

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“GRADO DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL  
ACUÍFERO CHILCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**RENZO JORED VIVANCO MONTREUIL**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“GRADO DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL  
ACUÍFERO CHILCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**RENZO JORED VIVANCO MONTREUIL**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. RICARDO APACLLA NALVARTE  
Presidente

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA  
Asesor

Mg. Sc. GUILLERMO CLEMENTE AGUILAR GIRALDO  
Miembro

DRA. LIA RAMOS FERNÁNDEZ  
Miembro

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su paciencia y a mis hermanos quienes me apoyaron en todo momento, muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por tan grandiosos recuerdos y a la Facultad de Ingeniería Agrícola por los conocimientos brindados.

A los docentes quienes me compartieron sus experiencias e impulsaron más interés por la carrera.

A mi asesor por la paciencia, confianza y amistad.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	<b>2</b>
2.1.	Antecedentes .....	2
2.2.	Geología .....	3
2.2.1.	Afloramientos rocosos .....	3
2.2.2.	Depósitos aluviales (Q-al) .....	7
2.2.3.	Depósitos fluvio-aluviales (Q-fal) .....	8
2.2.4.	Depósitos coluviales (Q-gc) .....	8
2.2.5.	Depósitos eólicos (Q-e) .....	9
2.2.6.	Depósitos marinos (Q-mr) .....	9
2.2.7.	Geología estructural .....	10
2.3.	Ciclo hidrológico .....	10
2.3.1.	Precipitación .....	11
2.3.2.	Evaporación .....	12
2.3.3.	Evapotranspiración .....	12
2.3.4.	Escorrentía .....	13
2.3.5.	Infiltración .....	13
2.4.	Hidrogeología .....	13
2.4.1.	Agua subterránea .....	14
2.4.2.	Acuífero .....	14
2.4.3.	Características de los acuíferos .....	15
2.4.4.	Recarga del acuífero .....	16
2.5.	Vulnerabilidad de un acuífero .....	17
2.5.1.	Importancia de la vulnerabilidad de un acuífero .....	18
2.6.	Riesgo .....	20
2.7.	Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos .....	20
2.8.	Métodos para determinar la vulnerabilidad .....	21
2.8.1.	Método GOD .....	22
2.8.2.	Método DRASTIC .....	23
2.8.3.	Método SINTACS .....	28
2.9.	Uso de los mapas de vulnerabilidad .....	30
2.10.	Base de datos .....	34
2.11.	Sistema de Información Geográfica (SIG) .....	34
<b>III.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>35</b>

3.1. Recopilación y análisis de la información existente .....	35
3.2. Reconocimiento de campo .....	35
3.3. Caracterización del acuífero .....	36
3.3.1. Ubicación .....	36
3.3.2. Ecología .....	36
3.3.3. Hidrogeoquímica .....	41
3.3.4. Calidad biológica de agua.....	41
3.3.5. Fuentes potenciales de contaminación.....	42
3.4. Información para la elaboración de mapas base.....	43
3.4.1. Información geológica .....	43
3.4.2. Información hidrometeorológica .....	44
3.4.3. Información hidrogeológica .....	50
3.5. Determinación de la vulnerabilidad .....	55
3.6. Análisis comparativo de resultados .....	55
3.7. Elaboración de mapa con fuentes potenciales de contaminación.....	55
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
4.1. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método GOD.....	57
4.1.1. Índices para la aplicación del Método GOD.....	57
4.1.2. Grado de vulnerabilidad con el Método GOD.....	61
4.2. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método DRASTIC .....	63
4.2.1. Índices para la aplicación del Método DRASTIC .....	63
4.2.2. Grado de vulnerabilidad con el Método DRASTIC .....	73
4.3. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método SINTACS.....	73
4.3.1. Índices para la aplicación del Método SINTACS.....	73
4.3.2. Grado de vulnerabilidad con el Método SINTACS.....	88
4.4. Discusión de resultados .....	99
4.5. Análisis comparativo de resultados .....	99
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>103</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rango de valores para la vulnerabilidad de un acuífero por el método GOD.....	22
Tabla 2: Valoración de la profundidad del agua subterránea .....	24
Tabla 3: Valoración de la recarga neta .....	25
Tabla 4: Valoración del tipo de acuífero .....	25
Tabla 5: Valoración del tipo de suelo .....	26
Tabla 6: Valoración de la pendiente .....	26
Tabla 7: Valoración de la zona no saturada.....	26
Tabla 8: Valoración de la conductividad hidráulica .....	27
Tabla 9: Valoración de la ponderación para los distintos factores .....	28
Tabla 10: Grados de vulnerabilidad.....	28
Tabla 11: Puntuación de las variables para el método SINTACS .....	31
Tabla 12: Factores de ponderación del método SINTACS .....	33
Tabla 13: Evaluación de la vulnerabilidad - método SINTACS .....	33
Tabla 14: Clasificación del agua para riego según Wilcox .....	41
Tabla 15: Límites máximos tolerables de potabilidad por la OMS.....	42
Tabla 16: Fuentes potenciales de contaminación en la zona del acuífero Chilca.....	43
Tabla 17: Descripción de las formaciones geológicas del acuífero Chilca .....	44
Tabla 18: Características de las estaciones pluviométricas del área de estudio .....	46
Tabla 19: Estaciones meteorológicas para la estimación de la temperatura del área de estudio.....	46
Tabla 20: Recarga por aplicación de lámina de riego .....	47
Tabla 21: Recarga del acuífero Chilca .....	49
Tabla 22: Características hidrogeológica de las formaciones geológicas .....	51
Tabla 23: Resumen de áreas de grados de vulnerabilidad.....	100
Tabla 24: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Chilca (2019).....	108
Tabla 25: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Pucusana (2019).....	122
Tabla 26: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Santo Domingo de Los Olleros (2019).....	122
Tabla 27: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Descenso .....	129
Tabla 28: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Recuperación.....	131
Tabla 29: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Descenso .....	133
Tabla 30: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Recuperación.....	135

Tabla 31: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Descenso .....	137
Tabla 32: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Recuperación.....	139
Tabla 33: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Descenso .....	141
Tabla 34: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Recuperación.....	143
Tabla 35: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Descenso .....	145
Tabla 36: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Recuperación.....	147
Tabla 37: Resumen de conductividad hidráulica en las pruebas de bombeo .....	149
Tabla 38: Áreas de los grados de vulnerabilidad (2015).....	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.....	11
Figura 2: Método GOD para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos ...	23
Figura 3: Ubicación de la zona de estudio.....	37
Figura 4: Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Chilca .....	38
Figura 5: Ubicación política de la cuenca del río Chilca.....	39
Figura 6: Mapa ecológico del valle de Chilca .....	40
Figura 7: Mapa geológico de la cuenca Chilca.....	45
Figura 8: Mapa de isopropundidad del acuífero Chilca .....	53
Figura 9: Mapa de isoconductividad hidráulica del acuífero Chilca .....	54
Figura 10: Fuentes potenciales de contaminación del acuífero Chilca .....	56
Figura 11: Variable “G” – método GOD.....	58
Figura 12: Variable “O” – método GOD.....	59
Figura 13: Variable “D” – método GOD.....	60
Figura 14: Índice de vulnerabilidad – método GOD .....	61
Figura 15: Grados de vulnerabilidad – método GOD.....	62
Figura 16: Valores de “Dr” – método DRASTIC .....	64
Figura 17: Valores de “Drw” – método DRASTIC.....	65
Figura 18: Valor de “Rr” – método DRASTIC .....	67
Figura 19: Valor de “Rrw” – método DRASTIC .....	68
Figura 20: Valores de “Ar” – método DRASTIC .....	69
Figura 21: Valores de “Arw” – método DRASTIC.....	70
Figura 22: Valores de “Sr” – método DRASTIC .....	71
Figura 23: Valores de “Srw” – método DRASTIC .....	72
Figura 24: Valores de “Trw” – método DRASTIC .....	74
Figura 25: Valores de “Ir” – método DRASTIC .....	75
Figura 26: Valores de “Irw” – método DRASTIC .....	76
Figura 27: Valores de “Cr” – método DRASTIC.....	77
Figura 28: Valores de “Crw” – método DRASTIC.....	78
Figura 29: Índice de vulnerabilidad – método DRASTIC.....	79
Figura 30: Grados de vulnerabilidad – método DRASTIC .....	80
Figura 31: Valor de “S” – método SINTACS .....	82
Figura 32: Valor de “Sw” – método SINTACS .....	83

Figura 33: Valor de “I” – método SINTACS .....	84
Figura 34: Valor de “Iw” – método SINTACS .....	85
Figura 35: Valores de “N” – método SINTACS .....	86
Figura 36: Valores de “Nw” – método SINTACS .....	87
Figura 37: Valores de “T” – método SINTACS.....	89
Figura 38: Valores de “Tw” – método SINTACS.....	90
Figura 39: Valores de “A” – método SINTACS .....	91
Figura 40: Valores de “Aw” – método SINTACS .....	92
Figura 41: Valores de “C” – método SINTACS.....	93
Figura 42: Valores de “Cw” – método SINTACS.....	94
Figura 43: Valores de “Sp” – método SINTACS .....	95
Figura 44: Valores de “Spw” – método SINTACS .....	96
Figura 45: Índice de vulnerabilidad – método SINTACS .....	97
Figura 46: Grado de vulnerabilidad – método SINTACS .....	98
Figura 47: Ubicación de pozos de observación (red piezométrica e hidrogeoquímica)....	126
Figura 48: Clasificación del agua para riego por su CE según Wilcox.....	127
Figura 49: Hidroisohipsas del acuífero Chilca .....	128
Figura 50: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Descenso.....	130
Figura 51: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Recuperación .....	132
Figura 52: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Descenso.....	134
Figura 53: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Recuperación .....	136
Figura 54: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Descenso.....	138
Figura 55: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Recuperación .....	140
Figura 56: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Descenso.....	142
Figura 57: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Recuperación .....	144
Figura 58: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Descenso.....	146
Figura 59: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Recuperación .....	148
Figura 60: Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo.....	150
Figura 61: Grado de vulnerabilidad – método GOD (2015) .....	151
Figura 62: Grado de vulnerabilidad – método DRASTIC (2015).....	152
Figura 63: Grado de vulnerabilidad – método SINTACS (2015) .....	153
Figura 64: Cisterna con agua obtenida del pozo IRHS 684 .....	155
Figura 65: Reservorio abastecido del pozo IRHS 684 .....	155
Figura 66: Laguna de oxidación en mal estado .....	156

Figura 67: Laguna de oxidación .....	156
Figura 68: Toma de coordenadas de las lagunas de oxidación.....	157
Figura 69: Canal derivación de la laguna de oxidación hacia el mar sin mantenimiento .	157
Figura 70: Canal de derivación con agua contaminada.....	158
Figura 71: Contaminación de pantanos naturales.....	158
Figura 72: Pozo IRHS 342 .....	159
Figura 73: Midiendo nivel estático del pozo IRHS 342 .....	159
Figura 74: Tomando coordenadas del pozo IRHS 344 .....	160
Figura 75: Medición del nivel estático del pozo IRHS 344 .....	160
Figura 76: Medición del nivel estático del pozo IRHS 626 .....	161
Figura 77: Pozo IRHS 684 .....	161

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos hidrogeológicos .....	108
Anexo 2: Fotos .....	155

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

### ACRÓNIMO

ANA	Autoridad Nacional del Agua
CE	Conductividad eléctrica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IRHS	Inventario de Recursos Hídricos Subterráneos
pH	Potencial de hidrógeno
Qda.	Quebrada

## RESUMEN

Para definir la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Chilca, se realizó el análisis y ordenamiento de la información proporcionada por la ANA y la data obtenida en campo, se tuvo en cuenta que la data utilizada sea del período de avenidas, dado que es cuando el nivel del agua subterránea está más cercano al nivel del terreno, por lo que es más vulnerable a contaminarse. Luego, por medio de distintos métodos, como el DRASTIC, GOD y SINTAC, que utilizan diferentes parámetros en su análisis, se estimó la vulnerabilidad para el acuífero Chilca. Finalmente, se evaluó cuál de los métodos aplicados es el más confiable y cercano a la realidad. De esta manera, se determinó que las zonas próximas a la costa presentan una vulnerabilidad muy alta a la contaminación; y, al alejarse de ésta, se reduce a vulnerabilidad moderada. Por consiguiente, los resultados de la presente investigación servirán para futuros planes de mitigación o reducción de contaminantes en las zonas más propensas.

**Palabras clave:** vulnerabilidad de acuíferos, método DRASTIC, método GOD, método SINTACS.

## **ABSTRACT**

To define the vulnerability to contamination of the Chilca aquifer, the analysis and ordering of the information provided by the ANA and the data obtained in the field was carried out; it was taken into account that the data used is from the flood period, since it is when the groundwater level is closer to ground level, making it more vulnerable to contamination. Then, through different methods, such as DRASTIC, GOD, and SINTAC, which use different parameters in their analysis, the vulnerability for the Chilca aquifer was estimated. Finally, it was evaluated which of the applied methods is the most reliable and close to reality. In this way, it was determined that the areas near the coast have a very high vulnerability to contamination; and, by moving away from it, it is reduced to moderate vulnerability. Therefore, the results of this research will be used for future pollutant mitigation or reduction plans in the most prone areas.

**Keywords:** aquifer vulnerability, DRASTIC method, GOD method, SINTACS method.

## **I. INTRODUCCIÓN**

A consecuencia del incremento demográfico y del desarrollo económico en el que se encuentra la localidad de Chilca, el acuífero ha adquirido suma importancia, como única fuente de agua; y, también, debido a que, por una inadecuada planificación y gestión, presenta un serio problema de déficit de agua para consumo humano, en algunos sectores. Ante esta problemática, se realizó el presente estudio para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Chilca, con el fin de concientizar y fomentar el uso o manejo adecuado del recurso hídrico subterráneo. Para lograr tal objetivo, se usaron distintos métodos y herramientas existentes.

Para este trabajo se utilizó los métodos GOD, DRASTIC y SINTACS, de gran ayuda para evaluar la vulnerabilidad o el riesgo a la contaminación por sustancias en concentraciones por arriba de la normativa del agua para consumo humano, con lo que se obtuvo mapas, indicando los niveles de vulnerabilidad de la zona de estudio. Se realizó, además, una comparación entre los resultados de la aplicación de estos métodos; también, se identificó en otro mapa los puntos potenciales de contaminación; finalmente, mediante la superposición de todos estos mapas, se reconoció los lugares con diferentes niveles de riesgos a la contaminación.

## **II. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1. Antecedentes**

Palomino (2012), aplicó los métodos GOD y DRASTIC para la determinación de la vulnerabilidad del acuífero Aguascocha, concluyendo que el método DRASTIC es más confiable debido a la cantidad de parámetros que presenta; mediante la utilización de estos métodos descarta su hipótesis específica donde señala a la actividad minera como un contaminante potencial de alto grado; también, concluye que los métodos GOD y DRASTIC son importantes y de gran utilidad para evaluar la vulnerabilidad de un acuífero.

Montaño (2004), realizó conjuntamente con sus estudiantes de la Universidad de la República (INGEPA), Montevideo (Uruguay), la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación con los métodos GOD y DRASTIC, del acuífero Mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú. Al comparar los resultados de ambos métodos, obtuvo tres zonas de vulnerabilidad distinta: muy baja, baja y moderada. Estableció que el método GOD era efectivo, en cuanto a la menor necesidad de información específica y la mayor rapidez con que se llega a los resultados finales; sin embargo, con disponibilidad de información más precisa, se obtuvo mejores resultados, por lo que resulta eficaz la utilización del método DRASTIC.

Civita y De Maio (2001), ejecutaron un estudio destinado a la evaluación de la vulnerabilidad al riesgo de contaminación del acuífero que subyace al área municipal de San Miguel de Allende (México), haciendo uso del método paramétrico SINTACS; definieron que las zonas más vulnerables se encontraban al occidente de la localidad La Ciénaga. El índice y el mapa de vulnerabilidad fueron creados en un SIG, lo que permite actualizar la información.

Estrada (2013), realizó la aplicación del método SINTACS para la determinación de la vulnerabilidad acuífera en la cuenca del río Duero, Michoacán (México). Se definió a la

cuenca con dos niveles de vulnerabilidad: una baja, ubicada en los valles fluviales; y, otra media, localizada en ambiente volcánico. Estableció que los niveles de vulnerabilidad resultantes estaban directamente relacionados con las condiciones hidrogeológicas.

## **2.2. Geología**

Tarbuck y Lutgens (2005) mencionan que la geología es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra y que se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica. La geología física, estudia los materiales que componen la Tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo (fenómenos endógenos) y encima (fenómenos exógenos) de la superficie terrestre.

El objetivo de la geología histórica es comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo. Por tanto, procura ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico. El estudio de la geología para los ingenieros especialistas en hidrología superficial y subterránea requiere de conocimientos de: petrología, geomorfología, sedimentología (disciplinas geológicas) entre otros, para poder interactuar en su porción del ciclo hidrológico, la ayuda de la geología resulta necesaria para comprender e interpretar la interrelación suelo-roca-aguas superficiales-aguas subterráneas.

El acuífero Chilca presenta las siguientes unidades geológicas:

### **2.2.1. Afloramientos rocosos**

Según la Autoridad Nacional del Agua (2019), estos afloramientos se encuentran en la parte superior del acuífero Chilca, en ambos márgenes abarcando en su totalidad los flancos de la quebrada. Conformados por grupos, formaciones geológicas y rocas del Batolito de la Costa. La estructura rocosa que rodea la quebrada está conformada por rocas ígneas intrusivas del batolito costanero y rocas volcánicas-sedimentarias del Grupo Casma (Formación Chilca y Volcánico Quilmaná) y la Formación Pamplona.

**a. Formación Chilca (Ki-ch)**

La ANA (2019) describe a esta formación como una secuencia de rocas volcánico-sedimentarias conformada en su parte inferior por calizas y rocas clásticas intercaladas con derrames volcánicos y en su parte superior, generalmente, por rocas volcánicas.

En el acuífero Chilca la secuencia inferior presenta calizas y sobre éstas se tienen bancos de areniscas con matriz calcárea y horizontes conchíferos (coquinas) restos de lamelibranquios y gasterópodos en ciertos sectores; encima de la caliza, se presenta un horizonte conglomerádico, conformado por cantos pequeños y medianos. La secuencia clástica es de origen volcánico, tipo brechoide.

Esta formación aflora ampliamente en la parte inferior del área estudiada así se observa en El Padre con buzamiento de capas hasta de 45°, San Bartolo, lomas Lapa Lapa, San José (60°), Chutana (65°), Calcari, Víbora, Santa María, Olof Palme (15°) y otros. Presenta espesores de 750 m y se le atribuye una edad del Aptiano-Albiano.

