, \dots, X_k , se relacionan linealmente, entonces cada observación de la muestra puede expresarse como:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + \varepsilon_i$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

El modelo se puede representar matricialmente como:

$$Y = \beta * X + \varepsilon$$

Donde:

Y: Vector de variables observables (vector de respuestas)

X: Matriz de variables regresoras (predictoras o independientes)

β : Vector de parámetros desconocidos.

$\beta * X$: Componente sistemática

ε : Componente aleatoria del modelo (perturbaciones).

Para determinar el grado de correlación es importante tener el coeficiente de determinación “R²”, el cual tiene una interpretación según el valor obtenido en la regresión¹⁹ (véase en el cuadro N° 2.2)

CUADRO N° 2.2

INTERPRETACIÓN DE COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

Valor de R ²	Significado
+/- 1	Correlación directa o indirecta perfecta. Positiva o negativa.
+/- 0,60 a +/- 0,95	Alta correlación directa o indirecta.
+/- 0,35 a +/- 0,59	Baja correlación.
0	No existe correlación.

Fuente: D.C. Montgomery

¹⁹ D.C. MONTGOMERY, E.A. PECK, G. Introducción al Análisis de Regresión Lineal. Geoffrey Vining. Tercera edición. 2002.

CAPITULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

3.1.1. Variable Independiente: Variación del nivel freático de agua subterránea

Indicador:

- Nivel freático (m).

3.1.2. Variable Dependiente: Salinización

Indicadores:

- Conductividad eléctrica (dS/m).

3.2. Operacionalización de variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis formulada fue necesario operacionalizarla a través de sus variables y de los indicadores de cada una de ellas, es así que a través de la relación causa – efecto se evaluó las **Variables**, para los cual se establecieron sus **Indicadores**:

Indicador de la variable dependiente:

- Conductividad Eléctrica (dS/m) Y

Indicador de la variable independiente:

- Nivel freático (m) X

Durante los trabajos en campo se realizaron las observaciones y mediciones necesarias para conocer cuantitativamente el valor del indicador de la variable dependiente e independiente. Siendo así que las variables están relacionadas según la relación:

Variable Independiente "X" → Variable Dependiente "Y".

3.3. Hipótesis.

Existe influencia de la variación del nivel freático con el aumento de la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí - Ica.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es Causales, que tiene como objetivo determinar si una variable afecta a otra.

4.2. Diseño de la investigación

Se empleó el Diseño traseccional correlacional - causal. Estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. Los diseños correlacionales-causales pueden limitarse a establecer relaciones entre variables sin precisar el sentido de causalidad ni pretender analizar relaciones de causalidad. Cuando se limitan a relaciones no causales, se fundamentan en ideas o hipótesis correlacionales y cuando buscan evaluar relaciones causales se basan en ideas o hipótesis causales²⁰.

4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población.

La población del presente trabajo está representada por el número total de pozos con codificación “Inventario de Recursos Hídricos Subterráneo - IRHS”, permiso no caducado y que se encuentre siendo utilizados en Las Pampas de Villacurí, el cual es 178 pozos.

²⁰IESPP CREA – INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICO PRIVADO CALIDAD EN REDES DE APRENDIZAJE. Documento del Programa de Especialización en Investigación Educativa. Módulo I: “El conocimiento y la investigación científica”. Lima, Perú. Primera edición. 2012

4.3.2. Muestra

La muestra tomada para la investigación fue de 22 pozos de forma aleatoria simple para población finita. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula²¹:

$$n = \frac{p * (1 - p) * N * z^2}{p * (1 - p) * z^2 + (N) * e^2}$$

n: Tamaño de la muestra

z: Es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado (nivel de confianza 90 % su z será 1,645)

p: proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia (90 %)

e: Es el margen de error máximo que admito (10 %)

N: Tamaño del universo (178 pozos)

A. Cobertura de estudio

El estudio tuvo un área de influencia directa definido por la zona definida por la muestra, que son los 22 pozos seleccionados aleatoriamente (Véase la tabla N° 4.1, en la página “40”) y un área de influencia indirecta que se encuentra conformada por las Pampas de Villacurí - Ica. El periodo de análisis de la variables es de 17 años (1998 al 2014).

²¹SARAÍ AGUILAR BAROJAS. Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Lima, Perú. Agosto 2005

TABLA N° 4.1

NÚMERO DE POZOS A ANALIZAR (Cóordenas WGS 84)

IRHS	Cota (m.s.n.m)	Este	Norte
517	230,41	386 847,71	8 462 418,71
371	252,50	388 366,68	8 463 949,69
502	280,46	390 919,64	8 463 775,69
724	286,45	391 864,63	8 461 351,73
345	289,77	393 306,60	8 465 509,67
228	300,65	394 850,58	8 462 858,71
481	304,73	393 860,60	8 461 681,73
274	321,76	397 869,53	8 462 486,72
550	324,12	397 352,55	8 458 506,78
407	335,92	400 216,50	8 457 033,81
172	340,72	400 998,48	8 462 264,73
185	341,38	400 582,49	8 460 471,75
426	354,08	402 291,47	8 457 291,81
436	363,48	403 853,44	8 458 429,79
126	365,91	403 731,44	8 460 035,76
142	394,17	405 871,40	8 464 293,70
98	405,68	407 241,38	8 461 403,75
107	415,71	409 098,35	8 463 074,72
79	429,30	410 986,32	8 462 339,73
82	434,04	411 713,31	8 461 678,74
564	443,31	417 019,23	8 457 140,82
626	490,06	415 973,24	8 462 218,74

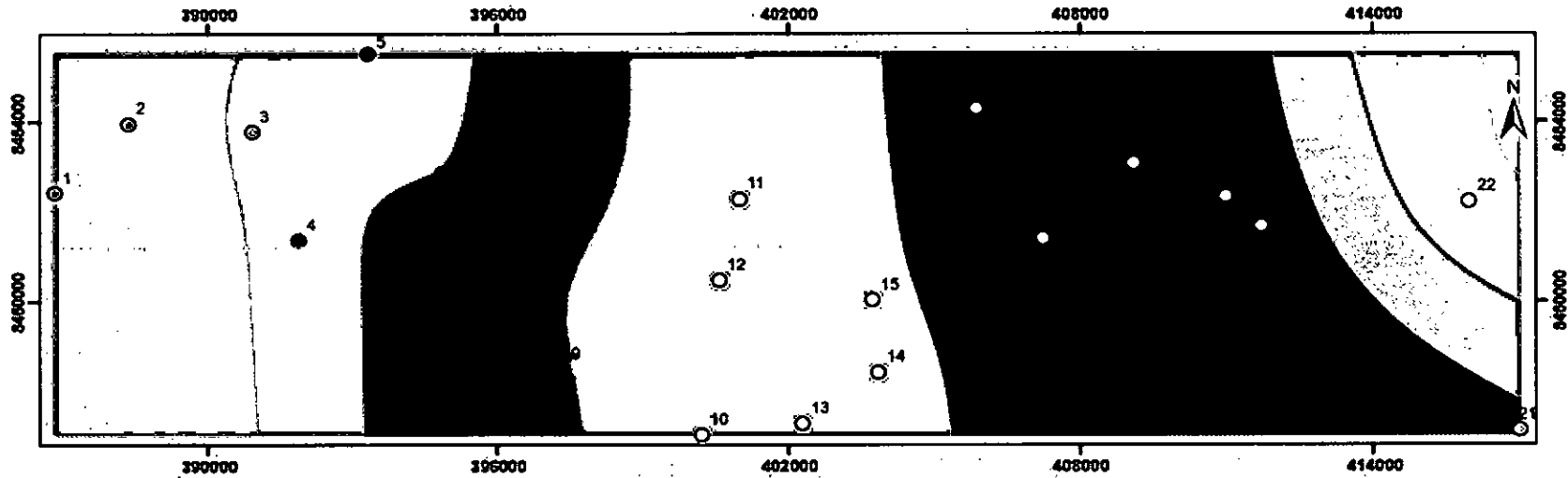
Fuente: Elaboración propia

B. Ubicación de pozos

Son los 22 IRHS que está indicado en la tabla N° 4.1, estas se segmentaron en cinco área de estudio²². (Véase la gráfica N° 4.1, en la página “41”).

²² MONTGOMERY. Control Estadístico de la Calidad. New York. Editorial John Wiley & Sons. Tercera edición 2005.

GRAFICA N° 4.1
UBICACIÓN DE LOS 22 POZOS



LEYENDA	
cotas	350.0000001 - 375
	375.0000001 - 400
	400.0000001 - 425
	425.0000001 - 450
	450.0000001 - 475
	475.0000001 - 500
	500.0000001 - 525

Punto	X	Y	H	IRMS	Punto	X	Y	H	IRMS
1	386847.71	8462418.71	230.41	517	12	400582.49	8460471.75	341.38	185
2	388366.68	8463949.69	252.50	371	13	402281.47	8457291.81	354.08	426
3	390818.64	8463775.69	280.46	502	14	403853.44	8458428.79	363.48	436
4	391864.63	8461351.73	288.45	724	15	403731.44	8460035.76	365.91	126
5	393306.60	8465509.67	289.77	345	16	405871.40	8464293.70	394.17	142
6	394850.58	8462858.71	300.65	228	17	407241.38	8461403.75	405.68	88
7	393860.60	8461681.73	304.73	481	18	409096.35	8463074.72	415.71	107
8	397869.53	8462486.72	321.76	274	19	410986.32	8462339.73	428.30	79
9	397352.55	8458506.78	324.12	550	20	411713.31	8461678.74	434.04	82
10	400216.50	8457033.81	335.92	407	21	417018.23	8457140.82	443.31	564
11	400998.48	8462264.73	340.72	172	22	415973.24	8462218.74	490.06	626

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:	
● Zona I	● Zona IV
● Zona II	● Zona V
● Zona III	

4.4. Técnicas e instrumentos de la recolección de datos.

Los datos de nivel freático y conductividad eléctrica, recolectados desde el año 1998 hasta el 2014 fueron proporcionados por Autoridad Nacional del Agua - ANA. Por lo cual se detallara de forma superficial.

4.6.1. Ubicación de Pozos

A continuación se detalla la técnica utilizada por el personal de la ANA:

- Se realizó reconocimiento de campo con un mapa de ubicaciones de todos los IRHS, detallando las rutas de acceso.
- Se informó al propietario del pozo que se evaluara el IRHS.
- Se procedió a ubicar las coordenadas en Universal Transverse Mercator de los pozos con un GPS asistido.

Entre los materiales, equipos o instrumentos utilizados por el personal de la ANA son:

- EL GPS utilizado es asistido por un servidor de Broadcom en los Estados Unidos, con un margen de error de 5 a 10 metros.
- Se utilizó un formato de campo donde se detalló las coordenadas UTM del pozo a muestrear, su accesibilidad y sus referencias cercanas.

4.6.2. Medición del Nivel Freático.

A continuación se detalla la técnica utilizada por el personal de la ANA:

- Se encendió la sonda y se procedió a introducirlo en el pozo (IRHS).
- Se descendió la sonda hasta ver la señal luminosa (color rojo) y acústica del instrumento (Véase la figura N° 4.1, en la página “44”).
- Se procedió a leer el nivel del agua, esta se encuentra en la cinta métrica que cuenta el instrumento.
- Se tomaron 2 medidas por pozo los cuales se colocaron en un formato de hoja de campo, para procesarlos posteriormente.
- De las 2 mediciones se hizo un promedio para tener el valor oficial del nivel freático en cada pozo.