Esta formación por su origen marino pierde su valor para la captación de aguas del subsuelo y actúa como un acuitardo.

**b. Volcánico Quilmaná (Kms-q)**

Según la ANA (2019), estas rocas volcánicas afloran ampliamente en la parte central del área de estudio, en ambos flancos de la quebrada Chilca, así como también en los cerros Alto Unión, Narizón, Botija, Dos Rayas, Piquinillay. Estratigráficamente, sobreyacen a la formación Chilca.

Litológicamente, está constituido por derrames andesíticos masivos poco estratificados, de textura porfirítica, de coloración gris a gris verdosa y en menos proporción doleritas y diabasas. Al sur en el valle de Chilca, en la unión con la quebrada de Alpacoto aparecen dentro de estos volcánicos, horizontes sedimentarios constituidos por areniscas arcósicas de grano fino. En la quebrada Chilca, el espesor total de este volcánico se estima entre 600 y 700 m.

Este volcánico actúa como acuitardo y sobre él se depositan los sedimentos sueltos cuaternarios que forman parte del acuífero.

**c. Formación Pamplona (Ki-pa)**

La ANA (2019) detalla que esta formación está conformada, en su base, por una secuencia conglomerádica, mientras que, en su parte media y superior, por intercalaciones de lutitas gris-verdosas a amarillentas y calizas marmolizadas. En el área estudiada, se ubica en la parte inferior del cerro Honda y del cerro La Buey, presentando capas con buzamientos entre 20° y 30°, así como también en los cerros Naplo, La Tiza (15°), Colorado (20°), Pucusana (10°), Toro (20°) y otros.

La edad de esta formación va desde fines del Valanginiano hasta inicios del Aptiano y presenta un espesor de 700 m. Esta formación por su origen marino, presenta el mínimo interés para la captación de aguas del subsuelo y actúa como un acuitardo.

**d. Rocas intrusivas**

Según la ANA (2019), las rocas intrusivas ubicadas en el área de estudio comprenden cuerpos subvolcánicos de intrusiones tempranas y cuerpos plutónicos, que forman parte del Batolito de la Costa; así mismo, comprenden algunas intrusiones subvolcánicas menores de emplazamiento posterior.

Las rocas intrusivas plutónicas afloran ampliamente en el área, así en la parte alta, se ubican en ambos márgenes rodeando en su totalidad en sus dos flancos a la quebrada Chilca.

En orden cronológico, las unidades que conforman el Batolito de la Costa, de la más antigua a la más joven, se describen a continuación:

- **Superunidad Patap (Ks-pt)**

Esta superunidad está constituida por cuerpos de gabros y dioritas, las más antiguas del Batolito, emplazados al lado occidental del mismo. Estas rocas de grano medio a grueso conformado, principalmente, por gabros y granodioritas

tienen alto peso específico presentando un color típico oscuro (gabro).

Se encuentran intruyendo a las rocas sedimentarias y volcánicas del Mesozoico a las que metamorfizan, dando lugar a contactos externos por lo general verticales. A su vez son intruidos por los cuerpos más jóvenes del Batolito, pertenecientes a la Superunidad Santa Rosa.

- **Superunidad Jecuán (Ks-je)**

Esta Superunidad está conformada por un cuerpo ácido de tipo granodiorítico - tonalítico y monzogranitos o adamelitas de edad más temprana que los granitos de las Superunidades Santa Rosa y Tiabaya.

La tonalita de esta unidad, localmente pasa a ser granodiorita por adición de ortosas que cortan a las plagioclasas. Las tonalitas ganan ortosas en parte por adición de diques potásicos provenientes de la Superunidad Tiabaya de emplazamiento posterior, pasando a la granodiorita.

Esta Superunidad intruye a la diorita xenolítica por lo que su edad es del Cretáceo superior.

- **Superunidad Santa Rosa (Ks-sr)**

Esta Superunidad, constituida por cuerpo tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos, también, aflora en el área de estudio. Se emplazan con posterioridad a los gabros y dioritas de la Superunidad Patap, a los que intruye con contactos definidos y casi verticales. Así mismo, intruye a las secuencias mesozoicas del Grupo Casma (sedimentos cretáceos y volcánicos).

Ha sido dividida, a manera de sub-unidades, en cuerpos oscuros (diorita-tonalitas) y cuerpos claros (tonalita-granodioritas).

- **Superunidad Tiabaya (Ks-ti)**

Está compuesta por cuerpos ácidos, variando de granodioritas a tonalitas. En el área investigada, se emplaza mayormente en la parte inferior, intruyendo a cuerpos de la Superunidad Patap. Esta Superunidad ha sido disectada por la quebrada Chilca y se ha emplazado en el Cretáceo Superior.

En las zonas intermedia y baja del área de estudio, se muestran afloramientos

rocosos pertenecientes al Batolito de la Costa, observándose lo siguiente:

- Dioritas que afloran en los cerros Capto y Condor Coto, Quipa y en el sector de Santa Rosa.
- Tonalitas granodioritas que afloran en el cerro Narizón.
- Granitos que afloran en los cerros Barroso y León,
- Andesitas que afloran en los cerros Alpacoto y Moya.

Hidrogeológicamente, estos afloramientos rocosos en su conjunto, por su litología y estructura, carecen de importancia en la búsqueda de aguas subterráneas, debido a que actúan como acuífugos, sobre los cuales se depositan sedimentos no consolidados de edad cuaternaria.

### **2.2.2. Depósitos aluviales (Q-al)**

La ANA (2019) los describe como depósitos constituidos por materiales acarreados por el río, que bajan de la vertiente occidental andina cortando rocas terciarias, mesozoicas y del Batolito de la Costa, que depositan en su trayecto, sedimentos a lo largo y ancho de su cauce. En la cuenca en estudio se ubican, mayormente, en la parte inferior y media, en ese orden y en forma secundaria, en la parte superior de la cuenca.

Litológicamente, están conformados por una secuencia de capas de sedimentos de cantos rodados, gravas y guijarros en matriz areno limosa o arcillosa, presentándose lentes de sedimentos finos: limos, arcillas.

Estos depósitos tienen gran importancia debido a que representan gran parte del acuífero y de acuerdo a estudios geofísicos su espesor puede llegar hasta 200,00 m.

Por análisis de campo se puede inferir, en su conformación, la existencia de tres etapas por la depositación y erosión de los sedimentos, que dio origen a la construcción, en forma alternada, de niveles antiguos del acuífero: cauce mayor o lecho actual, primera terraza y segunda terraza.

### **2.2.3. Depósitos fluvio-aluviales (Q-fal)**

Para la ANA (2019) están conformados por pequeños materiales subangulosos, de tamaño mediano a pequeño, de diferente naturaleza, que se encuentran cubriendo grandes sectores (quebradas), que son producto de materiales rocosos acarreados por aguas que han discurrido y que se han depositado, cubriendo las áreas antes indicadas. En la zona de estudio se observa en las quebradas de Santa Rosa, La Chutana, La Vieja y otras.

Estos depósitos presentan espesores reducidos y buena permeabilidad y corresponden a acuíferos porosos no consolidados, de poca importancia hidrogeológica.

### **2.2.4. Depósitos coluviales (Q-gc)**

Esta unidad incluye a todas aquellas áreas que circundan a los afloramientos rocosos, por lo que han recibido y siguen recibiendo material desprendido de las partes altas, debido a los agentes de intemperismo (ANA, 2019).

Estos depósitos están conformados por la interdigitación de líneas de escombros antiguos que convergen al bajar por las laderas de los cerros y que, por acción de la gravedad y ocasionales corrientes hídricas superficiales, se han fusionado más abajo en una pendiente ondulada.

Litológicamente, están constituidos por clásticos angulosos con sedimentos arcillosos, limos y arenas muy finas.

En el área de estudio se presentan cubriendo sectores de las quebradas Santa Rosa, Botija, El Padre, Calanguito, Alpacoto; y, en la parte inferior, en los cerros Dos Rayos, San José y Botija.

Esta unidad tiene aceptable permeabilidad y porosidad, por lo que corresponde a acuíferos porosos no consolidados; sin embargo, su alimentación es mínima, en ese sentido, su calidad como acuífero, es baja.

### **2.2.5. Depósitos eólicos (Q-e)**

Según la ANA (2019), estos depósitos se encuentran emplazados, ampliamente, en la parte inferior del valle de Chilca. Litológicamente, se depositan unos sobre la superficie de los cerros y otros en sus taludes, en donde alcanzan su mayor grosor y presentan ligeros desniveles.

Los materiales eólicos proceden de las arenas de playa y son transportadas por los vientos que los distribuyen en forma de mantos o cubiertas delgadas o en forma de dunas longitudinales. En el área de estudio, se presentan depósitos eólicos del pleistocénico y recientes.

- **CAMPOS DE DUNAS (Q-cd)**

Estos depósitos pleistocénicos son acumulaciones eólicas antiguas y que en la actualidad se hallan estabilizados y conformando lomadas y pequeños campos de dunas.

Estas arenas se han estabilizado principalmente por la acción de la humedad, determinando un suelo fino y estable. Se observan en la parte inferior del acuífero formando campos de dunas.

- **MANTOS DE ARENA POR ASPERSIÓN EÓLICA (Q-ma)**

Conformados por arenas móviles, que se observan ampliamente en la zona de estudio. Estas arenas proceden de las diversas playas del litoral, en su movimiento adoptan variadas formas como mantos.

Los mantos son los más comunes, generalmente, cubren las laderas de los cerros como San Bartolo, El Padre, Las Lomas, Lapa Lapa y otros.

### **2.2.6. Depósitos marinos (Q-mr)**

Depósitos que se caracterizan por estar conformados por materiales clásticos, mayormente, pequeños (gravas) o finos (arena), formados por la acción erosiva de las olas y distribuidas por la corriente marina (ANA, 2019).

Su litología está constituida, principalmente, por arenas de grano medio a fino, sin cohesión

con alto contenido de sales, observándose en ciertos sectores, costras por efecto de la evaporación por capilaridad (Las Salinas).

Se observan cerca de la línea del litoral, como en las Playas de San Pedro, Caletilla, Bandurria, Naves, Chilca, Yaya, Honda y otras. Por su ubicación, tiene una incidencia mínima en la hidrogeología del área estudiada.

### **2.2.7. Geología estructural**

Para la ANA (2019), el área de estudio se encuentra enmarcada y ha sido afectada por la tectónica desarrollada durante la orogénesis andina que dio lugar a plegamientos con ruptura. Estos eventos sucedieron desde el Cretáceo Terciario hasta el Cuaternario.

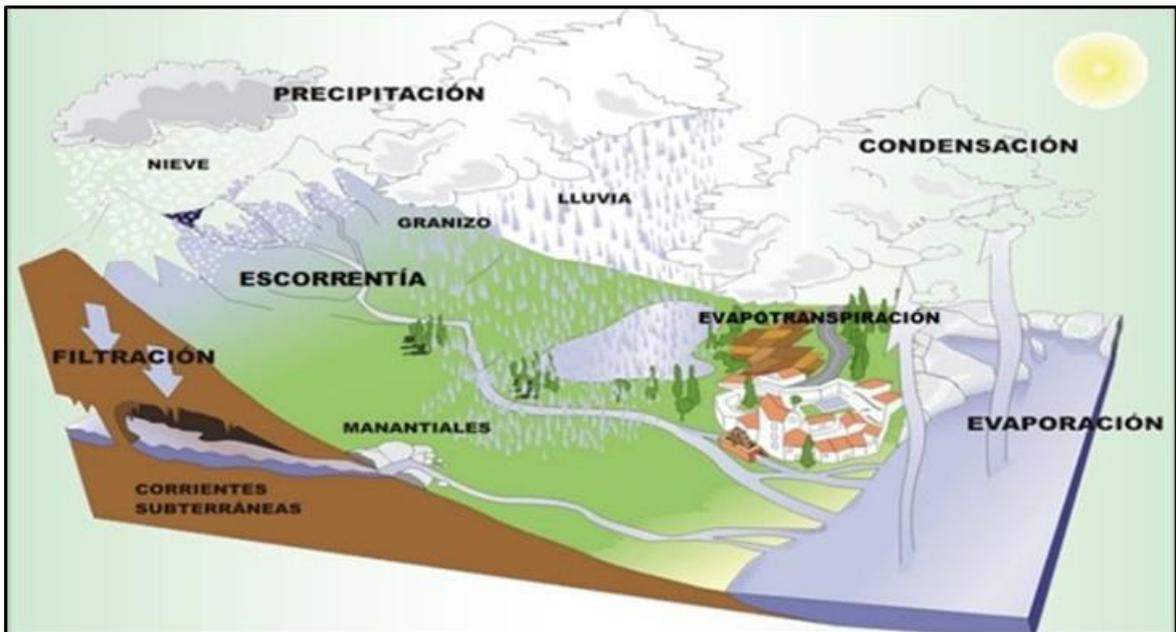
Dentro del área de estudio no se observa plegamientos (anticlinales y sinclinales) ni sistemas de fallas (probablemente en otros sectores producto de procesos tectónicos de compresión), pero si fallas inferidas aisladas en la parte media e inferior. Hacia el norte, se han identificado probables fallas, como las que cruzaría los cerros Pico Rayado y Alpacoto.

Como fracturas, principalmente, se presentan en rocas del Batolito de la Costa, así como en el sector de Capto y cerro Quipa, en rocas dioríticas, (30° - 65° - 75°); en Santa Rosa (40° - 85°), en tonalitas-granodioritas (60° - 65°); en granitos del cerro León (60°) y otras.

### **2.3. Ciclo hidrológico**

Dentro de la hidrogeología es preciso conocer y entender el proceso de la naturaleza, llamado ciclo hidrológico, considerado el concepto central de la hidrología (Custodio y Llamas, 2001).

El ciclo hidrológico (Figura 1) se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Está animado por dos causas: la energía solar y la gravedad (Ordoñez, 2011).



**Figura 1: Ciclo hidrológico**

FUENTE: Ordoñez, 2011.

El balance hidrológico se expresa de acuerdo a la ecuación matemática siguiente:

$$P = Et + E + I$$

Donde:

P: Precipitación

Et: Evapotranspiración

E: Escorrentía

I: Infiltración

### 2.3.1. Precipitación

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013) define la precipitación como el agua que cae en forma de lluvia por la condensación del vapor de agua, con la reducción de temperatura por la altitud, que puede tomar los siguientes caminos:

- Quedar depositada en áreas cubiertas por vegetación. Esto ocurre en caso de lluvias muy cortas y/o de bajo volumen de precipitación y en situaciones en que la vegetación es muy densa. El agua se evapora desde la superficie vegetal y retorna a la atmósfera, sin haber llegado al suelo.
- Alcanzar la superficie del suelo e infiltrarse. El suelo es un medio poroso y, por lo tanto, permeable, que presenta diferentes velocidades de infiltración del agua en el

perfil. Cuanta más agua se infiltra durante una lluvia, tanto mejor para su aprovechamiento, ya que los caminos que puede seguir son útiles: producción vegetal y recarga de la napa freática.

- Alcanzar la superficie del suelo y escurrir. Cuando la intensidad de la precipitación supera la velocidad de infiltración del suelo se produce la escorrentía superficial. La escorrentía puede causar erosión y es negativa porque, además de representar un volumen de agua no aprovechado, causa daños en el área y aguas abajo (crecidas, sedimentación, contaminación).

A veces, dependiendo de las condiciones atmosféricas u orográficas de la superficie, se precipita en forma de hielo (granizo) y niebla.

### **2.3.2. Evaporación**

Según la FAO (2013), las superficies de agua libre (océanos, ríos, lagos, lagunas, embalses, etc.) ocupan más de dos tercios de la superficie total del planeta, reciben la energía solar y pierden agua por evaporación. La evaporación del agua mantiene la atmósfera húmeda.

Esta fase atmosférica del ciclo, depende de variables climáticas no manejables por el hombre, tales como: disponibilidad de energía (radiación solar) y capacidad de la atmósfera de recibir humedad (poder evaporante de la atmósfera).

### **2.3.3. Evapotranspiración**

La FAO (2013) señala que el volumen de agua infiltrado y almacenado en el suelo y que la planta puede absorber es el realmente aprovechable, es decir, el que contribuye a la producción vegetal. Por medio de diferentes mecanismos internos, el agua es absorbida por la planta, participa de los sistemas funcionales de la misma y vuelve a la atmósfera por medio de la transpiración.

Otra parte del agua infiltrada y almacenada se pierde por evaporación. La radiación solar, al impactar la superficie del suelo, crea condiciones propicias para que ocurra la evaporación del agua. Esta es una pérdida que puede ser controlada. Para reducirla, se requiere aplicar tecnologías que eviten el sobrecalentamiento del suelo, como la propia vegetación y los

residuos vegetales o evitar directamente la salida de agua (mantillos plásticos).

Por la dificultad operacional de cuantificar por separado el volumen que evapora del suelo y el volumen transpirado por la planta, la suma de ambos se expresa como evapotranspiración.

#### **2.3.4. Escorrentía**

La escorrentía puede ser superficial o subterránea. Una parte importante del agua de un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es de flujo subterránea, es decir, agua que no circula en régimen de lámina libre, sino que inicialmente se infiltra, escapa de la evapotranspiración y, en vez de constituir infiltración eficaz, circula horizontalmente por la parte superior de la zona no saturada hasta volver a la superficie, siendo de esta manera como lo define la FAO (2013).

Así mismo, menciona que la distribución entre la escorrentía superficial y la subterránea está determinada por la tasa de infiltración y capacidad de almacenamiento del suelo, las cuales dependen, básicamente, de factores climatológicos, geológicos, hidrológicos y edáficos. Probablemente el factor más decisivo sea la intensidad y la duración de la lluvia, pero también son determinantes la textura y estructura del suelo, su conductividad hidráulica y condiciones de drenaje interno. Externamente, la topografía del terreno, la conformación de la red de drenaje y la vegetación son factores importantes. El flujo subterráneo predomina en la mayor parte de las situaciones, excepto en caso de aguaceros de fuerte intensidad.

#### **2.3.5. Infiltración**

La FAO (2013) la define como el flujo de agua que penetra a través de la superficie del suelo y se redistribuye desde las zonas saturadas hacia las no saturadas del perfil. El índice de infiltración del suelo es el flujo de agua que penetra por unidad de tiempo.

### **2.4. Hidrogeología**

La hidrogeología es la parte de la geología que estudia el agua subterránea; cabe mencionar, que guarda una estrecha relación con las aguas superficiales, ya que la principal fuente de recarga de los acuíferos proviene de la infiltración de ríos, arroyos y otros cuerpos de agua que se encuentran en la superficie. Es por eso que se puede decir que el agua superficial y

subterránea guarda una estrecha relación (Fuentes, 1992).

La hidrogeología es la ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de yacimiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación (Mijailov, 1985).