Entre los materiales, equipos o instrumentos utilizados por el personal de la ANA son:

- Sonda de nivel portátil modelo 010 (de 15 a 1 000 m).
- Formato de campo: se llenó el campo de nivel freático.

4.6.3. Medición de la conductividad eléctrica.

A continuación se detalla la técnica utilizada por el personal de la ANA:

- Para los que no contaban con bomba: Para extraer agua se procedió con el descenso del bailer, el cual se estuvo sujetado con una soga. Se llenó en un balde con capacidad de 4 L pero muestra de 2 L.
- Para los que tenían bomba: se procedió a llenar en un balde.

- Se insertó la sonda (multiparámetro), y se mantuvo dentro del agua hasta que el valor mostrado en la pantalla digital se estabilizó (Véase la figura N° 4.2, en la página “45”).
- Los datos se registraron en un formato de campo. Al finalizar cada medición se lavó la sonda con agua destilada para evitar la contaminación y variación en las siguientes lecturas.

Entre los equipos e instrumentos utilizados por el personal de la ANA son:

- Multiparámetro modelo HI 9 829: Posee célula de conductividad con 3 electrodos, rango de medidas 0 a 200 mS/cm (CE absoluto hasta 400 mS/cm). con una precisión de $\pm 1\%$ de la lectura o $\pm 1 \mu\text{S/cm}$ (1)
- Bailer transparente biodegradable - PVC: Cuerpo de 1,5" x 3 pies (38 mm x 91,5 cm) para contener más de un litro de muestra (1 025 ml)

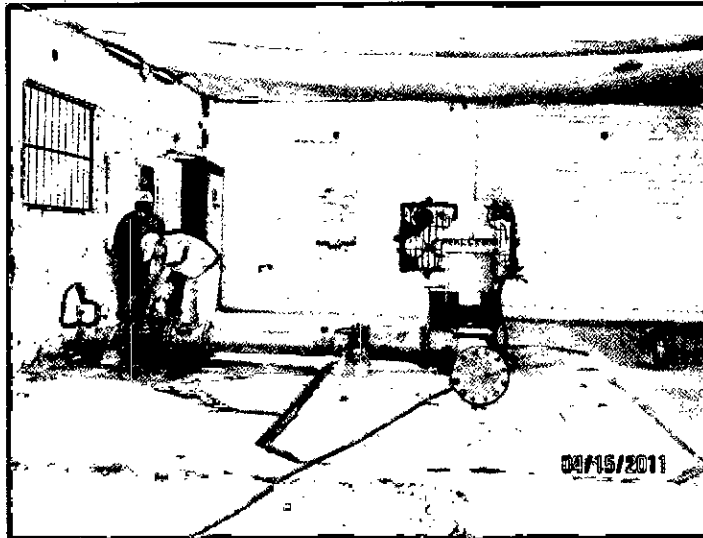
FIGURA N° 4.1
MEDICIÓN DE NIVEL FREÁTICO



Fuente: Autoridad Nacional del Agua - ANA

FIGURA N° 4.2

MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



Fuente: Autoridad Nacional del Agua - ANA

4.5. Procedimientos de recolección de datos

La ANA registro todos los datos de nivel freático y conductividad eléctrica en una matriz Excel. En esta matriz cuenta con los siguientes campos; IRHS, sector, estado, coordenadas, propietario, distrito, cota (m.s.n.m), zona, nivel freático, conductividad, pH, observación, entre otras. Los registros de medición de nivel freático, conductividad eléctrica y pH tienen datos desde 1998 al 2014.

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

4.6.1. Análisis de correlación de SPEARMAN.

Para evaluar la correlación del nivel freático y la salinización (conductividad eléctrica) se realizó el análisis estadístico hallando el coeficiente de correlación de SPEARMAN. Para esto se utilizó la matriz proporcionada por la ANA. De

esta matriz se elaboró una tabla (Véase la tabla N° 4.2, en la página “47, 48, 49, 50 y 51”) con los parámetros: IRHS, N.F (nivel freático en metros) y C.E (conductividad eléctrica en dS/m)

De los 682 datos de los 22 IRHS seleccionados, solo se tomaron los datos de N.F y C.E de los IRHS que tenían los dos valores de los parámetros. Es decir se eliminó los datos que no tienen medición de uno o los dos parámetros. Al realizar la eliminación de valores de parámetros, nos quedó solo 223 valores de IRHS seleccionado (Véase la tabla N° 4.3, en la página “52”)

Los 223 datos de nivel freático y conductividad eléctrica, fueron introducidos en el SPSS 22 y analizados con correlación bivaridas, coeficiente de SPEARMAN.

4.6.2. Segmentación de los pozos.

Para segmentar los IRHS se procedió analizar la tabla N° 4.1, donde se aplicó la siguiente formula:

$$F = \frac{(R_{max} - R_{min})}{\sqrt{n}}$$

R_{max} : Cota máxima (490,06 m.s.n.m del IRHS 626)

R_{min} : Cota mínima (230,41 m.s.n.m del IRHS 517)

F: frecuencia para la segmentación.

n: número de IRHS (número de la muestra que es 22 pozos)

TABLA N° 4.2
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y NIVEL FREÁTICO

IRHS	SECTOR	Zona	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE
			sep-98	sep-98	mar-99	mar-99	ago-99	ago-99	dic-99	dic-99	abr-00	abr-00	sep-00	sep-00	dic-00	dic-00
517	Fray Ramon - Km 259	I	3.78	1.91	3.15	8.21	2.50	8.15	2.90	8.2	2.95	3.16	2.85	3	-	3
371	José Darío Quincho Tacas	I	6.90	-	8.00	-	8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
502	Manrique Goycochea	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
724	Agrícola Andrea S.A.C.	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
345	Hacienda Del Sur S.A. - Km 265.5	II	-	1.36	-	1.56	-	1.3	-	1.51	-	1.56	12.60	1.5	12.60	1.5
228	Jurado Cucho Plinio	II	7.50	1.22	7.38	1.1	7.00	1	9.10	1.2	8.50	1.5	8.52	1.45	5.59	1.45
481	Agrícolas Unidas De Ica S.A	II	-	-	-	1	-	1	-	1	7.29	1.9	7.35	1.6	-	1.6
274	San Judas Tadeo S.A. - Km 270.5	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
550	Nilfredo Conde Cárdenas - Km 270	II	5.87	1.64	5.42	1.34	5.40	1.35	5.45	1.3	5.60	1	5.37	1	5.36	1
407	Eulogio Ventura Paredes - Km 273	III	-	-	-	-	-	-	-	-	3.10	-	3.20	-	3.15	0
172	Procesadora Agrícola Del Sur - Km 274	III	-	-	-	-	18.30	-	20.30	-	21.26	-	-	-	-	0
185	Industrias Agrícola Santa Mónica	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
426	Felipe Sarmiento Garayar	III	6.68	-	7.02	-	6.95	-	-	-	-	-	-	-	7.82	0
436	José Luis Portillo Rondan	III	14.95	1.01	14.10	0.58	14.05	0.7	14.50	0.73	15.36	0.6	15.42	0.9	15.44	0.9
126	Agrícola Tial E.I.R.L.	III	21.50	1.09	21.40	1.1	21.10	1.1	-	1.07	-	0.98	-	0.9	-	0.9
142	Agrícola Sol De Villacuri S.A.C. - Km 278	IV	45.65	-	45.07	-	45.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	Florisert S.A. Km 280	IV	-	0.66	-	1.04	-	1	-	0.95	-	1.2	-	1.29	-	1.29
107	José Luis Rodríguez	IV	-	0.21	-	0.78	-	0.5	-	0.74	56.94	0.82	57.26	0.8	57.56	0.8
79	Oliperú S.A.C. Km 283	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	Agrícola Challapampa S.A.C Km 284	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
564	Agrícola Los Médanos	V	-	-	51.40	-	51.35	-	-	-	49.20	-	-	-	-	-
626	Agrovictoria S.A.C.	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

IRHS	SECTOR	Zona	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE
			abr-01	abr-01	ago-01	ago-01	dic-01	dic-01	abr-02	abr-02	ago-02	ago-02	nov-02	nov-02
517	Fray Ramon - Km 259	I	-	3.16	-	3.16	-	2.46	-	2.87	-	2.67	-	3.12
371	José Darío Quincho Tacas	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
502	Manrique Goycochea	I	-	-	-	-	-	-	-	-	3.70	-	-	-
724	Agrícola Andrea S.A.C.	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
345	Hacienda Del Sur S.A. - Km 265.5	II	12.60	1.6	-	1.6	-	1.69	-	1.60	16.90	1.64	-	1.68
228	Jurado Cucho Plinio	II	3.44	1.5	8.36	1.5	8.18	0.801	7.22	1.25	6.73	1.03	7.72	1.51
481	Agrícolas Unidas De Ica S.A	II	6.60	1.88	5.87	1.88	7.57	1.6	6.82	1.69	6.75	1.65	4.00	1.83
274	San Judas Tadeo S.A. - Km 270.5	II	-	-	15.60	-	13.62	-	-	-	-	-	-	-
550	Nilfredo Conde Cárdenas - Km 270	II	5.17	1.11	6.29	1.11	6.10	1.7	5.85	1.27	-	1.49	5.73	1.24
407	Eulogio Ventura Paredes - Km 273	III	3.40	-	3.75	-	3.64	-	3.60	-	2.85	-	3.39	-
172	Procesadora Agrícola Del Sur - Km 274	III	-	-	19.60	-	19.60	-	20.40	-	17.20	-	9.80	-
185	Industrias Agrícola Santa Mónica	III	-	-	-	-	-	-	-	-	10.44	-	10.20	-
426	Felipe Sarmiento Garayar	III	7.50	-	-	-	-	-	7.26	-	7.50	-	7.45	-
436	José Luis Portillo Rondan	III	15.49	1	16.65	1	17.62	1.34	16.59	1.08	14.36	1.21	16.53	1.10
126	Agrícola Tial E.I.R.L.	III	-	1	-	1	-	1.36	-	1.09	18.97	1.22	18.40	1.11
142	Agrícola Sol De Villacuri S.A.C. - Km 278	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	45.11	-	-	-
98	Florisert S.A. Km 280	IV	-	2	-	1.21	-	1.69	-	1.40	-	1.90	-	2.80
107	José Luis Rodríguez	IV	57.79	0.9	-	0.9	-	0.8	-	0.83	-	0.82	-	0.95
79	Oliperú S.A.C. Km 283	IV	-	-	-	-	65.05	-	-	-	-	-	-	-
82	Agrícola Challapampa S.A.C Km 284	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
564	Agrícola Los Médanos	V	-	-	-	-	-	-	-	-	46.20	-	-	-
626	Agrovictoria S.A.C.	V	-	-	-	-	-	-	-	-	104.00	-	104.30	-