#### **2.4.1. Agua subterránea**

El agua subterránea forma parte de la circulación dentro del ciclo hidrológico, ya que su formación radica principalmente de la infiltración o percolación a través de la superficie, luego continua su recorrido de manera lenta entre grandes distancias para luego retornar a la superficie por acción natural o por acción del hombre (Werner, 1996).

Es importante mencionar que al agua subterránea le corresponde el 25,7 por ciento del total de agua dulce y 98,4 por ciento del agua dulce no congelada en la hidrosfera (Davis, 2005). Por ello, representa una fuente potencial de mucha importancia de abastecimiento de agua en el mundo.

Las aguas subterráneas son flujos de aguas que circulan por los poros de los acuíferos y alcanzan a tener superficies libres en las cercanías del pozo del cual son bombeadas. Así mismo, las define como aquellas que se acumulan como resultados de la infiltración del agua, generalmente meteórica, a través de una formación geológica con características físicas favorables, tales como: porosidad y permeabilidad, lo que permite su transporte, almacenamiento y extracción, si se requiere (Stanley, 1971).

#### **2.4.2. Acuífero**

Es el medio o estrato del suelo que permite la circulación del agua por sus poros o grietas y que el hombre pueda aprovecharla en cantidades que satisfagan sus necesidades (Custodio & Llamas, 2001).

El acuífero es una formación geológica en la cual se encuentra almacenada el fluido y al

mismo tiempo permite el movimiento por efectos de la gravedad o presión (Vélez, 1999). El acuífero es un estrato o formación geológica, lo suficientemente porosa y permeable, como para permitir la acumulación y circulación del agua, de tal forma que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables, para satisfacer sus necesidades (Castany, 1971).

El flujo de agua que circule en un tiempo determinado dependerá de las conexiones de los poros y el tamaño de los mismos, de esto depende la permeabilidad de cada estrato o medio (*United States Geological Survey. Groundwater*, 1982).

Los acuíferos se pueden clasificar, de acuerdo a la presión hidrostática del agua, en:

- **Acuíferos libres, no confinados o freáticos:** son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo del techo de la formación permeable. Liberan agua por desaturación, es decir, el agua que ceden es la procedente del drenaje de sus poros. (Ordoñez, 2011).
- **Acuíferos cautivos, confinados o a presión:** el fluido que circula en estos medios se encuentra sometido a una presión superior a la atmosférica y ocupa la totalidad de espacios vacíos o poros de este estrato que lo contiene, (Custodio & Llamas, 2001). Son formaciones permeables limitadas por capas impermeables, en este caso se habla de un nivel piezométrico, que es una superficie imaginaria que coincide con el nivel hidrostático del fluido (Vélez, 1999).

#### **2.4.3. Características de los acuíferos**

No todos los acuíferos poseen las mismas características, es por ello que mediante las mismas se pueden diferenciar de otras formaciones geológicas. También, permiten definir, y en algunos casos, predecir la respuesta del acuífero frente a determinadas acciones exteriores (Custodio & Llamas, 2001).

- **Porosidad:** indica la capacidad de retener agua en una formación geológica, pero no es un buen indicador de la cantidad de agua que puede extraerse de ella. Parte de ella quedará retenida como una película en la superficie de las rocas, en pequeñas grietas y aberturas (Master & Ela, 2008). La porosidad de un material se encuentra representada por un porcentaje que relaciona el volumen que ocupan los poros en un volumen unitario

del material en mención (Ordoñez, 2011).

- **Porosidad total** ( $\Phi_T$ ): es una de las propiedades fundamentales de los acuíferos, tratándose de la particularidad que tienen las rocas y los suelos de contener espacios vacíos. Se expresa, cuantitativamente, por la relación del volumen de poros al volumen total de la roca, en forma de porcentaje (Stanley, 1971).
- **Porosidad eficaz** ( $\Phi_{efg}$ ): se diferencia de la porosidad total en que su valor expresa en términos porcentuales, el volumen de agua capaz de ser drenado o movido a través de los espacios que se encuentran interconectados en la roca-almacén (Stanley, 1971).
- **Conductividad hidráulica**: capacidad de un material para permitir el flujo de agua bajo el efecto de un gradiente hidráulico (diferencia de potencial hidrostático). Vélez (1999) menciona que el agua subterránea se mueve a través de los vacíos del suelo, cuya permeabilidad depende de la cantidad de poros y de la conexión que existen entre estos. En un suelo arcilloso existe gran cantidad de poros, pero estos no están conectados entre sí, por lo tanto, la permeabilidad es menor que en un suelo franco.
- **Transmisividad**: concepto introducido por Theis en 1935, que se define como el caudal que atraviesa una franja vertical de terreno, de altura igual al espesor del estrato permeable saturado y ancho unitario, bajo una diferencia de presión a una temperatura constante determinada (Custodio & Llamas, 2001).
- **Coefficiente de almacenamiento**: se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical de sección igual a la unidad y altura igual a la del acuífero saturado si se produce un descenso de la carga hidráulica igual a la unidad (Custodio & Llamas, 2001).

#### 2.4.4. Recarga del acuífero

Según la Autoridad Nacional del Agua (2009) se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora agua a un acuífero procedente del agua externa al contorno que lo limita. Asimismo, al volumen de agua que se infiltra o al flujo descendente en un intervalo de tiempo que alcanza el nivel freático formado o aumentando las reservas de agua.

Ordoñez (2011) clasifica la recarga de un acuífero de la siguiente manera:

##### a. Recarga natural

La infiltración se produce en el terreno por la acción conjunta de dos fuerzas, la gravedad y la atracción molecular, las que pueden actuar en un mismo sentido o bien

en forma opuesta, según las circunstancias. La magnitud de la infiltración y por lo tanto de la alimentación de la napa subterránea, se ve influenciada por dos tipos de condiciones; la precipitación y las condiciones del terreno.

**b. Recarga por infiltración de los cauces superficiales**

Suelen construirse siguiendo la topografía del terreno, en general, con agua circulante hasta que se infiltra totalmente o hasta que sale la porción residual no recargada. Suelen ser poco profundos, la infiltración se produce por el fondo y también por los lados, con importancia variable dependiendo de su ancho.

**c. Recarga por riego**

Por efecto del riego aplicado a las parcelas de cultivo, se produce la infiltración y percolación profunda, que constituye otra fuente de alimentación de la napa subterránea. Del total del agua que se aplica en el riego, una parte importante se gasta en el “consumo evapotranspirativo” (agua transpirada por la planta más la evaporada desde de la humedad de la capa superficial del suelo); otra parte escurre superficialmente; mientras que, el resto llega a alcanzar la napa subterránea, constituyendo la recarga ya referida.

**d. Recarga artificial**

Consiste, esencialmente, en facilitar la infiltración de agua superficial hacia el subsuelo en los lugares apropiados para tal objeto.

## **2.5. Vulnerabilidad de un acuífero**

Vrba y Zaporozec (1994), la definen como una propiedad intrínseca del sistema de aguas subterráneas que depende de la sensibilidad del acuífero a los impactos humanos y/o naturales. Para Foster y Hirata (1991), es la sensibilidad de un acuífero para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta. En cambio, para Custodio (1995), es “la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales”.

La vulnerabilidad del agua subterránea respecto a un plaguicida, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede alcanzar al acuífero, en función de las

prácticas agrícolas empleadas, las características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica. Es importante que, además de las condiciones del medio, se incorporen las propiedades del contaminante y las prácticas del cultivo (vulnerabilidad específica) (*Environmental Protection Agency*, 1991b).

Se puede decir, entonces, que la vulnerabilidad es la sensibilidad del sistema a ser alterado o su capacidad de asimilación de contaminantes, sean estos naturales o artificiales. Cabe mencionar que, la vulnerabilidad a la polución es una característica de los acuíferos difícil de determinar y que depende de muchos factores.

Según Balairon (2000), dentro del tema de vulnerabilidad puede distinguirse:

- **Vulnerabilidad intrínseca:** es aquella que depende, exclusivamente, de las características hidrogeológicas del acuífero, las que determinarán la mayor o menor accesibilidad del medio a la penetración de los contaminantes, así como su capacidad de atenuación, como resultado de la retención físico-química o de la reacción de los poluentes con el medio.
- **Vulnerabilidad específica:** es la que tiene en cuenta factores de carácter externo como, por ejemplo, climatológicos (pluviometría y temperatura); y, otros relativos a la carga contaminante (procedimiento y lugar de entrada del contaminante al acuífero, movilidad y persistencia del contaminante).

### **2.5.1. Importancia de la vulnerabilidad de un acuífero**

Generalmente, el riesgo potencial de contaminación de un acuífero se estima en un proceso secuencial que abarca su caracterización, seguido por el análisis de vulnerabilidad que, finalmente, se utiliza para evaluar el riesgo asociado al desarrollo de actividades de distinto tipo a nivel de la zona superficial (Espinoza, 2002).

En el Perú, la condición desértica de la vertiente del Pacífico, debido a situaciones orográficas y la corriente marítima fría, que proviene de la Antártida, hacen que la costa sea una región árida. Es por ello, que el acuífero Chilca es de suma importancia en la región; y, actualmente, se encuentra sobreexplotada, y con un serio problema de intrusión marina.

Ante esta situación, el 20 de febrero de 1969, mediante Resolución Suprema N° 003-69-FO/AR, se declaró la veda en Chilca, prohibiendo la perforación de nuevos pozos y con ello restringiendo la extracción de agua subterránea en dicho acuífero.

El 2015, la DCPRH de la ANA (Autoridad Nacional del Agua) conjuntamente con la AAA (Autoridad Administrativa del Agua) Cañete-Fortaleza, realizaron el estudio de “Evaluación de la veda del acuífero Chilca” (ANA, 2015).

El 2019, la DCPRH de la ANA (Autoridad Nacional del Agua), conjuntamente con la AAA (Autoridad Administrativa del Agua) Cañete – Fortaleza elaboraron el documento denominado “Estudio hidrogeológico del acuífero Chilca” (ANA, 2019).

En otros países, tales como Colombia, a partir de 1998, se dio inicio al Plan de Protección Integral de las Aguas Subterráneas (PPIAS), coordinado por INGEOMINAS con el auspicio de la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), el Ministerio del Medio Ambiente y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); en vías de implementación por las corporaciones regionales del medio ambiente.

En el Ecuador, importantes fuentes de agua subterránea se encuentran en acuíferos de la Amazonía (Buckalew, Reed, Scott, James, 1998), donde su calidad se ha visto afectada por la práctica de actividades antrópicas, potencialmente contaminantes. Por ejemplo, en Sucumbíos y Orellana, donde gran parte del agua “potable” proviene de pozos profundos, el derrame de cerca de 16,8 millones de galones de petróleo durante la operación de Texaco, afectó la calidad del agua subterránea en estas provincias, haciendo que su consumo se añada a las principales causas de enfermedad entre la población (Serrano, 2013).

En cuanto a trabajos sobre vulnerabilidad de acuíferos, se tiene el realizado por Coello y Galarraga (2002), en el que tras una modelación de las características físicas del acuífero norte de Quito, se examinaron distintas metodologías de zonificación de la vulnerabilidad; y, el realizado por Ribeiro, Pindo y Domínguez (2017), en el que se aplica un índice de susceptibilidad a la contaminación agrícola difusa, asociada a fertilizantes (nitratos), pesticidas (hidrocarburos halogenados, fenoles y arsénico) y organismos fecales, en el

acuífero de Daule en la provincia de Guayas.

## 2.6. Riesgo

Foster (1987), define al riesgo como “el peligro existente del deterioro de la calidad ya sea del agua u otro elemento por la existencia real o potencial de sustancias contaminantes que hay en su entorno”.

Civita y De Maio (1997), definen al riesgo como:

$$R = H_t * D$$

Donde:

H<sub>t</sub>: es la probabilidad asociada al periodo de retorno del evento

D: es el posible daño.

A nivel de aguas subterráneas, el riesgo de contaminación está formado por la interacción de dos partes (Zwahlen, 2003):

- La pasiva, representada por la vulnerabilidad, que no depende de la actividad humana y no cambia perceptiblemente con el tiempo.
- La activa, representada por la amenaza, que depende directamente de la actividad humana en la superficie o sub-superficie y puede cambiar con el tiempo.

## 2.7. Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos

En Valencia, la empresa Evaluación de Recursos Naturales S.A. (1998), en el marco del convenio entre la *Universitat Politècnica de València* y la *Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports*, menciona que está ligada a una cualidad del medio geológico que las contiene, que ofrece un cierto grado de protección a la contaminación de las aguas debido a sus características hidráulicas intrínsecas (porosidad, permeabilidad, espesor, capacidad de cambio, etc.), atenuadoras de la carga contaminante original.

La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación, derivada de cualquier agente contaminante, en una porción del territorio, depende de tres factores fundamentales: características físico-química-biológicas de los agentes potencialmente contaminantes, el poder depurador del suelo y de la zona no saturada y el poder depurador de la zona saturada

del acuífero.

La contaminación de los acuíferos puede ser de carácter físico, químico y biológico.

La determinación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a este tipo de contaminantes requiere de modelización matemática y de profundo conocimiento sobre la dinámica de los acuíferos, por lo que, la mejor forma de prevenirla es evitar los agentes causantes.

Como contaminación química de los acuíferos cabe citar el incremento del contenido en nitratos en las aguas subterráneas y la contaminación por hidrocarburos. Este tipo de contaminación puede ser difusa o puntual, en cualquiera de los casos la determinación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a la misma, requiere costosos estudios de detalle sobre la mineralogía, edafología, hidrodinámica e hidrogeoquímica, por lo que la mejor prevención frente a la misma es tomar medidas correctivas para evitar la contaminación, en particular, la derivada de focos puntuales de contaminantes tóxicos y peligrosos de actividades industriales, o dirigir estas actividades a sectores del territorio no vulnerable por carencia de aguas subterráneas o por muy difícil movilidad de éstas.

La contaminación microbiológica derivada de los sistemas de saneamiento urbano y rurales puede afectar a las aguas subterráneas, existiendo procedimientos de fácil aplicabilidad y fiables para la determinación de la vulnerabilidad. Este tipo de valoración es el que, por otra parte, mayor interés reviste a efectos urbanísticos y de ordenamiento territorial.

## **2.8. Métodos para determinar la vulnerabilidad**

Existen diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad de aguas subterráneas, cada uno con sus ventajas y desventajas, con aplicaciones específicas en algunos casos, y con diversas variables o parámetros que en ocasiones hacen parecer difícil de elegir uno de ellos. A continuación, se explican algunos de los métodos más conocidos para determinar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas (GOD, DRASTIC y SINTACS).

### 2.8.1. Método GOD

Desarrollado por Foster (1987), como método sencillo y sistemático, por lo que se usa cuando se cuenta con datos escasos; por su estructura simple y pragmática, es el método utilizado en primer lugar para estimar la vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero. Consiste en evaluar la vulnerabilidad multiplicando tres parámetros (Escobar, García & Guerrero, 2002), asignando valores entre 0 y 1, a los parámetros:

G: *Ground water occurrence* (tipo de acuífero).

O: *Overall aquifer class* (litología de la cobertura).

D: *Depth to groundwater* (profundidad del acuífero).

A cada parámetro se le asigna un valor que depende de las características del acuífero; la multiplicación de estos tres parámetros dará como resultado el valor de vulnerabilidad, tal como lo señala la siguiente fórmula (Cerros, 2007), que se puede visualizar en la Figura 2.

$$V = G * O * D$$

Donde:

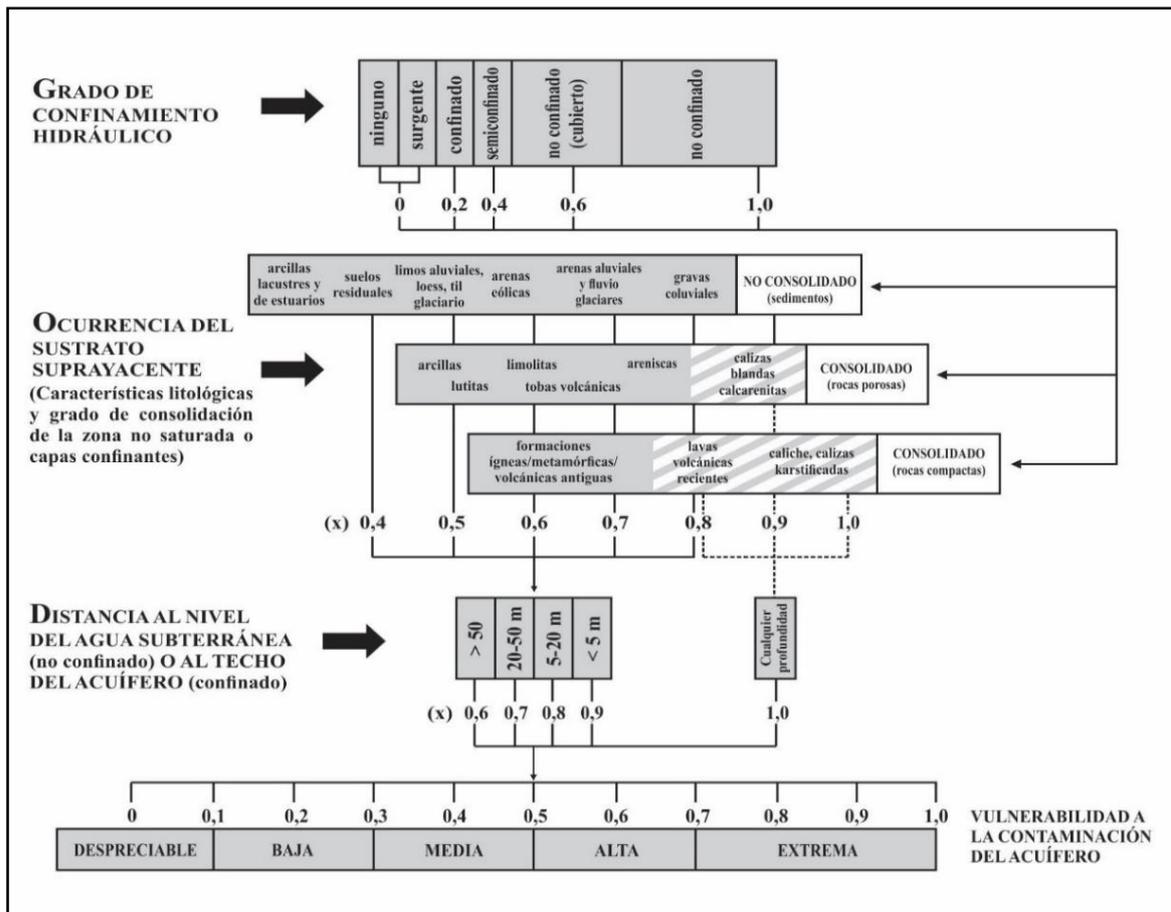
V: representa la vulnerabilidad.

Los valores resultantes de la ecuación de GOD, son clasificados de acuerdo a los rangos del Tabla 1.

**Tabla 1: Rango de valores para la vulnerabilidad de un acuífero por el método GOD**

Clasificación de vulnerabilidad del acuífero	Rango obtenido
Muy baja	0 – 0,1
Baja	0,1 – 0,3
Moderada	0,3 – 0,5
Alta	0,5 – 0,7
Extrema	0,7 – 1,0

FUENTE: Cerros, 2007.



**Figura 2: Método GOD para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos**

FUENTE: Cerro, 2007.

El método es simple; fue desarrollado para zonas con escasa información del acuífero; las simplificaciones introducidas por este método están justificadas por la disponibilidad real de datos, pero como contrapartida, se pierde definición y no es posible diferenciar un tipo de contaminante de otro. Así, el valor numérico obtenido significa una u otra cosa en función del contaminante que se considere y su interpretación queda en cierto grado, al criterio personal de quien lo interpreta (Custodio, 1995).

## 2.8.2. Método DRASTIC

Según Aller, Bennett, Lehr, Petty y Hackett (1987), este método resulta ser uno de los más difundidos a nivel internacional para el estudio de vulnerabilidad por la EPA. Es un método usado tanto para la cualificación como para la cartografía y se basa en la asignación de índices que van de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad), de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo

DRASTIC:

D: *depth to water* (profundidad del nivel piezométrico)

R: *recharge* (recarga neta)

A: *aquifer media* (tipo de acuífero)

S: *soil media* (tipo de suelo)

T: *topography* (topografía o pendiente)

I: *impact of the vadose zone media* (impacto de la zona no saturada según litología)

C: *hydraulic conductivity of the aquifer* (conductividad hidráulica del acuífero)

DRASTIC permite encontrar un valor número para cada punto del área de trabajo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{DRASTIC} = (\text{Dr} \cdot \text{Dw}) + (\text{Rr} \cdot \text{Rw}) + (\text{Ar} \cdot \text{Aw}) + (\text{Sr} \cdot \text{Sw}) + (\text{Tr} \cdot \text{Tw}) + (\text{Ir} \cdot \text{Iw}) + (\text{Cr} \cdot \text{Cw})$$

Donde los sub-índices r y w son el puntaje (*rating*) y el peso de ponderación (*weighting weight*), respectivamente. Esta suma expresa la conjunción de las valoraciones de cada propiedad, aportada por el método, y el conocimiento del acuífero particular del que se trata por parte de quienes lo aplican.

Para evaluar una zona determinada, cada índice se valora en una escala de 0 a 10. Los valores de ponderación de 1 a 5 expresan la importancia relativa de unos factores con respecto a otros. La clasificación se obtiene a partir de las Tablas 2 a 8 o gráficos para cada factor, mientras que los pesos de importancia se encuentran en la Tabla 9.

**Tabla 2: Valoración de la profundidad del agua subterránea**

Profundidad (m)	Valoración (Dr)
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
>30,5	1

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

D: se refiere a la distancia que existe entre la superficie del suelo y el nivel freático.

**Tabla 3: Valoración de la recarga neta**

Recarga (mm)	Valoración (Rr)
0 - 50	1
50 - 103	3
103 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

R: se refiere al volumen de agua total que recarga al acuífero.

**Tabla 4: Valoración del tipo de acuífero**

Tipo de acuífero	Rango de clasificación (Ar)	Valor típico
Lutita masiva	01-03	2
Metamórfica/ ígnea	02-05	3
Metamórfica /ígnea meteorizada	03-05	4
Till glacial	04-06	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	05-09	6
Arenisca masiva	04-09	6
Caliza masiva	04-09	6
Arena o grava	04-09	8
Basaltos	02-10	9
Caliza Kárstica	09-10	10

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

A: se refiere al tipo de acuífero

**Tabla 5: Valoración del tipo de suelo**

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Valoración (Sr)</b>
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol - cieno	2
Arcilla no compactada y no agregada	1

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

S: se refiere al tipo de material que tiene la superficie en estudio.

**Tabla 6: Valoración de la pendiente**

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Valoración (Tr)</b>
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

T: se refiere a la pendiente de la zona de estudio.

**Tabla 7: Valoración de la zona no saturada**

Naturaleza de la zona no saturada	Valoración (Ir)	Valor típico
Capa confinante	1	1
Cieno - arcilla	2 - 6	3
Lutita	2 - 5	3
Caliza	2 - 7	6
Arenisca	4 - 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 - 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 - 8	6
Metamórfica/ígnea	2 - 8	4
Grava y arena	6 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Caliza kárstica	8 - 10	10

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

I: se refiere al material de la zona superior del acuífero, no saturada.

**Tabla 8: Valoración de la conductividad hidráulica**

Conductividad hidráulica		Valoración (Cr)
(cm/día)	(m/día)	
0,04 - 4,08	$4,6 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08 - 12,22	$4,7 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22 - 28,55	$1,4 \cdot 10^{-2} - 3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55 - 40,75	$3,4 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75 - 81,49	$4,7 \cdot 10^{-2} - 9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	$> 9,5 \cdot 10^{-2}$	10

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

C: es la conductividad hidráulica es la facilidad que el acuífero ofrece al flujo del agua.

**Tabla 9: Valoración de la ponderación para los distintos factores**

	<b>Parámetros</b>	<b>Variable</b>	<b>Pesos</b>
WD	<i>Depth</i>	Profundidad de la napa freática	5
WR	<i>Recharge</i>	Recarga neta	4
WA	<i>Aquifer</i>	Tipo de acuífero	3
WS	<i>Soil</i>	Tipo de suelo	2
WT	<i>Topography</i>	Topografía - pendiente	1
WI	<i>Impact</i>	Impacto de la zona no saturada	5
WC	<i>Hydraulic conductivity</i>	Conductividad hidráulica	3

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

Finalmente, el índice de vulnerabilidad total es determinado por la siguiente ecuación:

$$IV = Dr.W_D + Rr.W_R + Ar.W_A + Sr.W_S + Tr.W_T + Ir.W_I + Cr.W_C$$

Para lo cual el resultado se analiza con la Tabla 10 para obtener su grado de vulnerabilidad.

**Tabla 10: Grados de vulnerabilidad**

<b>Grado de vulnerabilidad</b>	<b>Puntaje</b>
Insignificante	<100
Muy baja	101-119
Baja	120-139
Moderada	140-159
Alta	160-179
Muy alta	180-199
Extrema	>200

FUENTE: Aller *et al.*, 1987.

### 2.8.3. Método SINTACS

Este método es en realidad una derivación del DRASTIC, desarrollada por Civita, Chiappone y Falco (1990) como adaptación a las características hidrogeológicas de Italia y a una escala de trabajo de mayor detalle; por lo general, el área de estudio se divide en celdas cuadradas de 0,5 km de lado. El acrónimo SINTACS engloba:

S: *soggioacenz.* Profundidad de agua subterránea (equivalente a D de DRASTIC)

I: *infiltrazione.* Infiltración eficaz (equivalente a R de DRASTIC)

N: *effetto depurante del non saturo.* Efecto de autodepuración de la zona no saturada (equivalente a I en DRASTIC)

T: *tipologia della copertura*. Tipo de suelo (equivalente a S en DRASTIC)

A: *acquifero*. Litología del acuífero (equivalente con A en DRASTIC)

C: *conducibilita idraulica*. Conductividad hidráulica (equivalente a C en DRASTIC)

S: *accilivita della superficie topográfica*. Pendiente de la superficie topográfica (equivalente a T en DRASTIC)

El índice de vulnerabilidad acuífera SINTACS, se obtiene de la siguiente expresión (Civita y de Maio, 2000):

$$I_{SINTACS} = \sum_{j=1}^7 P_j W_j$$

Donde:

I : índice de vulnerabilidad SINTACS.

P (1,7) : puntaje de cada uno de los parámetros.

W (1,7): pesos en función de la situación hidrogeológica.

La obtención de los rangos de cada parámetro se basa en los lineamientos establecidos por el método, mostrados en la Tabla 11, puntuación que varía de 1 a 10.

Cada variable se pondera de acuerdo a los siguientes criterios y se les asigna los pesos presentados en la Tabla 12:

- Ordinaria: áreas estériles sin cultivar o con cultivos que no utilizan pesticidas.
- Fuentes difusas de contaminación potencial: áreas sujetas a un uso abundante de pesticidas, efluentes, orgánicos, depósitos de sedimentación y dispersión de aguas residuales, oleoductos, vertederos incontrolados, descargas de alcantarillas, áreas industriales activas o abandonadas.
- Drenaje de cuerpos hídricos superficiales: áreas de dependen de la red hidrográfica natural y/o artificial, incluidas las áreas de riego con grandes volúmenes de agua.
- Karstificación profunda: áreas fuertemente karstificadas tanto en la superficie como en el subsuelo, que presentan rápidas conexiones entre la superficie y el acuífero.

## **2.9. Uso de los mapas de vulnerabilidad**

Como resultado del análisis de vulnerabilidad para un determinado acuífero se obtienen mapas que muestran zonas que se diferencian por la sensibilidad a la contaminación, estos niveles permiten valorar la vulnerabilidad en forma relativa entre las regiones que integran el área (Bessouat, Castagnino, De los Santos & Robano, 2001).

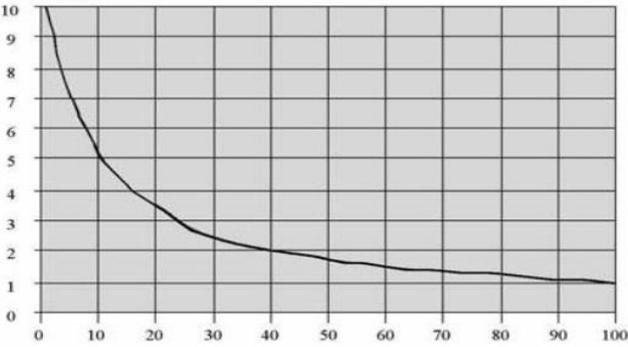
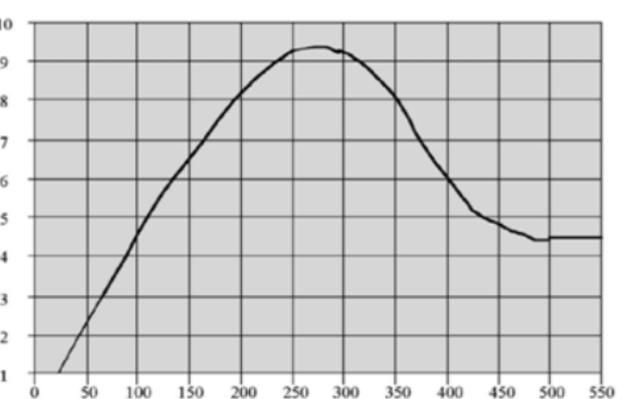
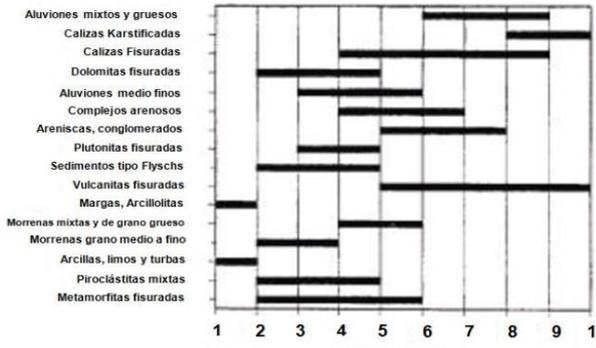
Entre los años 1960 y 1970, la elaboración de los mapas de vulnerabilidad se desarrollaba en diferentes países de Europa; fue en 1969, Walker quien construyó un mapa de contaminación potencial de acuíferos en el estado de Illinois, que fue considerado el primer mapa de vulnerabilidad realizado en Estados Unidos (Valcarce, 1999).

Los mapas de vulnerabilidad tienen que ser vistos como herramientas de gestión ambiental y pueden ser utilizados en procesos de toma de decisión concerniente al manejo del agua subterránea, para la identificación de áreas susceptibles a la contaminación y sobre planes informativos sobre la protección de los acuíferos (Baez, 2001).

Según Vrba y Zaporozec (1994), las tendencias futuras en la elaboración y uso de los mapas de vulnerabilidad son:

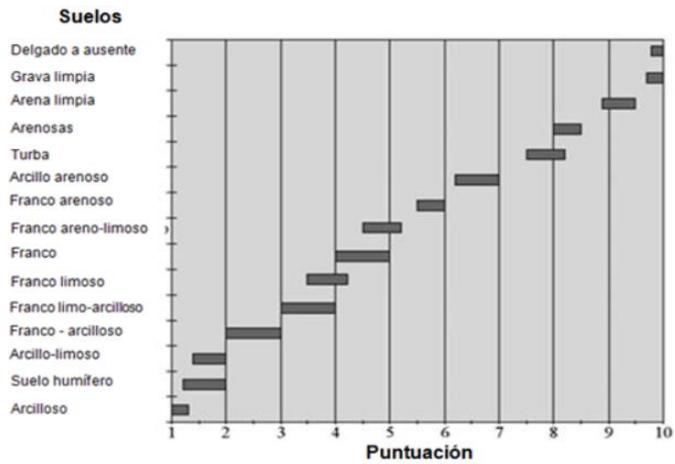
- Perfeccionamiento de los métodos para evaluar la vulnerabilidad.
- Definición de las clases de vulnerabilidad con mayor precisión cuantitativa.
- Incremento del conocimiento de los procesos que tienen lugar en la zona no saturada, que permitirá perfeccionar el método de modelación.
- La integración de los mapas de vulnerabilidad como un elemento indispensable para la planificación y toma de decisiones a nivel local y regional.

**Tabla 11: Puntuación de las variables para el método SINTACS**

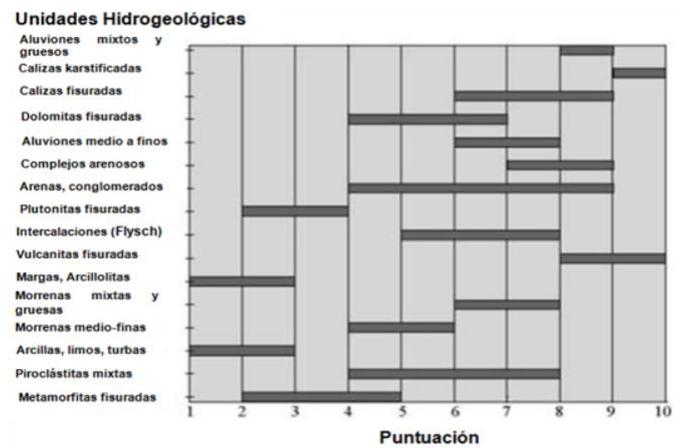
VARIABLE	PUNTUACION
S: la puntuación de la profundidad del acuífero	<p><b>Puntuación</b></p>  <p><b>Intervales de valores (m)</b></p>
I: del balance hídrico se obtienen la recarga neta del acuífero. La puntuación se obtiene de la gráfica.	<p><b>Puntuación</b></p>  <p><b>Intervales de valores (mm/año)</b></p>
N: la puntuación depende de la naturaleza de la zona no saturada y se obtiene de la gráfica.	<p><b>Unidades Hidrogeológicas</b></p>  <p><b>Puntuación</b></p>

«Continuación»

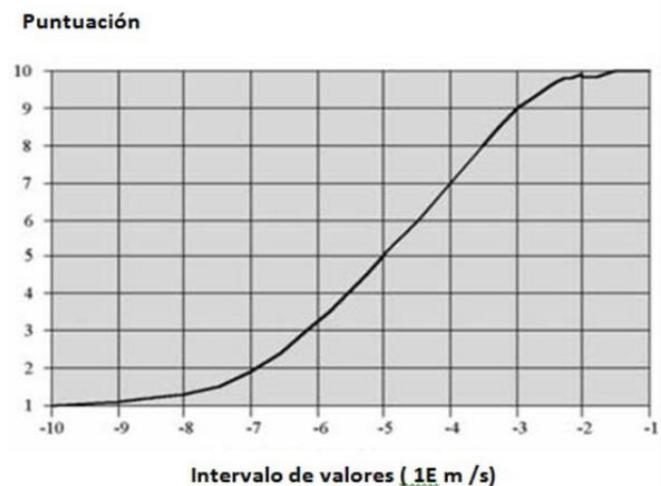
T: la valoración es función del tipo de textura que presenta el suelo y se obtiene del gráfico.



A: depende de las características hidrogeológicas de la zona saturada, correspondiente al acuífero. La puntuación se extrae del gráfico.

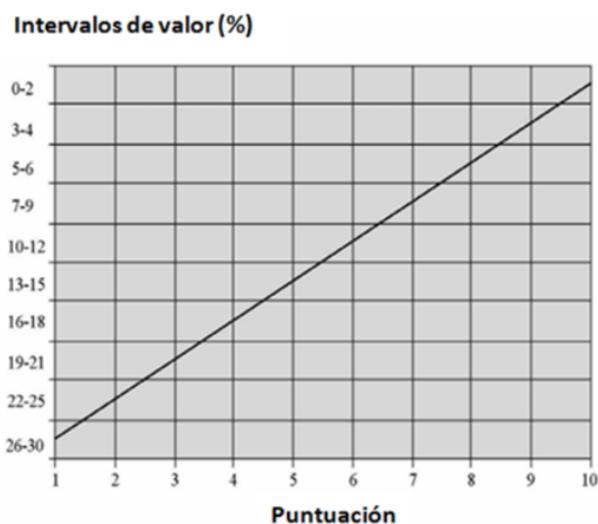


C: la valoración de la conductividad hidráulica del acuífero se extrae del gráfico, en donde en abscisas viene representada dicha conductividad en valores de m/s.



«Continuación»

S: depende de la pendiente topográfica y su valoración se obtiene de la gráfica.



FUENTE: Civita y De Maio, 2000.

**Tabla 12: Factores de ponderación del método SINTACS**

Situación	Variable						
	Sw	Iw	Nw	Tw	Aw	Cw	Sw
Ordinaria	5	4	5	2	3	3	2
Fuentes difusas	5	5	4	5	3	2	2
Drenaje	4	4	4	2	5	5	2
Karstificación	2	5	1	3	5	5	5

FUENTE: Civita y De Maio, 2000.

Los valores en los que varía el índice de vulnerabilidad se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13: Evaluación de la vulnerabilidad - método SINTACS**

Grado de Vulnerabilidad	Valor
Muy bajo	23-80
Bajo	81-105
Medio	106-140
Alto	141-186
Elevado	187-210
Muy elevado	211-260

FUENTE: Civita y De Maio, 2000.