IRHS	SECTOR	Zona	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE
			mar-03	mar-03	ago-03	ago-03	dic-03	dic-03	may-05	may-05	may-06	may-06	abr-07	abr-07
517	Fray Ramon - Km 259	I	-	3.59	-	3.76	-	3.93	-	5.78	-	1.49	-	1.56
371	José Darío Quincho Tacas	I	-	-	-	-	-	-	7.17	-	7.88	-	7.70	-
502	Manrique Goycochea	I	-	-	4.10	-	-	-	4.04	1.15	4.30	1.21	5.40	1.58
724	Agrícola Andrea S.A.C.	II	-	-	-	-	-	-	-	1.88	7.02	1.46	6.60	3.08
345	Hacienda Del Sur S.A. - Km 265.5	II	19.10	1.83	18.50	1.84	18.90	2.14	20.12	1.86	20.1	2.15	22.10	1.74
228	Jurado Cucho Plinio	II	9.70	0.92	9.10	1.05	7.95	1.15	12.74	1.57	10.55	1.85	9.50	10.20
481	Agrícolas Unidas De Ica S.A	II	7.20	2.39	5.95	1.30	5.85	1.24	7.40	2.52	7.12	1.49	9.44	2.20
274	San Judas Tadeo S.A. - Km 270.5	II	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-
550	Nilfredo Conde Cárdenas - Km 270	II	6.10	1.39	6.20	1.36	8.12	1.29	7.75	1.52	-	0.99	6.80	1.65
407	Eulogio Ventura Paredes - Km 273	III	3.45	-	4.05	-	3.70	-	3.92	0.00	-	-	-	-
172	Procesadora Agrícola Del Sur - Km 274	III	18.90	-	18.50	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-
185	Industrias Agrícola Santa Mónica	III	13.10	-	13.10	-	13.38	-	-	-	-	-	-	-
426	Felipe Sarmiento Garayar	III	10.98	-	9.95	-	9.15	-	10.55	0.00	10.59	-	10.20	-
436	José Luis Portillo Rondan	III	17.10	3.28	16.90	6.51	16.15	3.71	16.92	5.69	17.08	5.48	19.90	1.62
126	Agrícola Tial E.I.R.L.	III	20.65	8.44	20.50	6.68	22.10	1.03	22.90	5.59	23.4	3.45	25.32	0.56
142	Agrícola Sol De Villacuri S.A.C. - Km 278	IV	50.85	-	49.40	-	49.92	-	50.07	-	51.42	-	53.46	-
98	Florisert S.A. Km 280	IV	-	3.79	-	4.02	-	4.08	-	4.98	-	-	-	2.04
107	José Luis Rodríguez	IV	58.35	0.52	60.10	0.36	61.12	0.89	60.67	0.71	61.85	0.84	51.15	0.95
79	Oliperú S.A.C. Km 283	IV	62.10	-	63.10	-	66.70	-	67.90	-	69.12	-	69.49	-
82	Agrícola Challapampa S.A.C Km 284	IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
564	Agrícola Los Médanos	V	49.83	-	47.70	-	48.17	-	48.95	-	49.19	1.14	-	0.50
626	Agrovictoria S.A.C.	V	103.65	-	104.20	-	106.20	-	106.75	-	-	3.02	-	-

IRHS	SECTOR	Zona	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE
			ago-08	ago-08	ago-09	ago-09	nov-09	nov-09	may-10	may-10	sep-10	sep-10	nov-11	nov-11
517	Fray Ramon - Km 259	I	-	3.00	-	2.03	-	2.53	-	2.31	-	2.36	5.77	2.68
371	José Darío Quincho Tacas	I	7.80	-	7.28	-	7.31	1.75	7.40	-	7.36	-	6.00	-
502	Manrique Goycochea	I	5.81	1.60	5.20	-	-	1.63	-	-	-	-	-	-
724	Agrícola Andrea S.A.C.	II	8.90	1.12	8.88	1.60	8.96	1.12	9.35	-	9.16	-	-	-
345	Hacienda Del Sur S.A. - Km 265.5	II	22.80	5.00	22.18	2.63	22.42	2.86	22.35	3.12	21.76	3.08	24.94	4.38
228	Jurado Cucho Plinio	II	10.00	6.12	9.65	-	10.76	1.01	11.10	1.04	11.26	1.09	-	-
481	Agrícolas Unidas De Ica S.A	II	10.12	2.20	10.50	1.27	11.10	1.77	11.30	1.66	11.40	1.90	10.25	1.97
274	San Judas Tadeo S.A. - Km 270.5	II	22.37	-	23.80	-	-	3.08	22.90	1.75	22.99	2.38	-	2.02
550	Nilfredo Conde Cárdenas - Km 270	II	5.40	1.20	7.90	1.30	7.80	0.81	8.20	1.27	8.60	0.82	6.80	1.12
407	Eulogio Ventura Paredes - Km 273	III	4.95	-	4.20	0.45	4.35	0.44	4.70	0.47	5.40	0.41	1.25	0.59
172	Procesadora Agrícola Del Sur - Km 274	III	-	-	29.08	-	29.19	0.77	27.70	6.72	28.15	2.14	-	6.74
185	Industrias Agrícola Santa Mónica	III	-	3.43	19.15	2.50	19.31	2.74	19.62	-	19.03	2.42	21.56	2.20
426	Felipe Sarmiento Garayar	III	11.07	-	11.85	-	11.92	0.77	12.10	0.81	12.76	0.89	13.47	0.70
436	José Luis Portillo Rondan	III	20.41	1.13	20.15	2.20	22.05	3.24	22.15	4.13	21.98	3.28	-	-
126	Agrícola Tial E.I.R.L.	III	Seco	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	Agrícola Sol De Villacuri S.A.C. - Km 278	IV	53.89	-	56.39	-	56.72	0.61	58.50	0.61	59.19	0.42	62.30	0.45
98	Florisert S.A. Km 280	IV	-	3.17	-	-	-	4.19	-	4.43	-	4.94	56.96	6.00
107	José Luis Rodríguez	IV	52.50	1.60	-	0.27	67.70	0.42	67.81	0.52	69.58	0.68	72.00	0.50
79	Oliperú S.A.C. Km 283	IV	72.52	-	73.39	-	73.75	-	75.43	-	75.50	-	78.46	-
82	Agrícola Challapampa S.A.C Km 284	IV	-	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	70.38	-
564	Agrícola Los Médanos	V	51.05	0.54	53.08	0.62	53.25	0.88	-	-	-	0.66	-	0.68
626	Agrovictoria S.A.C.	V	107.20	2.80	110.24	2.70	-	2.78	-	-	108.37	-	-	-

IRHS	SECTOR	Zona	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE	NE	CE
			ago-12	ago-12	nov-12	nov-12	jun-13	jun-13	oct-13	oct-13	may-14	may-14	oct-14	oct-14
517	Fray Ramon - Km 259	I	5.38	2.81	5.5	3.26	6.50	3.38	-	3.70	9.20	4.37	9.66	-
371	José Darío Quincho Tacas	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
502	Manrique Goycochea	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
724	Agrícola Andrea S.A.C.	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
345	Hacienda Del Sur S.A. - Km 265.5	II	23.78	4.42	25.77	4.52	32.00	4.52	-	3.96	24.54	5.24	24.84	4.30
228	Jurado Cucho Plinio	II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
481	Agrícolas Unidas De Ica S.A	II	-	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
274	San Judas Tadeo S.A. - Km 270.5	II	-	1.62	28.40	2.18	27.45	-	-	1.93	29.66	-	31.15	2.87
550	Nilfredo Conde Cárdenas - Km 270	II	8.86	1.30	10.60	1.23	10.95	1.15	-	1.06	10.43	1.27	11.98	2.36
407	Eulogio Ventura Paredes - Km 273	III	5.68	0.53	5.69	2.00	6.00	0.94	-	0.88	6.45	1.21	6.15	1.12
172	Procesadora Agrícola Del Sur - Km 274	III	31.61	4.16	-	5.92	32.65	9.54	-	2.68	34.49	5.09	38.03	4.88
185	Industrias Agrícola Santa Mónica	III	22.48	4.30	-	-	23.60	2.12	-	2.07	-	-	-	-
426	Felipe Sarmiento Garayar	III	13.32	1.61	-	0.99	14.23	0.83	-	0.62	15.05	0.64	-	0.46
436	José Luis Portillo Rondan	III	-	-	-	-	-	-	-	-	27.55	4.00	-	3.82
126	Agrícola Tial E.I.R.L.	III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	Agrícola Sol De Villacuri S.A.C. - Km 278	IV	63.96	0.49	64.30	0.44	65.87	0.46	-	0.43	68.10	0.54	68.23	-
98	Florisert S.A. Km 280	IV	59.07	6.16	59.19	6.24	60.43	5.75	61.14	5.27	61.79	5.94	61.60	5.66
107	José Luis Rodríguez	IV	71.86	0.31	74.20	0.36	-	-	-	0.28	76.56	0.37	-	0.33
79	Oliperú S.A.C. Km 283	IV	82.88	-	82.92	-	82.51	-	85.71	-	87.00	-	88.05	-
82	Agrícola Challapampa S.A.C Km 284	IV	71.32	-	71.01	-	71.99	-	72.40	-	72.66	-	72.65	-
564	Agrícola Los Médanos	V	46.06	0.53	-	0.42	-	0.64	-	0.81	-	-	-	-
626	Agrovictoria S.A.C.	V	-	-	113.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota: El "-" significa que no se midió el parámetro N.F o C.E

Fuente: Adaptado de la Autoridad Nacional del Agua - ANA

TABLA N° 4.3
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y NIVEL FREÁTICO CORREGIDOS

N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E	N°	N.F	C.E
1	3,78	1,91	33	12,6	1,5	65	18,4	1,11	97	20,1	2,15	129	20,15	2,2	161	8,6	0,82	193	10,6	1,23
2	7,5	1,22	34	5,59	1,45	66	19,1	1,83	98	10,55	1,85	130	53,08	0,62	162	5,4	0,41	194	5,69	2
3	5,87	1,64	35	5,36	1	67	9,7	0,92	99	7,12	1,49	131	110,24	2,7	163	28,15	2,14	195	64,3	0,44
4	14,95	1,01	36	15,44	0,9	68	7,2	2,39	100	17,08	5,48	132	7,31	1,75	164	19,03	2,42	196	59,19	6,24
5	21,5	1,09	37	57,56	0,8	69	6,1	1,39	101	23,4	3,45	133	8,96	1,12	165	12,76	0,89	197	74,2	0,36
6	3,15	8,21	38	12,6	1,6	70	17,1	3,28	102	61,85	0,84	134	22,42	2,86	166	21,98	3,28	198	6,5	3,38
7	7,38	1,1	39	3,44	1,5	71	20,65	8,44	103	49,19	1,14	135	10,76	1,01	167	59,19	0,42	199	32	4,52
8	5,42	1,34	40	6,6	1,88	72	58,35	0,52	104	5,4	1,58	136	11,1	1,77	168	69,58	0,68	200	10,95	1,15
9	14,1	0,58	41	5,17	1,11	73	18,5	1,84	105	6,6	3,08	137	7,8	0,81	169	5,77	2,68	201	6	0,94
10	21,4	1,1	42	15,49	1	74	9,1	1,05	106	22,1	1,74	138	4,35	0,44	170	24,94	4,38	202	32,65	9,54
11	2,5	8,15	43	57,79	0,9	75	5,95	1,3	107	9,5	10,2	139	29,19	0,77	171	10,25	1,97	203	23,6	2,12
12	7	1	44	8,36	1,5	76	6,2	1,36	108	9,44	2,2	140	19,31	2,74	172	6,8	1,12	204	14,23	0,83
13	5,4	1,35	45	5,87	1,88	77	16,9	6,51	109	6,8	1,65	141	11,92	0,77	173	1,25	0,59	205	65,87	0,46
14	14,05	0,7	46	6,29	1,11	78	20,5	6,68	110	19,9	1,62	142	22,05	3,24	174	21,56	2,2	206	60,43	5,75
15	21,1	1,1	47	16,65	1	79	60,1	0,36	111	25,32	0,56	143	56,72	0,61	175	13,47	0,7	207	61,14	5,27
16	2,9	8,2	48	8,18	0,801	80	18,9	2,14	112	51,15	0,95	144	67,7	0,42	176	62,3	0,45	208	9,2	4,37
17	9,1	1,2	49	7,57	1,6	81	7,95	1,15	113	5,81	1,6	145	53,25	0,88	177	56,96	6	209	24,54	5,24
18	5,45	1,3	50	6,1	1,7	82	5,85	1,24	114	8,9	1,12	146	22,35	3,12	178	72	0,5	210	10,43	1,27
19	14,5	0,73	51	17,62	1,34	83	8,12	1,29	115	22,8	5	147	11,1	1,04	179	5,38	2,81	211	6,45	1,21
20	2,95	3,16	52	7,22	1,25	84	16,15	3,71	116	10	6,12	148	11,3	1,66	180	23,78	4,42	212	34,49	5,09
21	8,5	1,5	53	6,82	1,69	85	22,1	1,03	117	10,12	2,2	149	22,9	1,75	181	8,86	1,3	213	15,05	0,64
22	7,29	1,9	54	5,85	1,27	86	61,12	0,89	118	5,4	1,2	150	8,2	1,27	182	5,68	0,53	214	27,55	4
23	5,6	1	55	16,59	1,08	87	4,04	1,15	119	20,41	1,13	151	4,7	0,47	183	31,61	4,16	215	68,1	0,54
24	15,36	0,6	56	16,9	1,64	88	20,12	1,86	120	52,5	1,6	152	27,7	6,72	184	22,48	4,3	216	61,79	5,94
25	56,94	0,82	57	6,73	1,03	89	12,74	1,57	121	51,05	0,54	153	12,1	0,81	185	13,32	1,61	217	76,56	0,37
26	2,85	3	58	6,75	1,65	90	7,4	2,52	122	107,2	2,8	154	22,15	4,13	186	63,96	0,49	218	24,84	4,3
27	12,6	1,5	59	14,36	1,21	91	7,75	1,52	123	8,88	1,6	155	58,5	0,61	187	59,07	6,16	219	31,15	2,87
28	8,52	1,45	60	18,97	1,22	92	16,92	5,69	124	22,18	2,63	156	67,81	0,52	188	71,86	0,31	220	11,98	2,36
29	7,35	1,6	61	7,72	1,51	93	22,9	5,59	125	10,5	1,27	157	21,76	3,08	189	46,06	0,53	221	6,15	1,12
30	5,37	1	62	4	1,83	94	60,67	0,71	126	7,9	1,3	158	11,26	1,09	190	5,5	3,26	222	38,03	4,88
31	15,42	0,9	63	5,73	1,24	95	4,3	1,21	127	4,2	0,45	159	11,4	1,9	191	25,77	4,52	223	61,6	5,66
32	57,26	0,8	64	16,53	1,1	96	7,02	1,46	128	19,15	2,5	160	22,99	2,38	192	28,4	2,18			