## **2.10. Base de datos**

Según Sarria (2006) se trata de una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables o bien capas que representan entidades a las que corresponden varias entradas, en un sistema de información geográfica. Las bases de datos espaciales, son aquellas en las que la realidad se codifica mediante modelos de datos específicos; mientras que, las bases de datos temáticos están vinculadas con datos cartográficos, que permiten asignar a cada punto, línea o área del territorio unos valores temáticos.

## **2.11. Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Los sistemas de información geográfica permiten el manejo de una gran cantidad de datos y la elaboración de escenarios dinámicos, es así que gracias a estos sistemas los mapas de vulnerabilidad pueden ser fácilmente actualizados en un tiempo relativamente corto (Escobar *et al.*, 2002).

Una de las definiciones más simples que podría hacerse de un SIG es que constituye un potente conjunto de herramientas para la recogida, almacenamiento, extracción, análisis y visualización de información geográfica procedente del mundo real (Burrough, 1986).

Lo que caracteriza y diferencia al SIG como herramienta de trabajo es su innovadora capacidad en generar información a partir de la colección de una serie de datos. La aplicación y utilización de los sistemas de información ha incrementado el conocimiento en aquellos ámbitos o áreas de investigación en los que se vienen aplicando, en virtud a su habilidad para recibir, almacenar y, sobre todo, relacionar y operar sobre distintas bases de datos informatizadas (internas o externas, cuantitativas o cualitativas, monotemáticas o multitemáticas) generando información imposible de obtener por otros cauces que no deriven de la aplicación de estos programas y aplicaciones informáticas (Chuvienco, 1996).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Recopilación y análisis de la información existente**

Se planteó un trabajo por medio del sistema de información geográfica (SIG), por lo que en un primer momento se recopiló como base de datos, el monitoreo realizado por la ANA (2015) y datos obtenidos en campo para analizar, corroborar y dar validez a la información utilizada para la elaboración de los diferentes mapas temáticos. Así mismo, la base de datos se enfocó en la época de avenidas (flujo transitorio), donde el nivel estático del acuífero es más cercano al nivel de terreno, y es donde se presenta mayor vulnerabilidad de infiltración de contaminantes. Obteniéndose resultados para los métodos GOD, DRASTIC y SINTACS (Figuras 61 a 63, Anexo 1) y un cuadro resumen en la Tabla 38. Estos resultados del 2015 sirvieron para analizar y comparar este trabajo de investigación, puesto que la base de datos se actualizó con el monitoreo realizado por la ANA (2019), por lo que nuevamente se recopiló datos de campo para analizar, corroborar y validar los mapas temáticos. Se tuvo en cuenta que la base de datos sea de la época de avenidas.

#### **3.2. Reconocimiento de campo**

A inicios del 2020 se realizó un reconocimiento al área de estudio y de los pozos existentes; se tomaron medidas de los niveles piezométricos en los pozos con una sonda piezométrica, lo que sirvió para darle validez a la base de datos del monitoreo realizado por la ANA (2019), dado que no presentaron variación alguna.

Del mismo modo se pudo apreciar que la cantidad de pozos aumentaron a comparación al monitoreo anterior (2015), lo cual proporcionó resultados más a detalle. Además, que algunos de estos pozos ubicados en la parte alta son utilizados como fuente de abastecimiento de agua por medio de camiones cisternas para zonas que carecen de este recurso (Figura 64, del Anexo 2), así mismo se usan para almacenar agua en reservorios cubiertos con una geomembrana que evita la infiltración (Figura 65, del Anexo 2).

También se logró identificar varias fuentes con potencial de contaminación al acuífero Chilca, pero solo se pudo ingresar a las lagunas de oxidación, mientras que, a las fábricas de baterías y zonas industriales, se pudieron reconocer desde afuera y con un GPS se obtuvo su ubicación.

### **3.3. Caracterización del acuífero**

#### **3.3.1. Ubicación**

El área de estudio está en la cuenca del río Chilca, ubicada al sur de la ciudad de Lima; geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11° 55" y 12° 35" de latitud y entre los meridianos 76° 50" a 76° 00" de longitud oeste (Figura 3).

Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de las cumbres de la cuenca del río Chilca 4037 m.s.n.m.

Hidrográficamente, la cuenca del río Chilca limita por el norte con la intercuenca Pacífico 1375533 y la cuenca del río Lurín; por el sur, con la cuenca del río Mala; por el este, con la cuenca del río Mantaro; y, por el oeste, con el Océano Pacífico (Figura 4).

Dentro de la cuenca, en su parte media e inferior se desarrolla el acuífero, que se ubica, aproximadamente, en el km 58 al sur de la ciudad de Lima. Políticamente, comprende a los distritos de Pucusana (provincia de Lima), Chilca (provincia de Cañete) y parte de los distritos de Mariatana y Santo Domingo de los Olleros (provincia de Huarochirí); y, todos pertenecientes a la región Lima (Figura 5).

#### **3.3.2. Ecología**

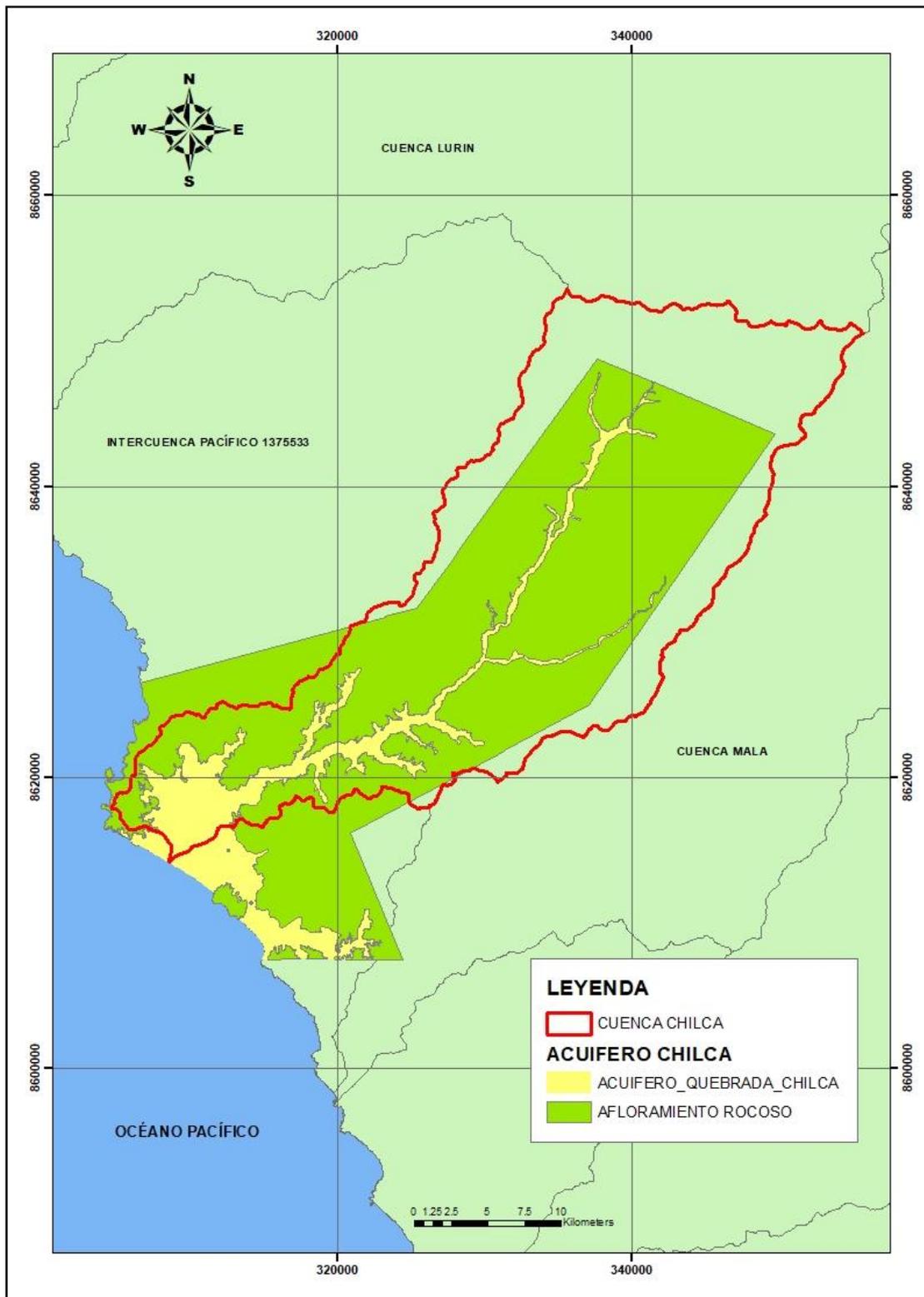
A través de la clasificación ecológica del Perú realizada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (1995), se define en forma cuantitativa la relación entre los factores climáticos y la vegetación presente en la zona, según los estudios e investigaciones científicas. Lo cual lo hace importante para estimar la relación entre la precipitación y la evapotranspiración real en las zonas de vida.

Desde el punto ecológico, el valle de Chilca presenta unidades de desierto desecado -

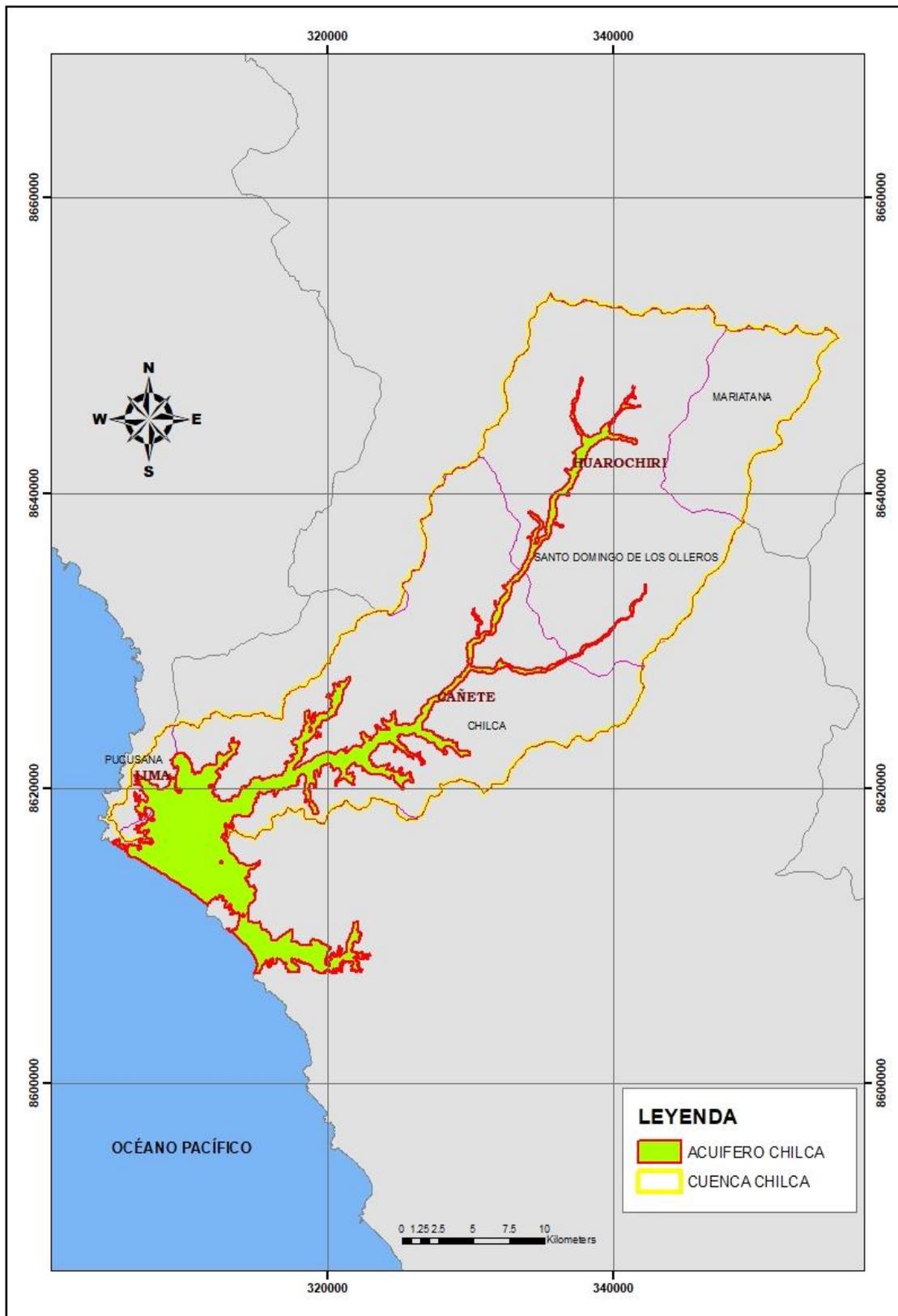
subtropical (dd-S) con mayor superficie, desierto perárido montano bajo subtropical (dp-MBS), desierto perárido premontano tropical (dp-PMT) y desierto superárido subtropical (ds-S), que se puede apreciar en la Figura 6.



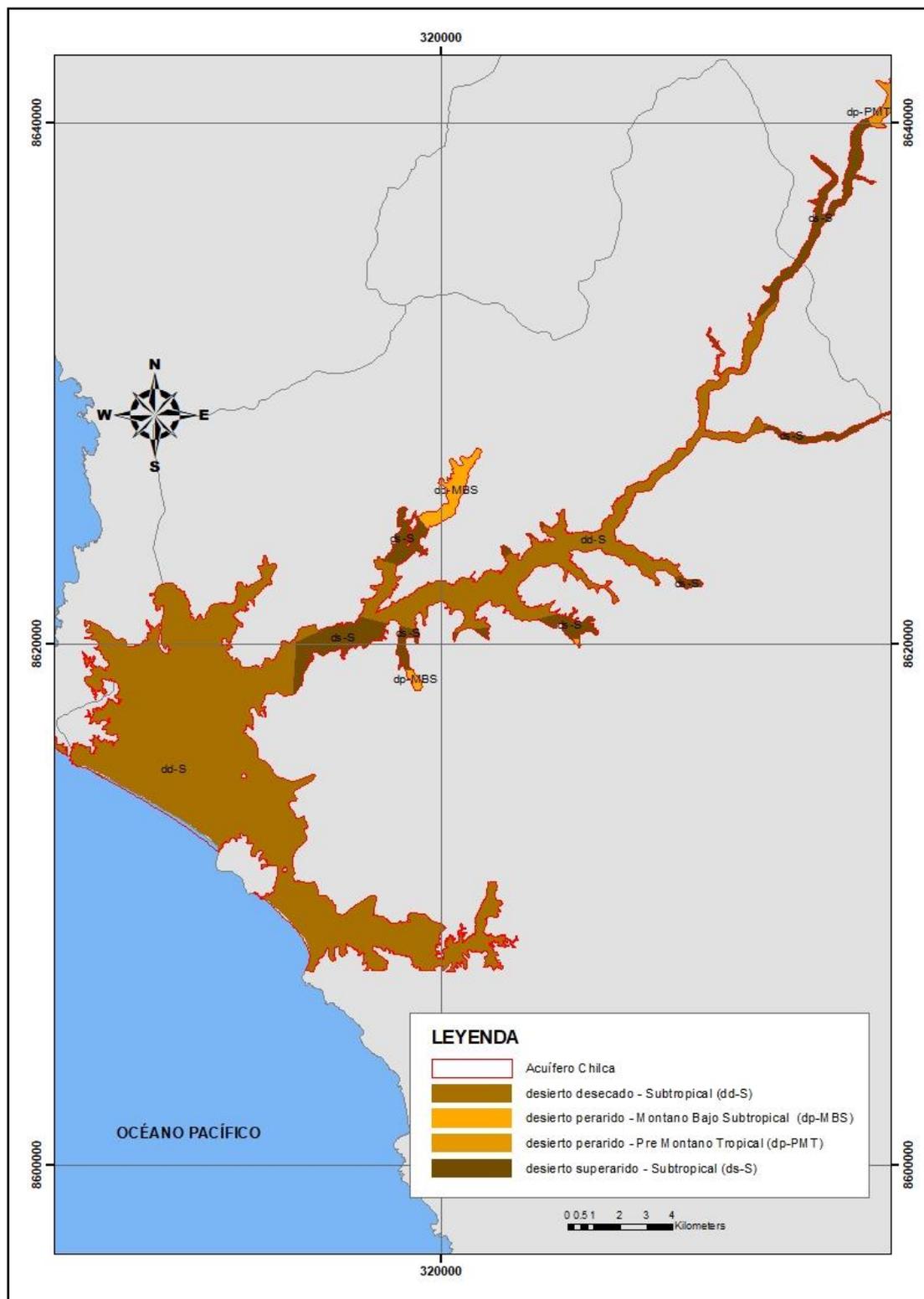
**Figura 3: Ubicación de la zona de estudio**



**Figura 4: Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Chilca**



**Figura 5: Ubicación política de la cuenca del río Chilca**



**Figura 6: Mapa ecológico del valle de Chilca**

FUENTE: Adaptado de la carta ecológica nacional del INGEMMET.

### 3.3.3. Hidrogeoquímica

La información de hidrogeoquímica corresponde al monitoreo realizado por la ANA, que involucra datos de conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno (pH), que se presentan en las Tablas 24 a 26 (Anexo 1). En la Figura 47 (Anexo 1) se puede observar el mapa de ubicación de los pozos de observación de la red hidrogeoquímica.

Con los datos se elaboró el mapa de conductividad eléctrica del acuífero Chilca, el cual se puede apreciar en la Figura 48 del Anexo 1, según la ANA (2019) como mayor utilidad que le dan al recurso hídrico del acuífero, el riego, por lo que se tuvo en cuenta una clasificación específica, determinada por Wilcox (Tabla 14).

**Tabla 14: Clasificación del agua para riego según Wilcox**

Calidad de agua	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)
Excelente	< 0,25
Buena	0,25 - 0,75
Permisible	0,75 - 2,00
Dudosa	2,00 - 3,00
Inadecuada	> 3,00

FUENTE: ANA, 2019.

### 3.3.4. Calidad biológica de agua

La ANA (2019), realizó un análisis para la calidad del agua bajo dos aspectos.

- Análisis bacteriológico.
- Límites máximos tolerables de potabilidad, establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Ginebra 1972, la cual se puede apreciar en la Tabla 15.

Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, en el aspecto bacteriológico se califican como buena, sospechosa y deficiente calidad. Se utiliza a los efectos de aplicación de las normas, a las bacterias coliformes como únicos organismos indicadores de contaminación. El agua destinada a la bebida y uso doméstico no debe transmitir patógenos, por lo tanto, se consideró microorganismos indicadores de contaminación del agua, a la *Escherichia coli*, a las bacterias termoresistentes y otras bacterias coliformes, los estreptococos fecales y las esporas de clostridia.