Realizado las operaciones se tiene que F es 51,93. Con este dato se construyó una matriz donde se registró los IRHS por cada segmento - intervalos de cotas (Véase la tabla N° 4.4).

TABLA N° 4.4
SEGMENTACIÓN DE LOS 22 POZOS

Zona	Rango de cota		# IRHS	IRHS
	Min >=	Max <		
I	230,41	282,34	3	517, 371, 502
II	282,34	334,27	6	724, 345, 228, 481, 274, 550
III	334,27	386,20	6	407, 172, 185, 426, 436, 126
IV	386,2	438,13	5	142, 98, 107, 79, 82
V	438,13	490,06	2	564, 626
			22	

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Regresión lineal para el nivel freático.

Para este análisis se tomó en cuenta la segmentación de IRHS (según tabla N° 4.4) y el valor de N.F de cada IRHS seleccionado (Véase la tabla N° 4.2, en la página "47, 48, 49, 50 y 51"). Antes de aplicar regresión lineal al valor de N.F se eliminó los valores no medios y a los valores que marcaron cero.

Una vez realizado esta corrección se le aplico la regresión lineal con MINITAB para cada IRHS. Para esta regresión se tomó como variable "y" a valor de nivel freático y para los años de medición se designó la variable "x".

Finalizado la regresión se obtuvo la ecuación de comportamiento, su respectivo coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente en la variable "x" que vendría a ser la velocidad de descenso del nivel freático en m/año.

4.6.4. Regresión lineal para la conductividad eléctrica.

Para este análisis se tomó en cuenta la segmentación de IRHS (según tabla N° 4.4) y el valor de N.F de cada IRHS seleccionado (Véase la tabla N° 4.2, en la página "47, 48, 49, 50 y 51"). Antes de aplicar regresión lineal al valor de C.E se eliminó los valores no medios y a los valores que marcaron cero.

Una vez realizado esta corrección se le aplicó la regresión lineal con MINITAB para cada IRHS. Para esta regresión se tomó como variable "y" a valor de C.E y para los años de medición se designó la variable "x".

Finalizado la regresión se obtuvo la ecuación de comportamiento, su respectivo coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente en la variable "x" que vendría a ser la velocidad de descenso de la C.E.

CAPITULO V

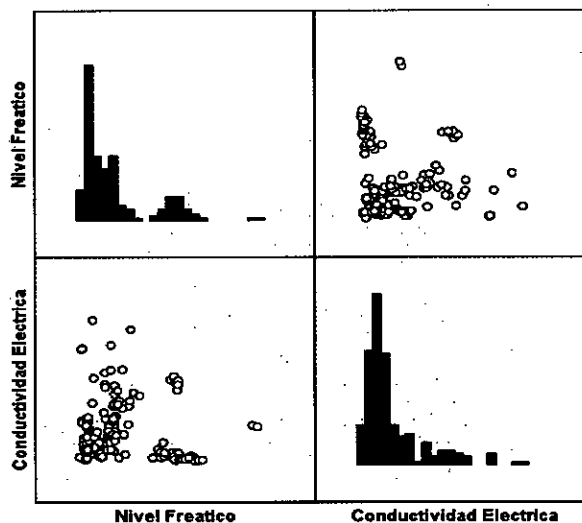
RESULTADOS

5.1. Análisis de correlación de SPEARMAN.

A continuación se presenta los resultados del análisis de correlación de SPEARMAN en el SPSS Statistics 22.

- Diagrama de dispersión matricial (Véase la gráfica N° 5.1).
- Coeficiente de correlación de SPEARMAN (Véase el cuadro N° 5.1, en la página “56”).

GRAFICA N° 5.1
DISPERSIÓN MATRICIAL



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de matricial conductividad eléctrica vs nivel freático se observa que los datos están muy dispersos y no tienen una tendencia; eso nos indica que no existe correlación de ambas variables ya que el coeficiente de correlación tiende a cero.

CUADRO N° 5.1

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Parámetros		Nivel Freático	Conductividad Eléctrica
Rho de SPEARMAN	Nivel Freático	Coeficiente de correlación	1,00
		Sig. (bilateral)	0,625
		N	223
	Conductividad Eléctrica	Coeficiente de correlación	-0,033
		Sig. (bilateral)	0,625
		N	223

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla; el coeficiente de correlación SPEARMAN es -0,033. Esto nos indica que no existe asociación de estas dos variables. Es decir la variación del nivel freático no influirá en la salinización de las aguas subterráneas, medida a través de la conductividad eléctrica.

5.2. Regresión lineal

A continuación se presenta los resultados de las regresiones lineales aplicadas a cada IRHS para el nivel freático y la conductividad eléctrica realizado en el MINITAB (Véase la tabla N° 5.1, en la página “57”).

- Ecuación de la regresión lineal
- Coeficiente de determinación R².
- Velocidad de descenso del nivel freático en m/año (véase las gráficas N° 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 en las páginas “58, 59 y 60”)

TABLA N° 5.1

EVALUACIÓN DEL NÍVEL FREÁTICO Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

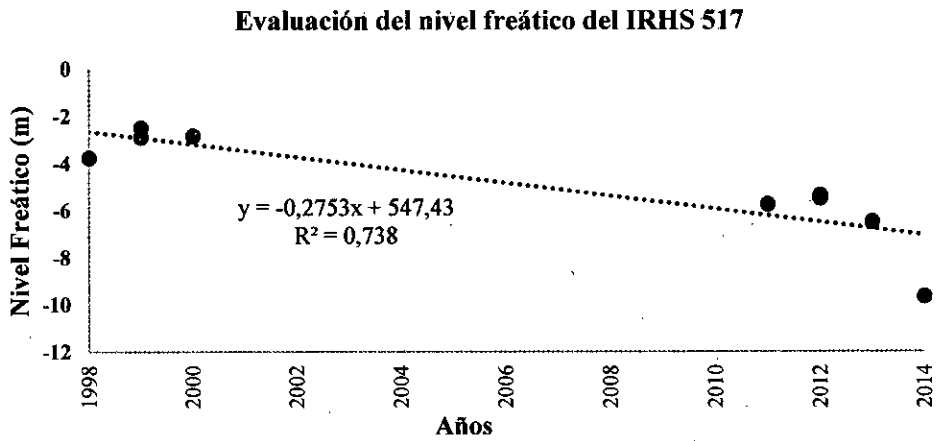
IRHS	Segmentación (Zona)	Evaluación: 1998 al 2014				
		Nivel Freático (m)			Conductividad Eléctrica (dS/m)	
		Ecuación	R ² (%)	Velocidad de descenso (cm/año)	Ecuación	R ² (%)
I	517	$Y = -0,275 * X + 547,43$	● 73,8	-27,5	$Y = -0,108 * X + 218,94$	● 11,7
	371	$Y = 0,0391 * X - 85,706$	● 10,46	3,91	No hay datos suficientes	
	502	$Y = -0,2574 * X + 511,58$	● 86,28	-25,74	No hay datos suficientes	
II	724	$Y = -0,13 * X + 252,2$	● 68,84	-13	$Y = 0,24 * X - 480,8$	● 25
	345	$Y = -0,9666 * X + 1919$	● 84	-97	$Y = 0,2179 * X - 434,4$	● 84,14
	228	$Y = -0,2945 * X + 581,41$	● 60,88	-29,45	$Y = 0,1271 * X - 252,99$	● 13,34
	481	$Y = -0,4785 * X + 951,07$	● 79,65	-47,85	$Y = 0,034 * X - 66,576$	● 20,8
	274	$Y = -1,1815 * X + 2349,8$	● 95,96	-118,15	$Y = -0,0823 * X + 167,93$	● 7,36
	550	$Y = -0,3504 * X + 695,11$	● 86,44	-35	$Y = -0,0179 * X + 37,126$	● 17,54
III	407	$Y = -0,2032 * X + 403,31$	● 88,99	-20,32	$Y = 0,1286 * X - 258,09$	● 83,16
	172	$Y = -1,178 * X + 2337,8$	● 90,79	-117,8	$Y = 0,9158 * X - 1837,7$	● 29,52
	185	$Y = -1,1252 * X + 2241,4$	● 97,89	-112,52	$Y = -0,2033 * X + 411,24$	● 72,71
	426	$Y = -0,5119 * X + 1016,5$	● 96,08	-51,19	$Y = -0,0472 * X + 95,716$	● 23,09
	436	$Y = -0,6292 * X + 1243$	● 87,85	-62,92	$Y = 0,1856 * X - 370,19$	● 80,55
	126	$Y = 0,1996 * X - 419,93$	● 8,55	19,96	$Y = -0,0355 * X + 72,167$	● 26,72
IV	142	$Y = -1,4674 * X + 2889,5$	● 93,69	-146,74	$Y = -0,0251 * X + 50,967$	● 33,91
	98	$Y = -1,5664 * X + 3092,6$	● 93,87	-156,64	$Y = 0,3365 * X - 671,42$	● 88,47
	107	$Y = -1,3026 * X + 2548,2$	● 98,38	-130,26	$Y = -0,0251 * X + 50,969$	● 30,51
	79	$Y = -1,8211 * X + 3582,5$	● 92,27	-182,11	No hay datos suficientes	
	82	$Y = -0,8064 * X + 1551,2$	● 93,97	-80,64	No hay datos suficientes	
V	564	$Y = -0,103 * X + 157,05$	● 2,46	-10,3	$Y = 0,0241 * X - 47,746$	● 24,78
	626	$Y = -0,7574 * X + 1412,3$	● 85,64	-75,74	No hay datos suficientes	