**Tabla 15: Límites máximos tolerables de potabilidad por la OMS**

Parámetro	Unidad	MINSA (2010)	OMS (2011)	MINAM (2015)
pH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
CE	dS/m	1,5		1,6
Dureza	mg/l	500	100 - 500	
Cloruros	mg/l	250	200 - 300	250
Sulfatos	mg/l	250	250	500
Sodio	mg/l	200	200	200
Boro	mg/l	1,5		2,4
Nitratos	mg/l	50		50
Calcio	mg/l		200	
Magnesio	mg/l		150	

FUENTE: ANA, 2019.

La ANA (2019) señala que, en el distrito de Chilca, del total de muestras realizadas en el análisis, diez de ellas presentaron valores de coliformes totales y fecales dentro de los límites permisibles y es calificada como agua potable; mientras que las restantes, que son la mayoría de muestras analizadas, presentaron valores de coliformes totales y coliformes fecales que sobrepasan los límites permisibles (2 a >1200 NMP/ml), por lo que se calificaron como agua no potable. De la misma manera, en el distrito de Santo Domingo de Olleros, indica que estas aguas son no potables, debido a que los coliformes totales sobrepasan los límites permisibles, mientras que los valores de los coliformes fecales, sólo cuatro de las muestras se encuentran dentro de los límites permisibles.

### **3.3.5. Fuentes potenciales de contaminación**

Como se sabe que toda fuente de agua es vulnerable a contaminarse, se realizó una visita a la zona de estudio a inicios del 2020, donde se pudo identificar varias fuentes potenciales de contaminación del acuífero, como la laguna de oxidación donde se derivan las aguas servidas de la zona de Chilca y Salinas; también, se pudo apreciar la existencia de residuos industriales tóxicos, transportados por un canal de derivación al mar, que al encontrarse en mal estado, constituye un foco de contaminación para el acuífero (Figuras 66 al 71, del Anexo 2). Además, se pudo observar que el canal, en su extremo final no llega al mar, contaminando los pantanos existentes en la zona.

Otra fuente potencial de contaminación al acuífero Chilca es la planta industrial de fabricación y acumuladores de baterías ETNA, ubicada en la bifurcación del río Chilca en dos ríos secundarios, siendo el plomo un potencial contaminante del acuífero. También, existen varias plantas industriales que podrían ser fuentes potenciales de contaminación en la zona de estudio (Tabla 16).

**Tabla 16: Fuentes potenciales de contaminación en la zona del acuífero Chilca**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
A	Laguna de oxidación	310752.22	8613919.7
B	Planta de fabricación y acumuladores de baterías ETNA	311911.55	8618331.2
C	Planta química Especialidades Técnicas S.A.C.	314835.68	8620625.9
D	Planta de tratamiento de aguas residuales HANIC BP PERU S.A.C.	310228.29	8620280.7
E	Planta industrial FIBRAFORTE	309565.05	8621932.8
F	PTAR La Chutana	312588.85	8618872.2
G	Fundición Chilca S.A.	314424.23	8618739.3
H	Fábrica de baterías ENERJET S.A.	318354.39	8621094.2
I	Fábrica de baterías ENERJET S.A.	313176.12	8618343.3

### **3.4. Información para la elaboración de mapas base**

#### **3.4.1. Información geológica**

La información geológica se recopiló de las cartas geológicas 25j, 25k y 26j de la página web de INGEMMET, la cual se comparó con la información de la ANA (2015), generando el mapa geológico (Figura 8).

La información geo-eléctrica se obtuvo del estudio del acuífero Chilca, realizado por la ANA (2015).

Las formaciones geológicas que comprende el acuífero Chilca, en mayor porcentaje son los depósitos aluviales de material suelto (Q-al); luego, se tiene en las ramificaciones, en menor medida, los depósitos fluvio aluviales (Q-fal) y depósitos glaciares coluviales (Q-gc); también, presenta mantos de arena por aspersión eólica (Q-ma) y campo de dunas (Q-cd) en la parte costera del acuífero, sin obviar el hecho que presenta depósitos marinos (Q-mr), y en un pequeño sector se observa parte de Formación Pamplona (Ki-pa), que es una de las unidades que conforman el límite impermeable del acuífero (Figura 7 y Tabla 17).

La ANA (2015), considera como límites impermeables del acuífero, al grupo Casma, conformado por la Formación Chilca (Ki-ch) y el Volcánico Quilmana (Kms-q); también, la Formación Pamplona (Ki-pa); y, las rocas intrusivas de las superunidades Tiabaya (Ks-ti), Santa Rosa (Ks-sr), Jecuan (Ks-je) y Patap (Ks-pt).

**Tabla 17: Descripción de las formaciones geológicas del acuífero Chilca**

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
Ki-pa	Formación Pamplona, secuencia conglomerádica, lutitas y calizas.
Q-al	Depósitos aluviales, gravas y arenas mal seleccionadas en matriz, limoarenosa.
Q-cd	Campo de dunas, arena fina.
Q-fal	Depósitos fluvio aluviales, gravas y arenas mal seleccionadas en matriz, limoarenosa.
Q-gc	Depósitos coluviales, sedimentos arcillosos, limos y arenas muy finas.
Q-ma	Mantos de arena por aspersión eólica, arenas cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionadas.
Q-mr	Depósitos marinos, gravas y arena con alto contenido de sales.

FUENTE: Adaptado de la carta geológica nacional del INGEMMET.

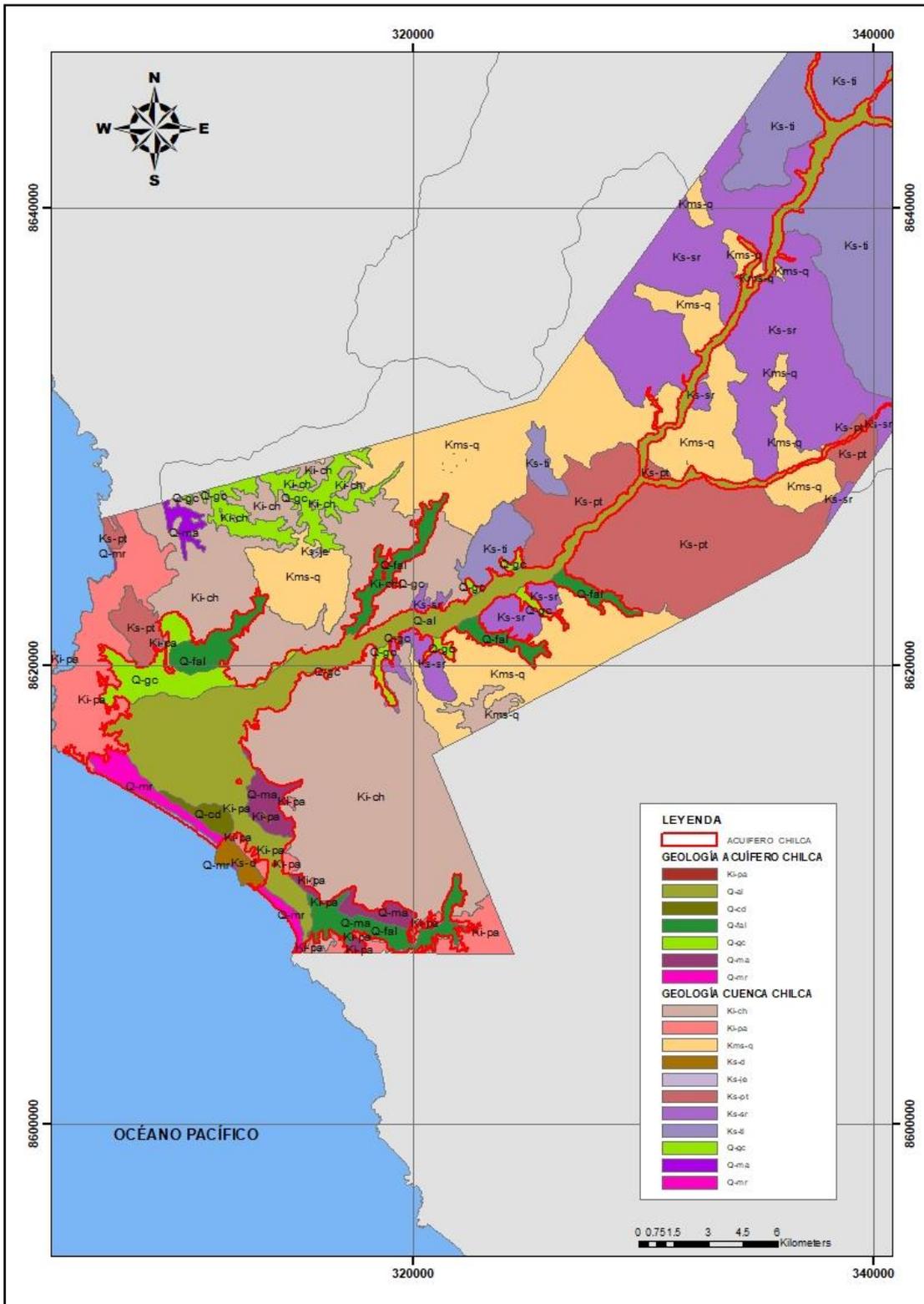
### **3.4.2. Información hidrometeorológica**

Para estimar la recarga neta del acuífero Chilca se recopiló registros de variables hidrometeorológicas de las estaciones cercanas a la cuenca del río Chilca. Se obtuvo información de precipitación y temperatura, a nivel mensual, a partir de diversas publicaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

#### **a. Precipitación**

La cuenca del río Chilca no cuenta con estaciones hidrometeorológicas, por lo que se ha tomado como referencia, estaciones de cuencas vecinas (Lurín y Mala), ubicadas tanto en la parte baja, como en la media y alta de la cuenca. Las estaciones consideradas son: Calango, Manchay Bajo, Antioquia, Langa, San Lázaro de Escomarca, Huarochirí, Huancata, Huañec y Ayavirí, que se detallan en la Tabla 18.

Además, se sabe que la precipitación anual y la altitud tiene una alta correlación entre ellas, pues a mayor altitud mayor precipitación y en la zona baja o costa la lluvia es escasa. Por lo que la recarga por precipitación del acuífero Chilca es mínima.



**Figura 7: Mapa geológico de la cuenca Chilca**

FUENTE: Adaptado de la carta geológica nacional del INGEMMET.

**Tabla 18: Características de las estaciones pluviométricas del área de estudio**

Nombre de estación	Cuenca	Provincia	UTM		Altitud (m.s.n.m.)
			Este X	Norte Y	
Calango (La Capilla)	Mala	Cañete	435 399,61	8 491 814,07	449
Manchay Bajo	Lurín	Cañete	428 156,93	8 533 869,51	148
Antioquia	Lurín	Huarocharí	424 019,16	8 493 101,93	1839
Langa	Lurín	Huarocharí	423 904,06	8 481 993,91	2860
San Lázaro Escomarca	Lurín	Huarocharí	425 822,63	8 476 254,25	3600
Huarocharí	Mala	Huarocharí	420 778,48	8 463 466,79	3154
Huancata	Mala	Huarocharí	425 997,86	8 461 349,26	2700
Huañec	Mala	Yauyos	427 663,59	8 452 576,90	3205
Ayaviri	Mala	Yauyos	430 041,24	8 452 469,61	3228

FUENTE: ANA, 2019.

### b. Temperatura

Para el acuífero Chilca, el análisis de esta variable se ha considerado los registros de las estaciones de: (CP) La Capilla, (CO) Huarocharí, (CP) Cañete, (CO) Pacarán, (CO) Yauyos (Tabla 19). En la parte baja del acuífero Chilca, la temperatura promedio mensual se mantiene casi uniforme, con una media anual de 20,5 °C; en la parte media, disminuye a un promedio anual de 19 °C; y, en la parte alta, el promedio anual es de 17 °C.

**Tabla 19: Estaciones meteorológicas para la estimación de la temperatura del área de estudio**

Nombre de estación	Cuenca	Provincia	UTM		Altitud (m.s.n.m.)
			Este X	Norte Y	
Calango (La Capilla)	Mala	Cañete	435 399,61	8 491 814,07	449
Cañete	Intercuenca 1375511	Cañete	350 887,05	8 558 589,29	158
Pacaran	Cañete	Cañete	385 205,53	8 577 331,67	684
Yauyos	Cañete	Yauyos	403 411,48	8 603 269,30	2285
Huarocharí	Mala	Huarocharí	420 778,48	8 563 466,79	3154

FUENTE: ANA, 2019.

### c. Recarga de agua

Para la estimación de la recarga del acuífero Chilca, se tuvo en cuenta la infiltración de las aguas de lluvia en la parte alta; mientras que, en la parte baja se tuvo en cuenta la infiltración en el cauce de los ríos existentes y la infiltración en

los sectores de riego, información que se obtuvo de la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Lurín. Para la recarga del acuífero de Chilca, por otras fuentes, se tomó la información reportada por la ANA (2019).

Se observó que la recarga por infiltración directa de la precipitación en la zona costera de la zona de estudio no es significativa, consecuentemente es un valor mínimo como fuente de recarga del acuífero. Además, por las condiciones climáticas se sabe, que en zonas de desierto desecado – subtropical (dd-S), el valor de la evapotranspiración es mayor a la precipitación.

Según la ANA (2019), desde el punto de vista hidrogeológico, la recarga del medio acuífero en la zona ha sido estimada en  $7,56 \text{ hm}^3/\text{año}$ , valor considerado para el análisis; de otro lado, es muy probable que la recarga ocurra a través de las áreas bajo riego y las que se encuentren cercanas al cauce principal del río Chilca; entonces, por la aplicación de láminas de riego en los campos de cultivo dentro del área del acuífero Chilca, se estima en  $380 \text{ mm/año}$ .

Ramos (2004) mediante un análisis evaluación de la eficiencia en la aplicación de riego por gravedad, concluye que ésta es de 55 por ciento; es decir, las pérdidas son del 45 por ciento, de las cuales, 15 se pierden por evaporación y 30 por infiltración. Por lo cual, en el presente estudio, se consideró que el 30 por ciento de la aplicación de agua para riego se infiltra y recarga el acuífero. En la Tabla 20 se detalla la recarga del acuífero por aplicación de láminas de riego.

**Tabla 20: Recarga por aplicación de lámina de riego**

<b>Aplicación de lámina de riego (mm/año)</b>	<b>Porcentaje por infiltración</b>	<b>Recarga del acuífero (mm/año)</b>
380	30%	114

Según la ANA (2019), considerando diversas variables de ingreso y salida del recurso hídrico a la cuenca, se tiene una recarga del acuífero de  $7,56 \text{ hm}^3/\text{año}$ , lo que equivale a  $70,11 \text{ mm/año}$ , conversión necesaria para la evaluación (Tabla 21).

De esta manera, se tiene una recarga total del acuífero de 184,11 mm/año, sumando la recarga anual señalada por la ANA y la recarga por la aplicación de lámina de riego.

**Tabla 21: Recarga del acuífero Chilca**

DATOS	UND	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Precipitación media mensual	mm	52,61	70,57	73,10	17,65	1,66	0,08	0,00	0,32	0,50	9,70	8,53	32,88	267,60
Evaporación	mm	186,30	165,80	179,50	163,70	141,60	118,30	123,00	136,70	155,70	178,80	183,30	187,40	1920,10
Intercepción en pasturas	mm	6,31	8,47	8,77	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	68,55
Almacenamiento en depresiones	mm	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	3,00	21,00
Área cuenca	Km2	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10	174,10
Área acuífero	Km2	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81	107,81
Área de espejos de agua (pequeños embalses)	Km2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Área humedales	Km2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
<b>ENTRADAS</b>	<b>hm3</b>	<b>9,16</b>	<b>12,29</b>	<b>12,73</b>	<b>3,07</b>	<b>0,29</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>1,69</b>	<b>1,49</b>	<b>5,72</b>	<b>46,59</b>
Precipitación	hm3	9,16	12,29	12,73	3,07	0,29	0,01	0,00	0,06	0,09	1,69	1,49	5,72	46,59
<b>SALIDAS</b>	<b>hm3</b>	<b>2,04</b>	<b>3,64</b>	<b>4,15</b>	<b>1,66</b>	<b>0,90</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>1,45</b>	<b>1,44</b>	<b>1,51</b>	<b>20,33</b>
Evapotranspiración zona humedales	hm3	0,019	0,017	0,018	0,017	0,014	0,012	0,013	0,014	0,016	0,018	0,019	0,019	0,20
Evaporación desde pequeños embalses	hm3	0,006	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006	0,006	0,06
Intercepción por pasturas	hm3	1,098	1,472	1,525	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	11,92
Almacenamiento en depresiones	hm3	0,522	0,522	0,522	0,522	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,522	0,522	0,522	3,65
Escurrimiento superficial	hm3	0,396	1,619	2,079	0,244	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,023	0,094	4,51
Evaporación del suelo	hm3	5,336	6,483	6,429	1,060	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,177	0,034	3,158	22,68
<b>ENTRADA - SALIDAS</b>	<b>hm3</b>	<b>7,118</b>	<b>8,651</b>	<b>8,578</b>	<b>1,416</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,238</b>	<b>0,046</b>	<b>4,214</b>	<b>30,26</b>
<b>INFILTRACIÓN O RECARGA AL ACUÍFERO</b>	<b>hm3</b>	<b>1,779</b>	<b>2,161</b>	<b>2,143</b>	<b>0,353</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,059</b>	<b>0,011</b>	<b>1,053</b>	<b>7,560</b>
	<b>mm</b>	<b>16,501</b>	<b>20,045</b>	<b>19,878</b>	<b>3,274</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,547</b>	<b>0,102</b>	<b>9,767</b>	<b>70,11</b>

FUENTE: ANA, 2019.

### **3.4.3. Información hidrogeológica**

La ANA (2019) señala que, en el área de evaluación, las unidades hidrogeológicas se han definido basándose en las características litológicas de los sedimentos (acuíferos porosos sedimentarios) de los depósitos no consolidados, del material rocoso que conforman formaciones o grupos geológicos (probables acuíferos fisurados), lo que permite definir su nivel piezométrico y su conductividad hidráulica o permeabilidad, asociando los valores geoelectrónicos (resistividades eléctricas) a cada tipo de litología, como se puede apreciar en la Tabla 22, observándose tres unidades hidrogeológicas.

#### **a. Unidades hidrogeológicas**

##### **• Acuífero poroso no consolidado sedimentario**

Se localiza en sedimentos cuaternarios que comprenden los depósitos aluviales, fluvio-aluviales, eólicos y marinos, que se localizan ampliamente en el área de estudio, donde se ha identificado acuíferos de alta y de baja productividad.

Los acuíferos de alta productividad corresponden a los depósitos aluviales que, puntualmente, han sido evaluados mediante la geología, prospección geofísica e hidrogeoquímica.