Fuente: Elaboración propia

Leyenda:	
● Verde	coeficiente de determinación alta
● Rojo	coeficiente de determinación baja

GRAFICA N° 5.2

REGRESIÓN LINEAL Y VELOCIDAD DE DESCENSO DE LA ZONA I

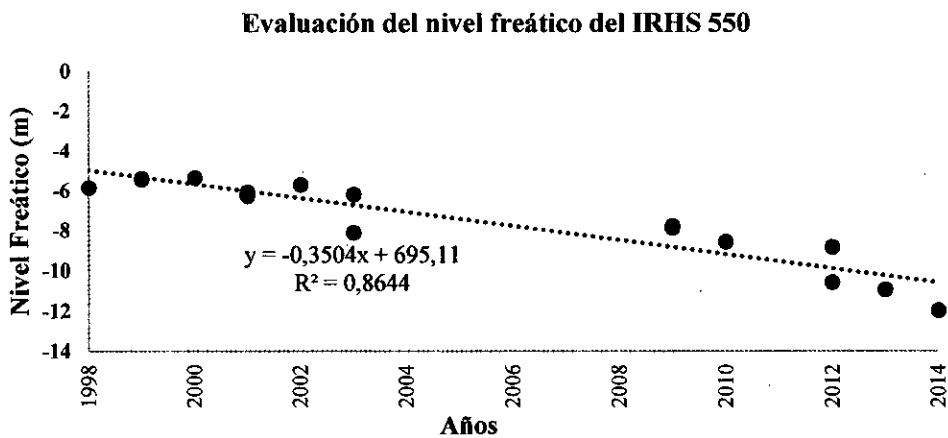


Fuente: Elaboración propia

La velocidad de descenso es 27,53 cm/año, con un coeficiente de correlación de 73,8 %; lo que indica que el resultado es de alta confiabilidad.

GRAFICA N° 5.3

REGRESIÓN LINEAL Y VELOCIDAD DE DESCENSO DE LA ZONA II

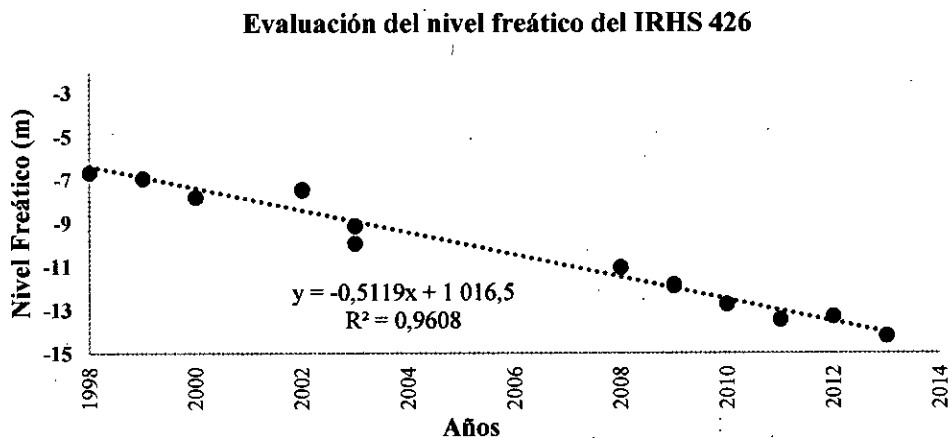


Fuente: Elaboración propia

La velocidad de descenso es 35,04 cm/año, con un grado de correlación de 86,44 %; lo que indica que el resultado es de alta confiabilidad.

GRAFICA N° 5.4

REGRESIÓN LINEAL Y VELOCIDAD DE DESCENSO DE LA ZONA III

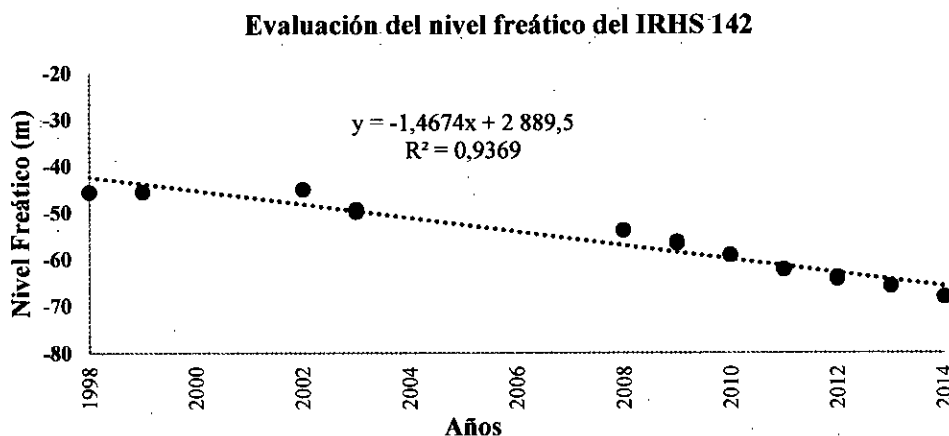


Fuente: Elaboración propia

La velocidad de descenso es 51,19 cm/año, con un grado de correlación de 96,08 %; lo que indica que el resultado es de alta confiabilidad.

GRAFICA N° 5.5

REGRESIÓN LINEAL Y VELOCIDAD DE DESCENSO DE LA ZONA IV

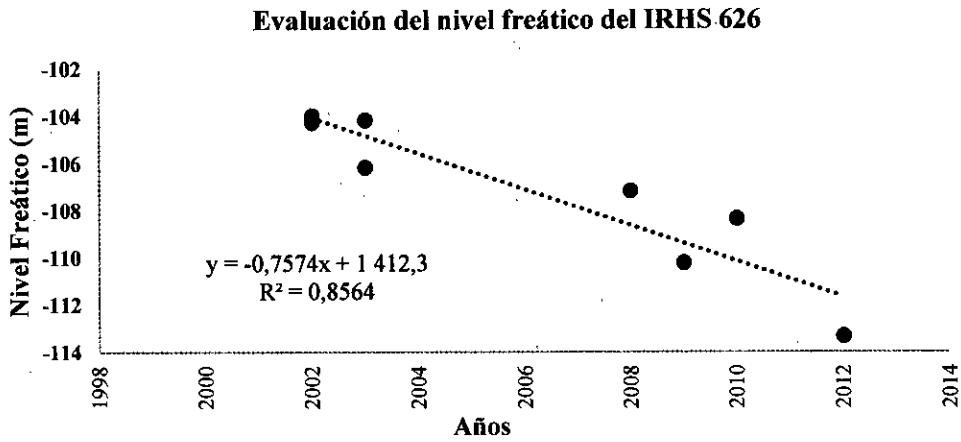


Fuente: Elaboración propia

La velocidad de descenso es 148,7 cm/año, con un grado de correlación de 93,69 %; lo que indica que el resultado es de alta confiabilidad.

GRAFICA N° 5.6

REGRESIÓN LINEAL Y VELOCIDAD DE DESCENSO DE LA ZONA V



Fuente: Elaboración propia

La velocidad de descenso es 75,74 cm/año, con un grado de correlación de 85,64 %;

lo que indica que el resultado es de alta confiabilidad.

CAPITULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.

- A. El coeficiente de correlación de SPEARMAN es -0,033 y como su valor se aproxima a cero no existe correlación entre las variables; nivel freático y conductividad eléctrica. Por lo expuesto se **rechaza la hipótesis**.

6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares

No se encontró estudios con los mismos parámetros pero si independientemente cada parámetro:

A. La conductividad depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua. Esta dependencia se confirma al observar el valor de la correlación de la conductividad y sólidos disueltos, el cual es 0,999²³.

B. Muchos investigadores han encontrado relaciones matemáticas entre la conductividad eléctrica y la mineralización (Markowicz y Pulina, 1979; Bakalowicz, 1974); la dureza (Bray, 1977) y otros parámetros químico-físicos. Las mismas se han aplicado con distintos objetivos hidrogeológicos. Sin embargo, correlaciones entre la conductividad eléctrica y la composición iónica sólo se han

²³ RINA NATALIA VINELLI RAMÍREZ. **Estudio Analítico de Nitratos en Aguas Subterráneas en el Distrito San Pedro de Lloc**. Tesis para optar el Título de Licenciado en Química, que presenta el bachiller. Lima. PUCP. Julio 2012

encontrado, en forma altamente significativa, para los iones más abundantes (Drake y Ford, 1974) y se han utilizado menos en la práctica. Correlaciones matemáticas entre la composición química y la conductividad eléctrica de las aguas, se han utilizado por Fagundo (1985; 1990 a, b) y Fagundo y Pajón (1987); con el objetivo de caracterizar acuíferos y posteriormente, comprobar la calidad de las aguas, mediante mediciones en el campo de la conductividad eléctrica y el uso de juegos de ecuaciones matemáticas, las cuales son calculadas y almacenadas para su empleo, por el sistema de programas SAMA²⁴.

C. El modelo de flujo realizado ha permitido simular dos hipótesis de actuación consistentes en la continuación de la situación de explotación media de los últimos años, y en el ajuste de tal explotación a los recursos del acuífero. En el primer caso, se mantienen los descensos observados del nivel piezométrico con valores de 1 m/año en el tramo Mioceno, unos 12 m/año en el Jurásico y unos 5 m/año en el Cretácico, y los primeros sondeos que quedarían secos serían los de Casa Castellanos, que ya muestra síntomas de agotamiento, y el de Raspay IV²⁵.

D. La intensiva explotación al que es sometido el acuífero de Villacurí desde hace varios años ha propiciado el desbalance entre la recarga y la extracción, que se manifiesta por la tendencia de descenso constante del nivel de la napa en todo el ámbito del acuífero, a razón de 0.30 m/año a 1.5 m/año según información

²⁴ TAMARA MARIANA LEONARTE PÉREZ. *Calidad de las Aguas Subterráneas de Gerona y la Fe*. ISCTA Empresa Integral de Recursos Hidráulicos. Nueva Gerona, España. 2005

²⁵ JOSÉ LUIS MOLINA GONZÁLEZ. *Análisis integrado y estrategias de gestión de acuíferos en zonas semiáridas*. Tesis doctoral. Granada, España. Universidad de Granada. 2009.

obtenida a través de las mediciones periódicas que se vienen llevando a cabo en pozos de la red de control piezométrica desde el año 1998. Asimismo, debido al estado de sobre explotación del acuífero, la calidad del agua también está en proceso de deterioro, lo que se manifiesta por el progresivo incremento de su concentración salina, representado por la conductividad eléctrica del agua, en donde la conductividad del agua se ha incrementado desde 1 hasta 3.8 mmhos/cm a + 25° C entre los años 1998 y 2010²⁶.

²⁶ AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. **Plan de Gestión de los Acuíferos del valle de Ica, Pampas de Villacuri y Lanchas**. Disponible en: <http://www.ana.gob.pe/media/537231/3-%20plan%20de%20gesti%C3%B3n%20ica%20-%20completo.pdf>. Artículo web. Consultado el 27 de marzo del 2016.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

A. La variable dependiente de variación de nivel freático tiene baja fuerza de correlación con la variable salinización (conductividad eléctrica); por lo tanto el descenso del nivel freático no influye en la salinización del acuífero de Las Pampas de Villacurí.

B. Las velocidades de descenso estimado para la zona de estudio, tiene la siguiente tendencia:

- **Zona I:** velocidad promedio 26,62 cm/año y vida útil del pozo es 37 años, considerando el tiempo en años que demoraría en descender 10 m.
- **Zona II:** velocidad promedio 56,74 cm/año y vida útil del pozo sería 18 años, considerando el tiempo en años que demoraría en descender 10 m.
- **Zona III:** velocidad promedio 72,95 cm/año y vida útil del pozo sería 14 años, considerando el tiempo en años que demoraría en descender 10 m.
- **Zona IV:** velocidad promedio 139,28 cm/año y vida útil del pozo sería 7 años, considerando el tiempo en años que demoraría en descender 10 m.
- **Zona V:** velocidad de 75,74 cm/año y vida útil del pozo sería 13 años, considerando el tiempo en años que demoraría en descender 10 m.

Si continua esta tendencia, disminuirá el rendimiento de los pozos de las aguas subterráneas y se incrementara el costo el costo de bombeo y de producción agrícola. Afectando negativamente al PBI – agrícola en Pampa de Villacurí - Ica.

C. La sobre explotación, descenso de napa y ausencia de recarga con agua superficial, contribuye al agotamiento del agua subterránea y deterioró calidad del agua por incrementó de salinidad (conductividad eléctrica). Por ejemplo:

- IRHS 345: salinidad creció de 1,36 (1998) a 4,3 dS/m (2014)
- IRHS 407: salinidad creció de 0,45 (2009) a 1,12 dS/m (2014)
- IRHS 98: salinidad creció de 0,66 (1998) a 5,66 dS/m (2014)

D. La salinización del acuífero de Villacurí es influenciado por la presencia de sales en los horizontes del suelo y estratos geológicos; que al estar en contacto con las aguas subterráneas tienden a su salinización.

E. Existe la tendencia a que si se sigue explotando el acuífero de Pampa Villacurí sin su recarga apropiada y un uso racional sus aguas subterráneas se agotaran.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES

A. Dentro de la gestión integrada de recursos hídricos de la cuenca del río Ica se debe tener en consideración, la recarga del acuífero de las Pampas de Villacurí mediante el transvase de aguas de la laguna Choclococha (canal de Ingahuasi y presa Tambo), ubicado en la frontera de Huancavelica entre los distritos de Santa Ana y Pilpichaca (Provincias de Castrovirreyna y Huaytará).

B. La ANA debe incrementar el control y vigilancia (fiscalizar) al cumplimiento estricto de la resolución jefatural N° 330-2011-ANA que declara en veda el acuífero de Ica, Villacurí y Lanchas.

C. Dada a la veda en las Pampas de Villacurí se recomienda riego eficiente de los cultivos mediante riego por goteo, monitoreado por sensores electrónicos. El riego por aspersión no sería apropiado ya que genera pérdida de agua por influencia del viento.

D. La ANA debe incrementar el control y vigilancia (fiscalizar) al cumplimiento estricto de las siguientes normas legales:

- D.S N° 023-2014-MINAGRI. El cual trata de licencias para uso de aguas subterráneas, la instalación de medidores de caudal instantáneo y de volumen en metros cúbicos, constituye condición previa para el otorgamiento de la licencia de uso de aguas subterráneas.

E. El MINAGRI debe dar propuestas de cambio de cedula de cultivo, debidamente organizados por tipo de cultivo y reemplazar los cultivos de alto consumo de agua, por otros de menor consumo de agua y mayor rentabilidad hídrica.

F. El MINAGRI, debe promover e implementar un Programa de Riego Presurizado (goteo, aspersión) en el valle Ica, para sustituir el riego por gravedad; dando facilidades a los agricultores para que cambien de sistema de riego, de tal forma que exista mayor disponibilidad del recurso hídrico.

G. El MINAGRI debe capacitar a los agricultores del valle Ica y Pampas de Villacurí para sustituir el uso de agroquímicos, por abonos orgánicos y control biológico en la agricultura, para reducir y/o eliminar la contaminación de suelos y aguas subterráneas por sales.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. **Plan de Gestión de los Acuíferos Ica, Villacurí y Lanchas.** Lima, Perú. Octubre 2012.
- 2.- INRENA. **Afianzamiento Hídrico en la cuenca del río Seco.** Lima, Perú. Mayo 2008.
- 3.- MARÍA LUISA CALVACHE QUESADA, MANUEL LÓPEZ CHICANO, WENCESLAO MARTÍN ROSALES, CARLOS DUQUE CALVACHE, JUAN CARLOS RUBIO CAMPOS Y ANTONIO GONZÁLEZ RAMÓN. **Proyecto de Investigación alerta a la intrusión marina en el acuífero Motril-Salobreña.** Granada, España. Febrero 2008
- 4.- ROGELIO MONREAL, JOSÉ CASTILLO, MIGUEL RANGEL, MARIANO MORALES, LUCAS ANTONIO OROZ Y HERMAN VALENZUELA. **La intrusión salina en el acuífero de la costa de Hermosillo.** Sonora, México. Octubre 2001.
- 5.- JORGE OYARZÚN M. **Léxico sobre procesos y estructuras geológicas.** La Serena, Chile. 2009.
- 6.- CECILIA BLUME C. **Problemática del agua en Ica.** Lima, Perú. Ambiental Peruana. Noviembre 2010.
- 7.- INRENA. **Diagnóstico de Aprovechamiento de las Aguas Subterráneas en el valle de Ica.** Lima, Perú. 1994.

- 8.- A. DEL VALLE GONZÁLEZ, M.P. NIÑO SACRISTÁN. **El Agua Subterránea.** Disponible en:
<http://cogecesmonte.galeon.com/periodicos/pe111a1120/eas120.htm>. Artículo web.
Consultado el 21 de noviembre del 2015.
9. - EDWARD J. TARBUCK, FREDERICK K. LUTGENS. **Ciencias de la Tierra, una Introducción a la Geología Física.** Madrid, España. Pearson Educación S.A. Octava edición. 2005
- 10.- JOSÉ JAVIER CLÚA. **Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas.** Madrid, España. Realigraf S.L. Enero de 2000
- 11.- JUAN JULIO ORDOÑEZ GÁLVEZ. **Aguas Subterráneas-Acuíferos.** Lima, Perú. Primera edición. 2011.
- 12.- NORBERTO O. BELLINO. **Aguas Subterráneas Conocimiento y Explotación.** Buenos Aires, Argentina. Instituto de Ingeniería Sanitaria Facultad de Ingeniería. 2012.
- 13.- JOSÉ JORGE ESPINOZA ECHE. **Contaminación de aguas subterráneas por lixiviación provenientes de sepulcros bajo suelo en el camposanto "Parques del Paraíso" Lurín - Lima.** Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias Ambientales. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2007.
- 14.- INRENA. **Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Ica.** Lima, Perú. Marzo 2003.
- 15.- INRENA. **Situación Hidrogeológica Inventario de Fuentes de agua Subterránea Ica y Villacurí.** Lima, Perú. 2007.

- 16.- Garduño, H., Foster S., y Kemper K. **Gestión Sustentable de Aguas Subterráneas serie de notas Informativas & Colección de Casos Esquemáticos**. DFID The World Bank. Febrero 2009
- 17.- DOUGLAS C. MONTGOMERY & GEORGE C. RUNGER. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. California, EE.UU. John Wiley & Sons. Tercera edición. 2003
- 18.- D.C. MONTGOMERY, E.A. PECK, G. **Introducción al Análisis de Regresión Lineal**. Geoffrey Vining. Tercera edición. 2002.
- 19.- DANIEL PEÑA. **Regresión y diseño de experimentos**. Madrid, España. Alianza Editorial S.A. Segunda edición. 2010.
- 20.- MONTGOMERY. **Control Estadístico de la Calidad**. New York. Editorial John Wiley & Sons. Tercera edición 2005.
- 21.- SANTIAGO L. IPIÑA Y ANA I. DURAND. **Inferencia Estadística y Análisis de datos**. Madrid, España. Pearson Educación S.A. Primer edición. 2008
- 22.- RAMOS OLMOS, R., SEPÚLVEDA MARQUÉS R. **El agua en el medio ambiente, Muestreo y análisis**. México. Universidad Autónoma de Baja California. Primera edición. 2003.
- 23.- IESPP CREA – INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICO PRIVADO CALIDAD EN REDES DE APRENDIZAJE. **Documento del Programa de Especialización en Investigación Educativa. Modulo I: “El conocimiento y la investigación científica”**. Lima, Perú. Primera edición. 2012.

- 24.- TAMARA MARIANA LEONARTE PÉREZ. **Calidad de las Aguas Subterráneas de Gerona y la Fe.** ISCTA Empresa Integral de Recursos Hídricos. Nueva Gerona, España. 2005
- 25.- JOSÉ LUIS MOLINA GONZÁLEZ. **Análisis integrado y estrategias de gestión de acuíferos en zonas semiáridas.** Tesis doctoral. Granada, España. Universidad de Granada. 2009.
- 26.- RINA NATALIA VINELLI RAMÍREZ. **Estudio Analítico de Nitratos en Aguas Subterráneas en el Distrito San Pedro de Lloc.** Tesis para optar el Título de Licenciado en Química, que presenta el bachiller. Lima. PUCP. Julio 2012.
- 27.- MINISTERIO DE AGRICULTURA - AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. **Complemento caracterización hidrogeológica del acuífero valle Ica y Villacurí:** 45 a 46, Diciembre 2009

ANEXOS

10.1. Matriz de Consistencia

TEMA	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
Evaluación de la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí - Ica.	¿La variación del nivel freático influye en el aumento de la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí?	<p>Objetivo General: *Evaluar la variación del nivel freático y su influencia en la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí-Ica.</p> <p>Objetivos Específicos: *Evaluar la variación del nivel freático en las Pampas de Villacurí para obtener la velocidad de descenso del nivel freático. *Plantear alternativas de solución para mejorar la cantidad y calidad de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí.</p>	Existe influencia de la variación del nivel freático con el aumento de la salinización de las aguas subterráneas en las Pampas de Villacurí - Ica.	<p>V. Independiente X: Variación del nivel freático de agua subterránea.</p> <p>V. Dependiente Y: Cantidad y Calidad de Agua.</p>	<p>*Nivel freático (m).</p> <p>*Conductividad Eléctrica (dS/m). *pH *Relación de absorción de sodio (ratio) *Relación de calidad de agua subterránea según River Side (ratio).</p>	El tipo de investigación es Causales, que tiene como objetivo determinar si una variable afecta a otra.	<p>Población: Esta representa por el número total de pozos con codificación IRHS, permiso no caducado y que se encuentre siendo utilizados en Las Pampas de Villacurí, el cual es 178 pozos. Muestra: De forma aleatoria simple se tomaron 22 pozos.</p>