Los acuíferos de baja productividad corresponden a los depósitos fluvio-aluviales, coluvial y, en menor proporción, los eólicos y marinos; los dos últimos se descartan, uno por su espesor y el otro por su calidad de agua.

##### **• Acuitardo**

En el área de estudio las formaciones Pamplona, Chilca y Volcánico Quilmaná, constituyen los acuitardos. Su carácter compacto condiciona la dirección del flujo subterráneo, por lo que algunos trabajan como límites del acuífero y otros condicionan la dirección del flujo subterráneo.

##### **• Acuífugo**

En el área de estudio, los acuífugos están representados por las rocas ígneas intrusivas.

**Tabla 22: Características hidrogeológica de las formaciones geológicas**

Formación y/o depósito suelto	Clasificación hidro-geológica	Litología	Estructura macro / conductividad hidráulica
ALUVIAL	Poroso no consolidado	Conformado por materiales sueltos, permeables	Material no consolidado / alta
MARINO	Poroso no consolidado	Origen marino, clastos finos, pésima calidad del agua	Material no consolidado / alta
FLUVIO-ALUVIAL	Poroso no consolidado	Conformado por pequeños materiales subangulosos de tamaño mediano a pequeño, de diferente naturaleza, que cubren grandes sectores como quebradas	Material no consolidado / alta
EÓLICO	Poroso no consolidado	Se depositan sobre material rocoso de los cerros y en otros tienden a alcanzar su mayor grosor en los taludes y en los lugares donde se presentan ligeros desniveles.	Material no consolidado / alta
COLUVIAL	Poroso no consolidado	Conformado por la interdigitación de líneas de escombros antiguos que convergen al bajar por las laderas de los cerros y que por acción de la gravedad	Material no consolidado / alta
FORM. PAMPLONA	Acuitardo sedimentario	Formación de origen marino conformado por secuencias conglomerádicos en su base e intercalados en su parte media con lutitas gris verdosas a amarillentas y calizas marmolizadas.	Estratificación / baja

FUENTE: ANA, 2019.

### b. Nivel piezométrico

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) viene monitoreando los niveles piezométricos por medio de una red de 697 pozos de observación, ubicados estratégicamente, con el objetivo de conocer la variación espacial y temporal de dichos niveles.

Durante el 2019, se monitorearon los niveles piezométricos en mayo y agosto. La ubicación de los pozos de observación se muestra en las Tablas 24 a 26 y en la Figura 47 (Anexo 1).

A inicios del 2020 se realizó una nueva visita al área de estudio, para monitorear los niveles piezométricos para darle mayor validez a los resultados (Figuras 72 a 77,

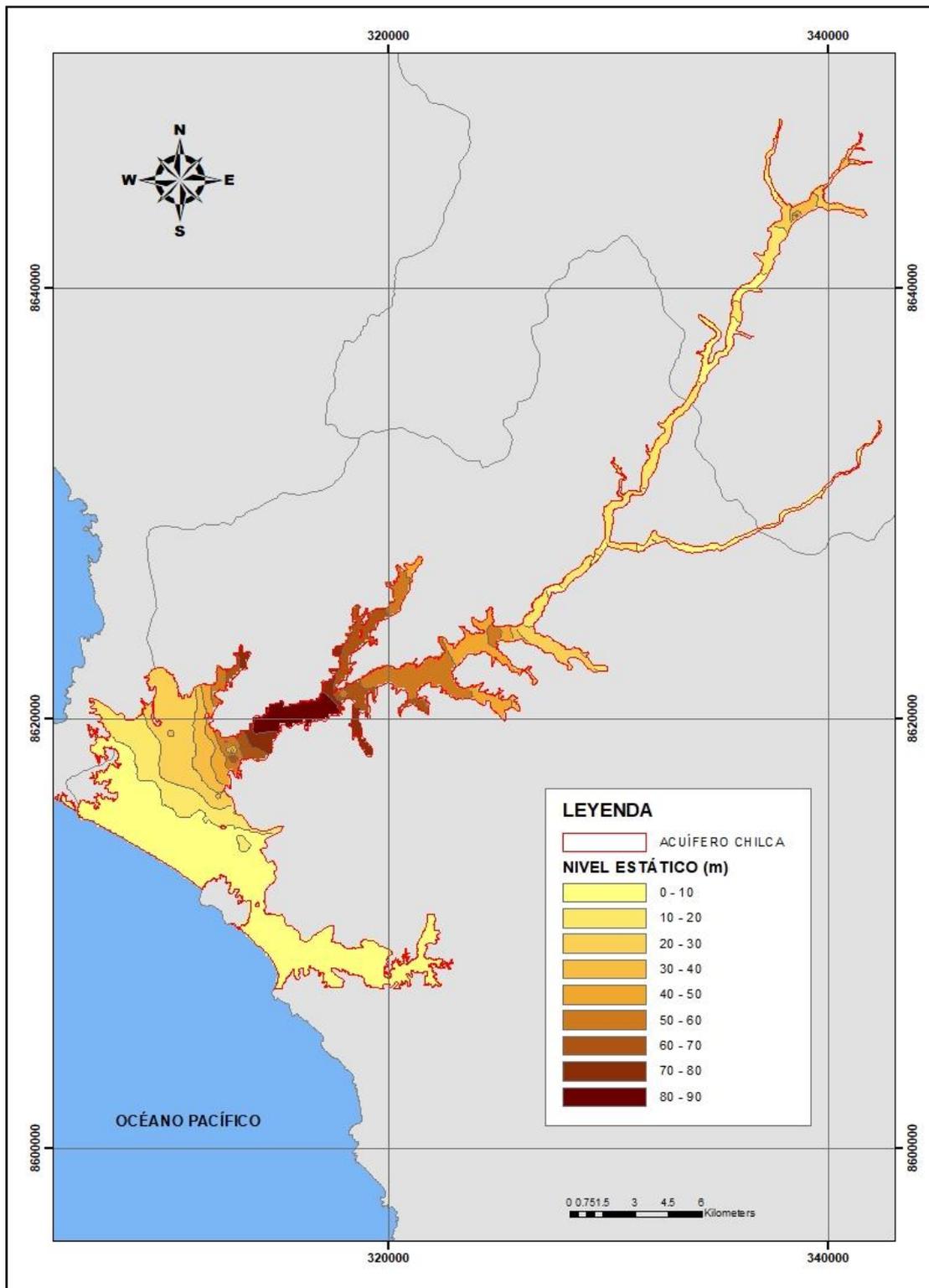
Anexo 2).

El mapa de isopropundidad del agua subterránea se presenta en la Figura 8, donde se puede apreciar que el nivel estático varía de 0,49 m, en las zonas cercanas al litoral, a 87,30 m, en la zona más elevada. Los registros corresponden al reporte de la ANA del 2019 con los que elaboró el mapa de hidroisohipsas, donde se observa la dirección del flujo del agua subterránea (Figura 49, Anexo 1).

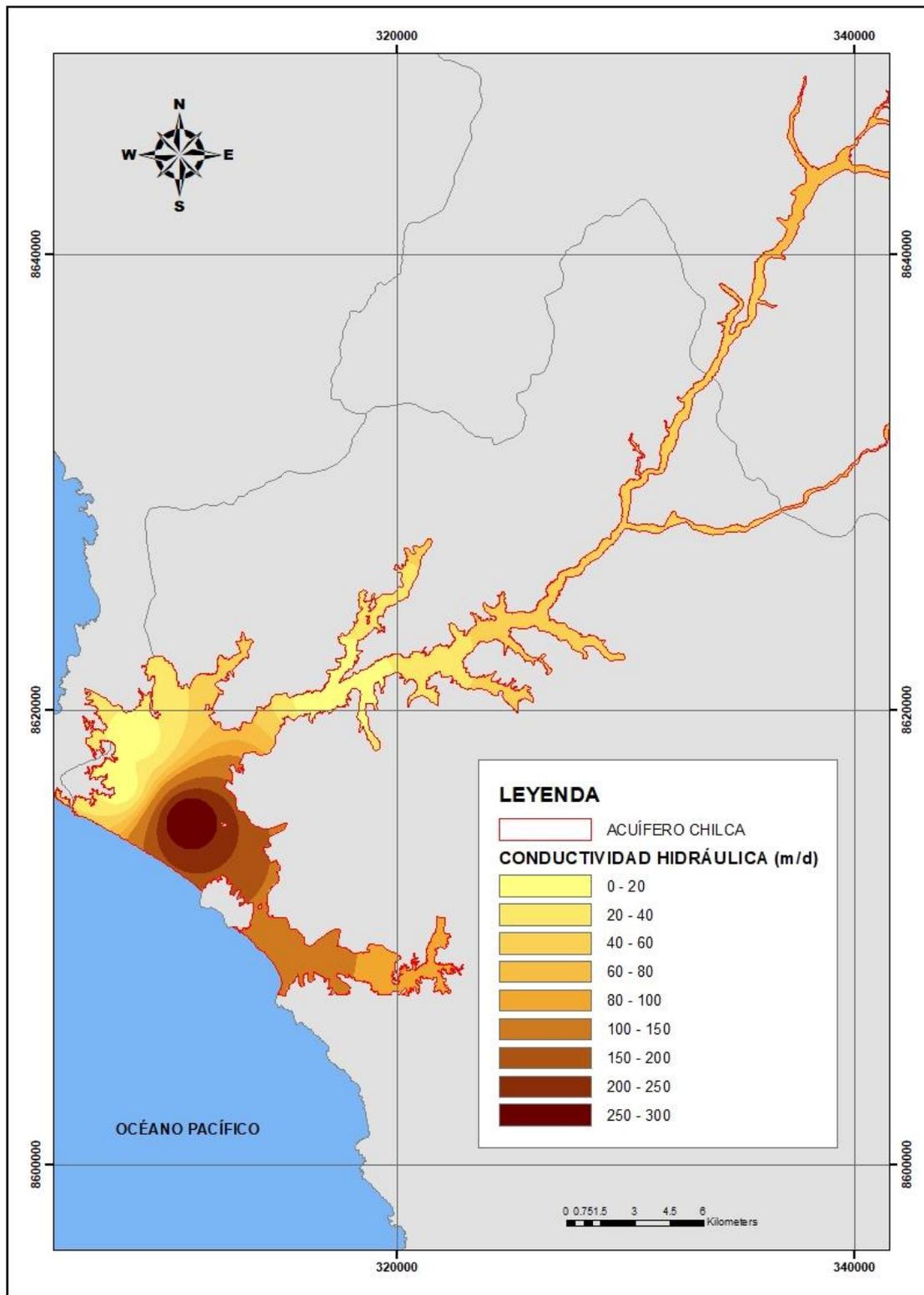
**c. Conductividad hidráulica**

La ANA (2019), ha realizado pruebas de bombeo de descenso y recuperación, en cinco pozos, los que están distribuidos dentro del área de estudio (Tablas 27 a 36 y Figuras 50 a 59, Anexo 1); la ubicación de los pozos de bombeo se presenta en la Tabla 37 y Figura 60, del Anexo 1.

Los valores de conductividad hidráulica varían de 0,69 a 312,76 m/d. En la Figura 9 se puede apreciar la distribución espacial de los valores de conductividad hidráulica del acuífero Chilca.



**Figura 8: Mapa de isoprofundidad del acuífero Chilca**



**Figura 9: Mapa de isoconductividad hidráulica del acuífero Chilca**

### **3.5. Determinación de la vulnerabilidad**

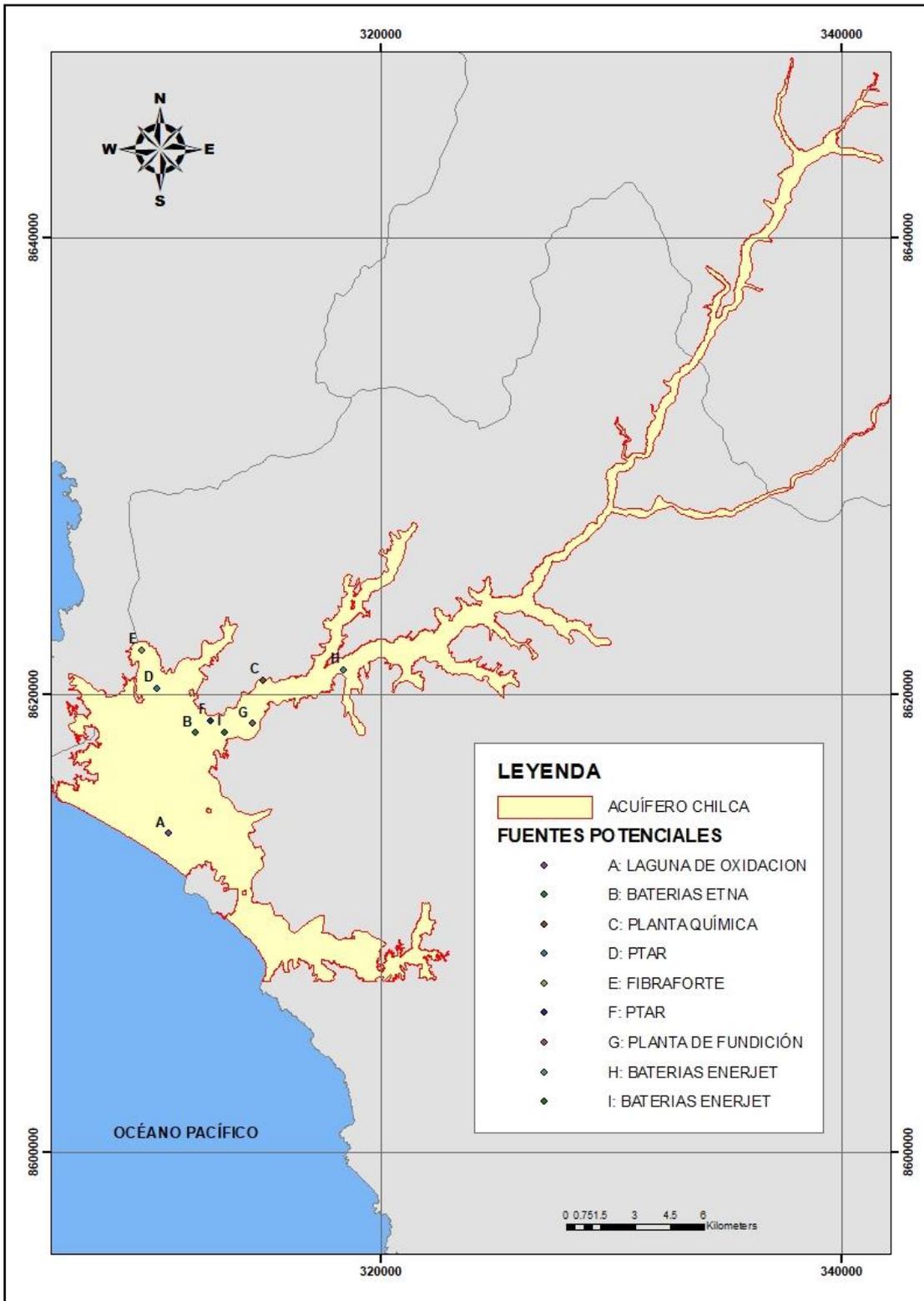
A partir de la información de caracterización del acuífero, se creó la base de datos geoespacial con el fin de generar los mapas necesarios para la aplicación de los métodos DRASTIC, SINTAC y GOD. Se utilizó la herramienta ArcGIS para el geoprocesamiento de la información obtenida y para la interacción y análisis de los mapas. En todos los casos, el resultado final es una imagen ráster con la respectiva valoración de acuerdo a cada método aplicado, detallando el índice y grado de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Chilca.

### **3.6. Análisis comparativo de resultados**

Se comparó los resultados obtenidos entre los tres métodos utilizados, se evaluó la relación existente entre las variables de cada método y el grado de vulnerabilidad. También se comparó con los resultados obtenidos con la base de datos del 2015, donde se observó la variación del grado de vulnerabilidad, pues se tuvo que considerar que existe mayor cantidad de información del 2019, además del tiempo que existe entre ambas bases de datos.

### **3.7. Elaboración de mapa con fuentes potenciales de contaminación**

Se elaboró el mapa identificando las fuentes potenciales de contaminación (Figura 10), el cual se comparó con los mapas de vulnerabilidad, así se determinó si se encuentran en alguna zona con mayor riesgo a contaminar el acuífero.



**Figura 10: Fuentes potenciales de contaminación del acuífero Chilca**

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó el grado de vulnerabilidad y su distribución espacial, mediante la aplicación de los métodos DRASTIC, SINTAC y GOD, de tal manera que puedan ser comparados entre sí.

### 4.1. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método GOD

#### 4.1.1. Índices para la aplicación del Método GOD

Los mapas elaborados para las variables de este método fueron creados a partir de la caracterización del acuífero. La determinación de la valoración de cada índice está definida en la revisión de la literatura (Figura 2).