10.2. Otros anexos necesarios para respaldo de la investigación.

A. Caracterización hidrogeológica de Villacurí

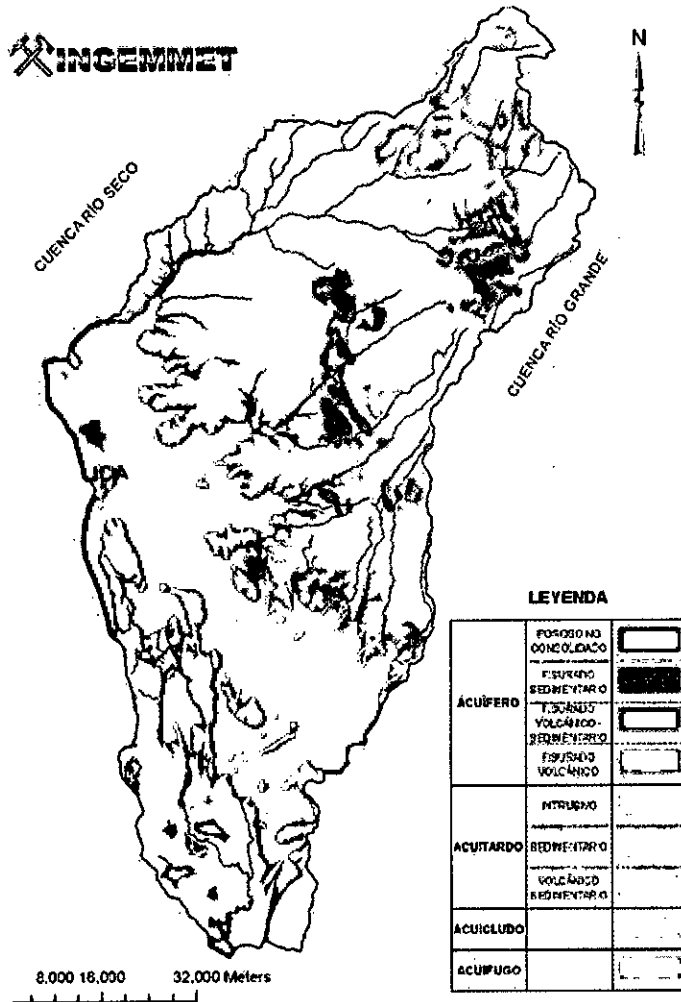
El acuífero Ica y Villacurí es libre no confinado, de formación geológica capaz de suministrar agua subterránea útil a pozos y manantiales, con dos características fundamentales; capacidad de almacenar agua subterránea (sedimentos granulares no consolidados y rocas fracturadas no consolidadas) y la capacidad de permitir el flujo del agua subterránea, su gran variación de espesor saturado del acuífero, entre diferentes tipos de depósitos, lo que le da como resultado un amplio rango de potencial de flujo de agua subterránea (Véase el figura N° 10.1, en la página “74”).

B. Geometría del reservorio

En la pampa de Villacurí, el acuífero está limitado lateralmente por afloramientos rocosos en ambas márgenes de la carretera Panamericana Norte representados por los cerros Prieto, El Águila, Mataballo, Mutaca y Blanco. En las pampas de Villacurí, varía entre 52 y 262 m, observándose los menores espesores (52 – 67 m) en los sectores Fdo. Ramón, Santa Rosa y Hacienda del Sur, mientras que los mayores espesores (252 – 262 m) en fundo AyB, PeruTom, pampa de Guadalupe y Fundo Floriser, Galmo.

FIGURA N° 10.1

MAPA HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO ICA



Fuente: XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica del Perú

C. El medio poroso.

Litología del relleno aluvial

Los resultados del estudio geológico-geomorfológico efectuado en el área de estudio, así como el análisis de los perfiles litológicos de pozos ubicados dentro del valle, ha permitido conocer la litología del acuífero, que es principalmente aluvial de edad cuaternaria. Litológicamente está conformado por bloques,

cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, según la geofísica se tiene de tres a cinco horizontes, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

D. Condiciones geoeléctricas del subsuelo de Villacuri

Los resultados del presente estudio ha permitido identificar que el subsuelo en el área investigada presenta una secuencia de hasta 5 horizontes, de los cuales dos (02) se encuentran en estado saturado y representa al acuífero que actualmente se explota.

Primer horizonte: Ubicado en la parte superior del corte, presenta espesores reducidos y se encuentra en estado no saturado.

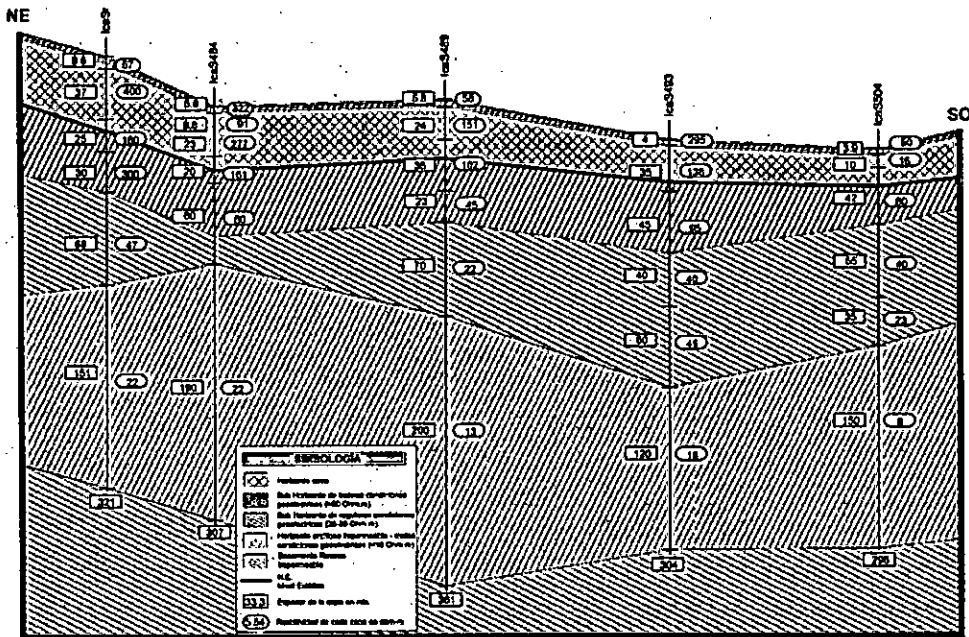
Segundo horizonte: Subyace al anterior y está conformado por resistividades, que superan los 50 Ohm.m, valores que representan a capas cuyos componentes son clastos medios – gruesos de buena permeabilidad y en estado saturado.

Horizonte factible de ser explotado.

Tercer horizonte: Presenta de malas a regulares condiciones geoeléctricas (10-19 – 40-45 Ohm.m) valores que representan a clásticos de tamaño fino – medio, de permeabilidad baja – media y en estado saturado. En algunos sectores con agua con cierta mineralización (Véase la figura N° 10.2; en la página “76”)

FIGURA N° 10.2

CONDICIONES GEOELÉCTRICAS VILLACURÍ : FUNDO CASUARINAS, PERUTOM, AGROINDUSTRIAS BACKUS, AGRÍCOLA LLANO VERDE



Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Horizonte factible de ser explotado.

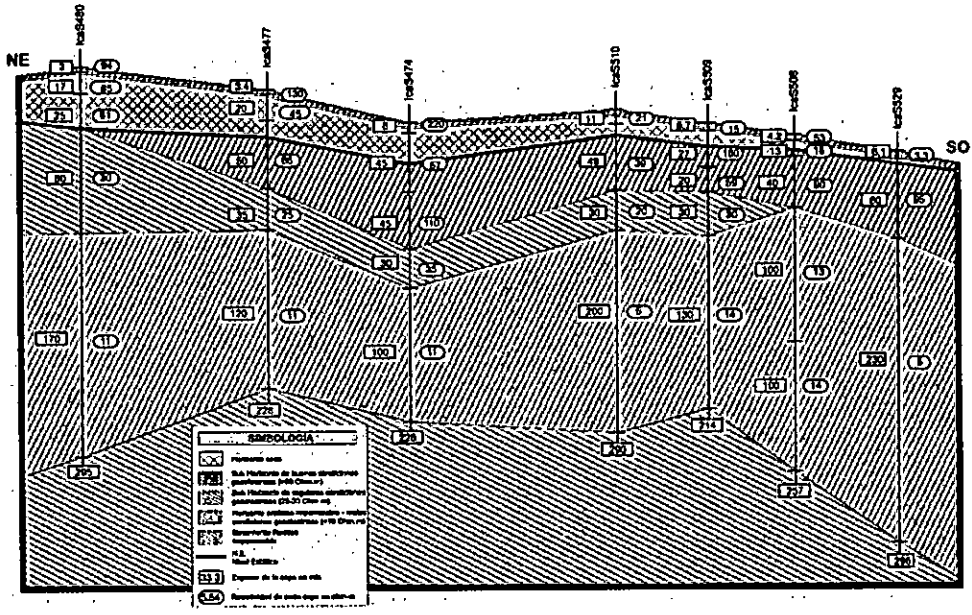
Cuarto horizonte: Presenta de malas a pésimas condiciones geoelectricas, sus resistividades bajas a muy bajas (menores de 1 – 9 Ohm.m) indica que está conformado por capas conformadas por clásticos finos, muy baja permeabilidad y/o agua almacenada mineralizada.

Quinto horizonte: Ubicado en la parte más inferior del corte geoelectrico y por sus resistividades eléctricas muy altas representa al basamento rocoso impermeable²⁷ (Véase la figura N° 10.3, en la página “77”).

²⁷ MINISTERIO DE AGRICULTURA - AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Complemento caracterización hidrogeológica del acuífero valle Ica y Villacuri: 45 a 46, Diciembre 2009

FIGURA N° 10.3

CONDICIONES GEOELÉCTRICAS VILLACURÍ: FUNDO FLORISUR, SAN GREGORIO, EL RECUERDO, PAMPA, RINCÓN



Fuente: Autoridad Nacional del Agua

E. Potabilidad del agua subterránea de Pampas de Villacurí

Para la clasificación de la potabilidad de las aguas subterráneas del valle Ica y Villacurí se ha tenido en cuenta los límites máximos tolerables de potabilidad, dado por la Organización Mundial de la Salud en Ginebra 1982 (Véase en el cuadro N° 10.1, en la página “78”)

La potabilidad de las aguas subterráneas del valle Ica y Villacurí se ha clasificado en base al diagrama de Potabilidad. Los resultados de los análisis físicos químicos de las 145 muestras de aguas entre Ica y Villacurí, indican que la potabilidad varía de aguas de Buena Calidad a Aceptables, los de Mala calidad de agua se

dan en el distrito Santiago y los rangos en Villacurí de Buena a Mediocres (Véase el cuadro N° 10.2)

CUADRO N° 10.1

LÍMITE TOLERABLES DE POTABILIDAD

ELEMENTOS	LÍMITE MÁXIMO TOLERABLE
pH	8 - 8.5
Dureza	250 - 500
Ca (mg/l)	85 - 200
Mg (mg/l)	125
Na (mg/l)	120
Cl (mg/l)	250
SO ₄ (mg/l)	250

Fuente: Organización Mundial de Salud (OMS).

CUADRO N° 10.2

POTABILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL VALLE ICA -

VILLACURÍ 2009

ZONA	DISTRITOS	POTABILIDAD
I	San José Molinos, Tinguiña, San Juan Bautista, Subtanjalla, Salas Guadalupe	Buena - Aceptable
II	Ica, Parcona, Los Aquijes, Pueblo Nuevo Pachacutec, Tate	Aceptable
III	Santiago, Ocucaje	Aceptable, mediocre a muy mala
IV	Salas Villacurí	Buena, aceptable a mediocre
V	Yauca del Rosario	Buena - Aceptable

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA).

F. Guía para usar SPSS Statistic 22

SPSS Inc., an IBM Company, es uno de los principales proveedores globales de software y soluciones de análisis predictivo. La gama completa de productos de la empresa (recopilación de datos, análisis estadístico, modelado y distribución) capta las actitudes y opiniones de las personas, predice los resultados de las interacciones futuras con los clientes y, a continuación, actúa basándose en esta información incorporando el análisis en los procesos comerciales.

En esta guía podremos encontrar los pasos fundamentales para realizar “**correlaciones bivariadas**”. Las correlaciones miden cómo están relacionadas las variables o los órdenes de los rangos. También miden el grado de asociación entre dos variables cuantitativas (discretas y/o continuas).

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Es una medida de asociación entre dos variables medidas bajo escala ordinal, intervalar o de razón, previa asignación de rangos a sus valores.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad d_i = \text{ran}(x_i) - \text{ran}(y_i)$$

Su interpretación es de la siguiente manera:

- Si su valor se aproxima a 1 existe una asociación directa entre las variables.
- Si su valor se aproxima a cero no existe asociación entre las variable
- Si su valor se aproxima a -1, existe una asociación inversa entre las variables

Para calcular el coeficiente de SPEARMAN en esta investigación se siguió los siguientes pasos:

- Ingreso de los datos de nivel freático y conductividad eléctrica de los periodos 1998 hasta el 2014, en las columnas variables - vista de datos (Véase en la figura N° 10.4, en la página “81”)
- En la vista de variables; se detallan las características de las variables de nivel freático y conductividad eléctrica, como por ejemplo: tipo numérico, anchura, decimales, etiqueta y medida (Véase en la figura N° 10.5 , en la página “82”)
- Ahora vamos al menú: analizar - correlación - Bivariadas, y nos sale una ventana donde debemos escoger las variables a analizar, seleccionamos que tipo de coeficiente vamos a utilizar, prueba de significancia y le damos clic en ACEPTAR (Véase en la figura N° 10.6, en la página “82”).

Correlaciones bivariadas

Coefficientes de correlación: Para las variables cuantitativas, normalmente distribuidas, seleccione el coeficiente de correlación de Pearson. Si los datos no están normalmente distribuidos o tienen categorías ordenadas, seleccione los correspondientes a la Tau-bde Kendall o SPEARMAN, que miden la asociación entre órdenes de rangos.

Prueba de significación: Se pueden seleccionar las probabilidades bilaterales o las unilaterales. Si conoce de antemano la dirección de la asociación, seleccione Unilateral. Si no es así, seleccione Bilateral.

Marcar las correlaciones significativas: Los coeficientes de correlación significativos al nivel 0,05 se identifican por medio de un solo asterisco y los significativos al nivel 0,01 se identifican con dos asteriscos.

- Al darle aceptar nos saldrá una nueva ventana donde podremos visualizar tablas donde se detalla el coeficiente de SPEARMAN y la gráfica de dispersión matricial (Véase en la gráfica N° 5.1, en la página “55”).

FIGURA N° 10.4

REGISTRO DE DATOS EN LAS COLUMNA DEL SPSS

	NF	CE	var
1	3,700	1,010	
2	7,500	1,220	
3	5,870	1,640	
4	14,950	1,010	
5	21,500	1,090	
6	3,150	0,210	
7	7,300	1,100	
8	6,420	1,240	
9	14,100	580	
10	21,400	1,100	
11	2,500	0,150	
12	7,000	1,000	
13	5,400	1,350	
14	14,050	700	
15	21,100	1,100	
16	2,300	0,200	
17	0,100	1,200	
18	5,450	1,300	
19	14,500	720	
20	2,950	3,180	
21	0,500	1,500	
22	7,200	1,000	
23	6,600	1,000	

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 10.5

PROPIEDADES DE LAS VARIABLES EN EL SPSS

The screenshot shows the 'Properties of Variables' dialog box in SPSS. The title bar reads 'Analisis de Correlacion.sav [Conjunto_de_datos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos'. The dialog box has several tabs: 'Nombre', 'Tipo', 'Anchura', 'Decimales', 'Etiqueta', 'Valores', 'Pendientes', 'Columnas', 'Almacenamiento', 'Medida', and 'Rol'. The 'Nombre' tab is active, showing two variables: 'NF' and 'CE'. For 'NF', the type is 'Numérico', width is 11, and decimals are 3. The label is 'Nivel Fisico'. For 'CE', the type is 'Numérico', width is 11, and decimals are 3. The label is 'Conductividad Eléctrica'. The 'Almacenamiento' tab shows 'Escala' and 'Entrada' for both variables. The 'Medida' tab shows 'Escala' and 'Entrada' for both variables. The 'Rol' tab shows 'Entrada' for both variables.

Variable	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Pendientes	Columnas	Almacenamiento	Medida	Rol
1	NF	Numérico	11	3	Nivel Fisico	Ninguna	Ninguna	3	Escala	Escala	Entrada
2	CE	Numérico	11	3	Conductividad Eléctrica	Ninguna	Ninguna	3	Escala	Escala	Entrada

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 10.6

CALCULANDO EL COEFICIENTE DE SPEARMAN

The screenshot shows the 'Bivariate' dialog box in SPSS. The title bar reads 'Analisis de Correlacion.sav [Conjunto_de_datos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos'. The dialog box is open over a data view showing variables NF and CE. The 'Variables' list contains 'Nivel Fisico (NF)' and 'Conductividad Eléctrica (CE)'. Under 'Coeficientes de correlación', the 'Spearman' checkbox is checked. Under 'Prueba de significación', the 'Bilateral' radio button is selected. The 'Marcar las correlaciones significativas' checkbox is also checked. The 'Aceptar' button is highlighted.

Variable	NF	CE
1	3,780	
2	7,500	
3	5,870	
4	14,850	
5	21,500	
6	3,150	
7	7,390	
8	5,420	
9	14,100	
10	21,400	
11	2,500	
12	7,000	
13	5,400	
14	14,850	
15	21,100	
16	2,900	
17	9,100	
18	5,450	
19	14,500	
20	2,950	3,150
21	8,500	1,500
22	7,290	1,900
23	5,600	1,000

Fuente: Elaboración propia

G. Guía para usar MINITAB 16

Minitab ofrece muchos análisis estadísticos como la regresión, ANOVA, las herramientas de calidad y las series temporales. Los gráficos integrados le ayudan a visualizar los datos y a validar los resultados. En Minitab también puede mostrar y guardar los análisis estadísticos y diagnosticar las mediciones.

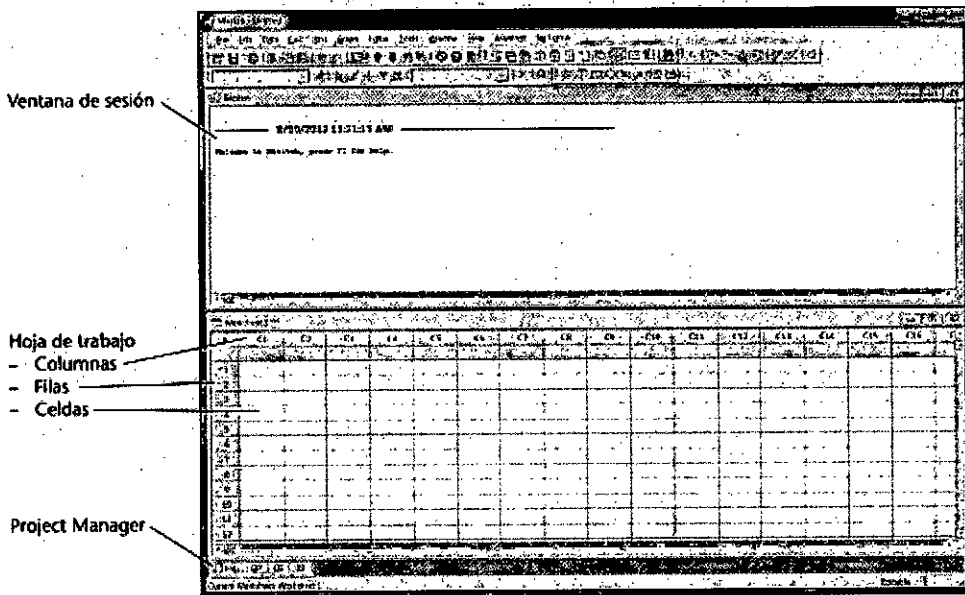
A continuación detallaremos los pasos para realizar regresión lineal.

Paso N° 1: Abrir Minitab, se abre con dos ventanas visibles y una minimizada (Véase en la figura N° 10.7, en la página “84”).

- **Ventana de sesión:** La ventana de sesión muestra los resultados de los análisis en formato de texto. En esta ventana también puede introducir comandos de sesión en lugar de usar los menús de Minitab.
- **Hoja de trabajo:** Es similar a una hoja de cálculo, es donde introduce y organiza los datos. Puede abrir múltiples hojas de trabajo.
- **Project Manager:** La tercera ventana, Project Manager, están minimizada bajo la hoja de trabajo

Paso N° 2: En la hoja de trabajo se inserta, en las columnas, los datos que se desea analizar.

FIGURA N° 10.7
VENTANAS DE MINITAB



Fuente: Elaboración propia

Paso N° 3: Para examinar relaciones entre dos variables se tiene que realizar el diagrama de dispersión. Puede seleccionar un diagrama de dispersión en el menú de gráficos o usar el asistente de MINITAB.

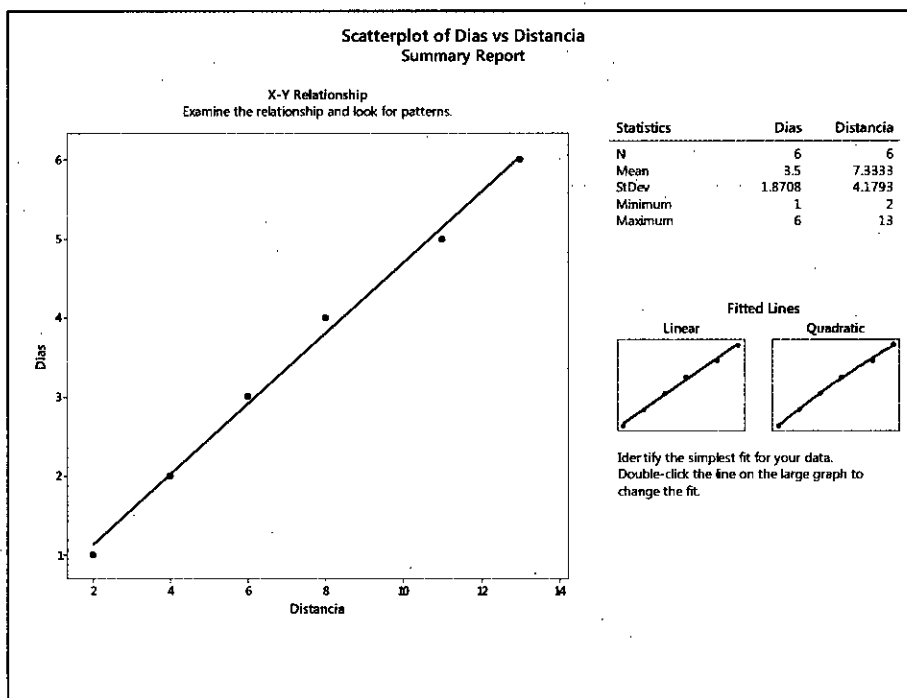
Para observar más gráficos con explicaciones detalladas sobre cómo interpretar los resultados:

- Seleccione Assistant > Graphical Analysis.
- En Graph relationships between variables, haga clic en Scatterplot (groups).
- En Y column, escriba Days.
- En X column, escriba Distance.
- En Number of X columns, seleccione 1.

- Haga clic en OK. Nos proporcionara el informe de resumen que incluye diagramas de dispersión de días y distancia por centro de envío superpuestos en el mismo gráfico (Véase en la figura N° 10.8). Este informe también ofrece diagramas de dispersión más pequeños para cada centro de envío.

FIGURA N° 10.8

INFORME RESUMEN DE DIAGRAMA DE DISPERSIÓN



Fuente: Elaboración propia