**a. G: grado de confinamiento hidráulico**

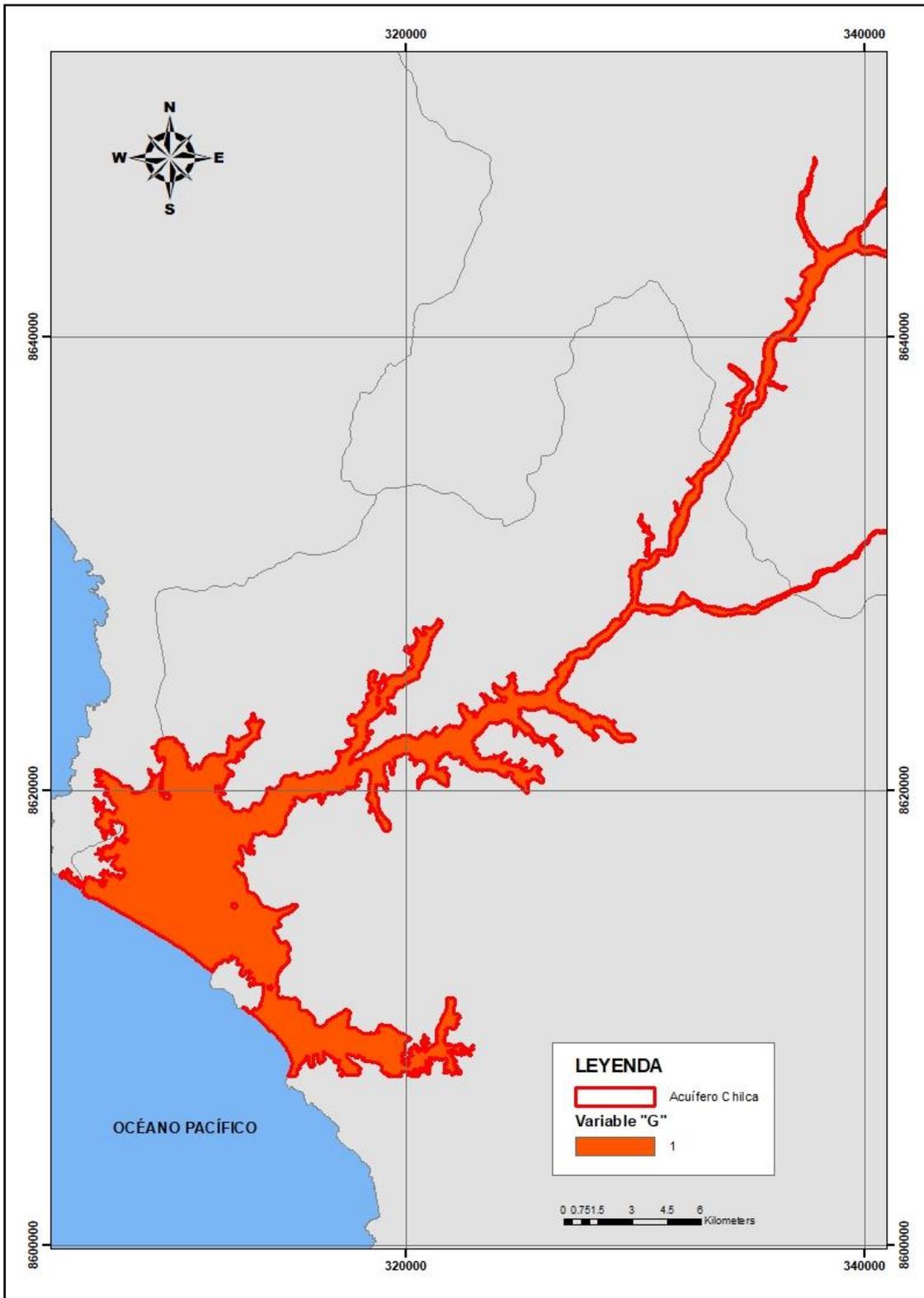
Al acuífero Chilca por ser considerado como libre, se le asignó el valor uno (máximo posible), ya que no existe confinamiento alguno que evite el ingreso de contaminantes. El mapa correspondiente se presenta en la Figura 11.

**b. O: ocurrencia del sustrato suprayacente**

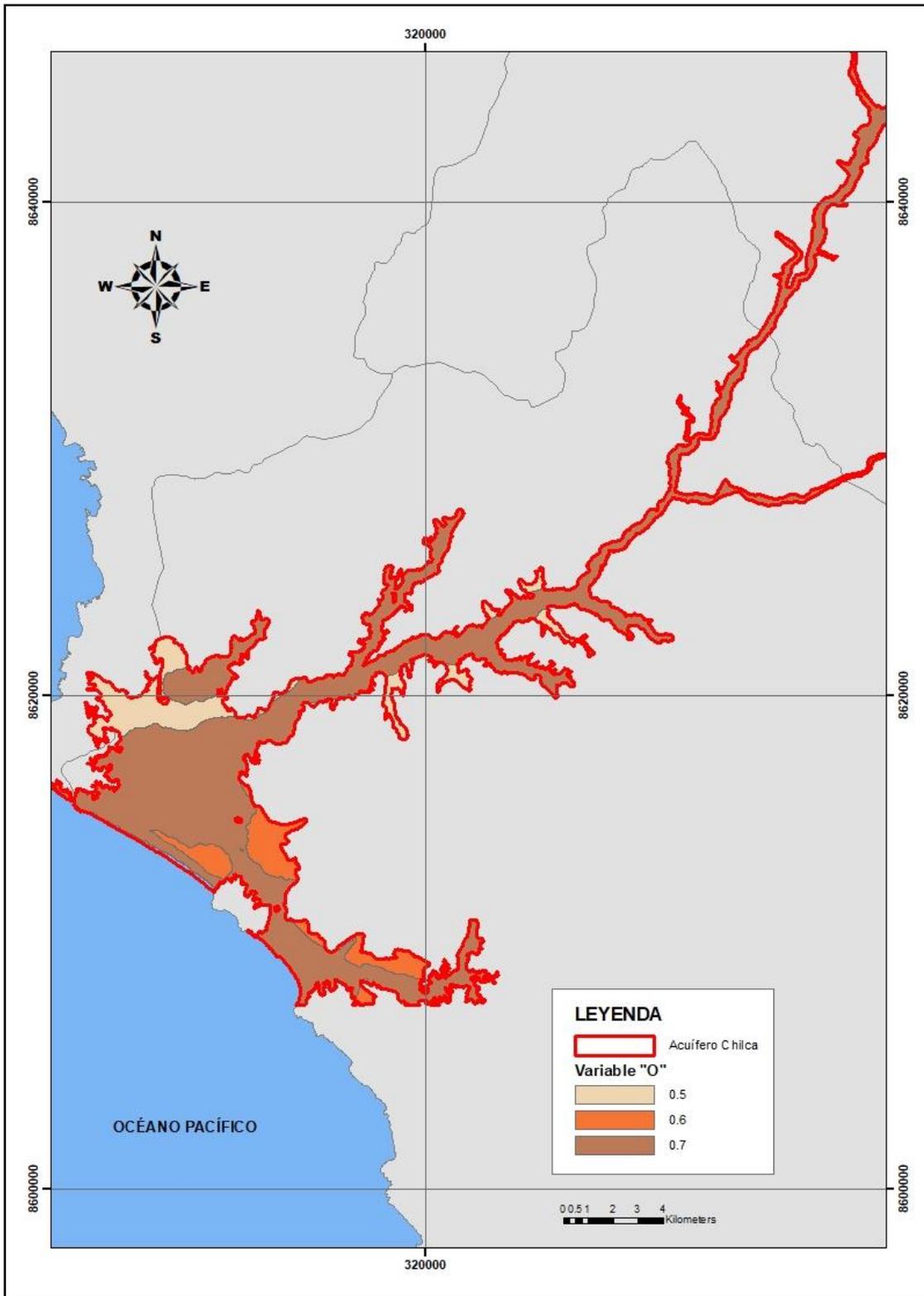
Esta variable se obtuvo a partir de los perfiles estratigráficos y del mapa geológico de la zona. Se asignó los respectivos valores según la metodología y su distribución espacial (Figura 12). Se observa que existe mayor presencia de depósitos aluviales, por lo que tiene una valoración de 0,7.

**c. D: distancia al nivel de agua subterránea**

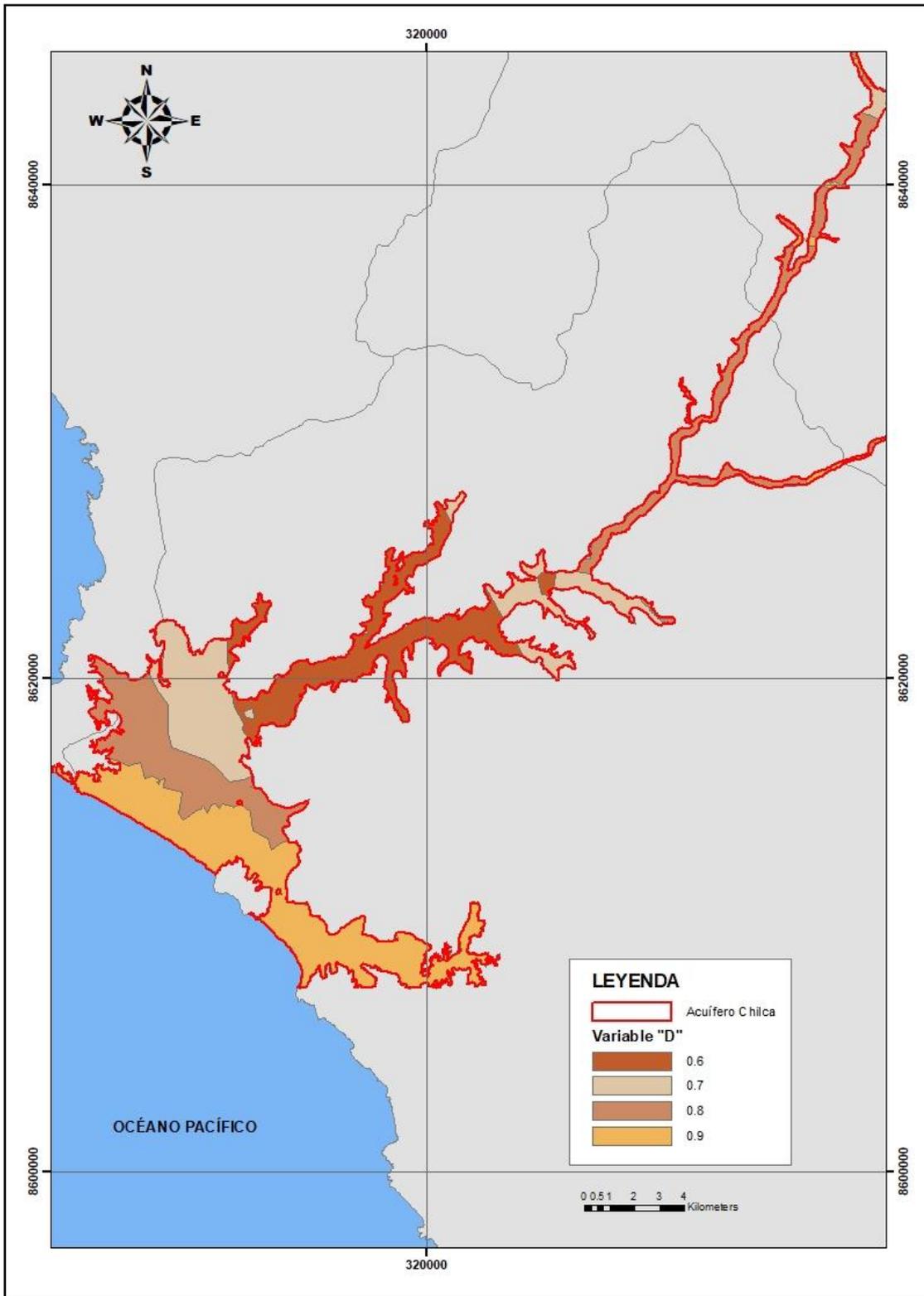
Esta variable se obtuvo a partir de las curvas de isoprofundidad del nivel freático, generándose un mapa en formato ráster, con la valoración correspondiente (Figura 13). Las zonas más vulnerables se encuentran cerca de la zona costera del acuífero Chilca, disminuyendo al alejarse de la costa.



**Figura 11: Variable "G" – método GOD**



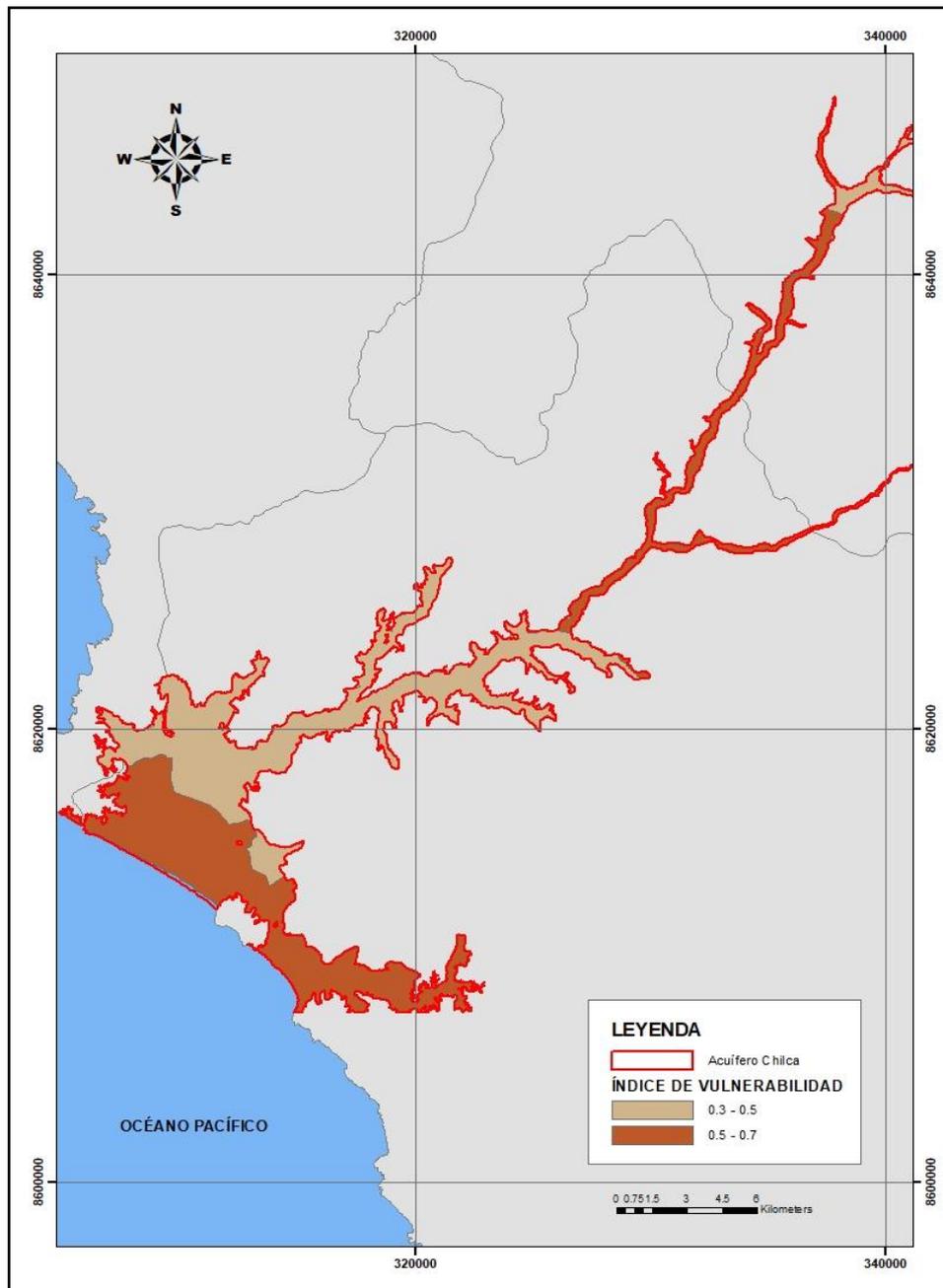
**Figura 12: Variable "O" – método GOD**



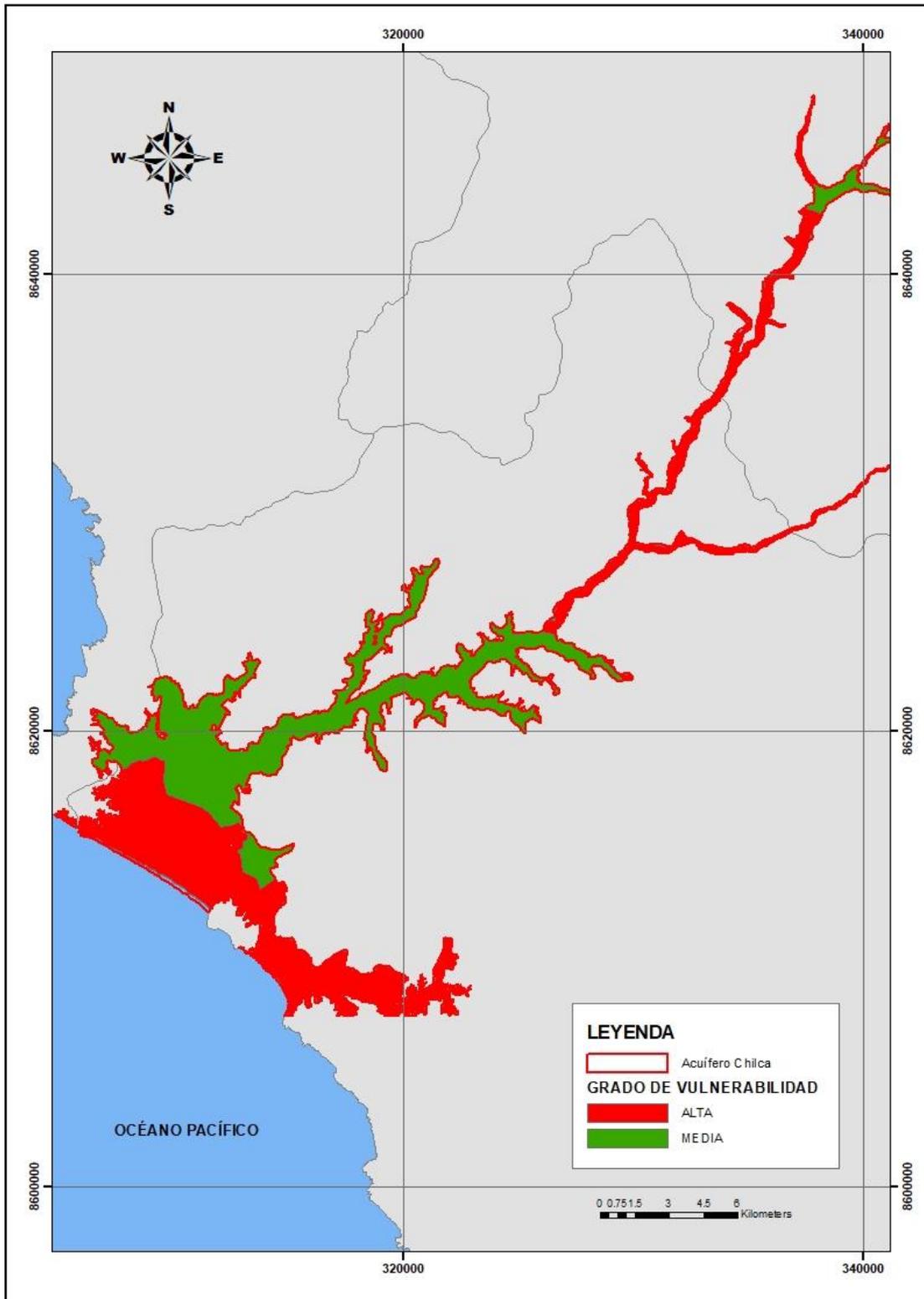
**Figura 13: Variable "D" – método GOD**

#### 4.1.2. Grado de vulnerabilidad con el Método GOD

En la Figura 14, se muestra el grado de vulnerabilidad, que se obtiene al multiplicar las variables “G”, “O” y “D”, donde se observa que los valores varían de 0,3 a 0,7. De acuerdo a la metodología, les corresponde grados de vulnerabilidad media y alta, tal como se muestra en la Figura 15. Se observa que el grado de vulnerabilidad predominante es la alta, que se encuentra en la zona costera del acuífero; mientras que, la vulnerabilidad media es más representativa en la zona media del acuífero.



**Figura 14: Índice de vulnerabilidad – método GOD**



**Figura 15: Grados de vulnerabilidad – método GOD**

## **4.2. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método DRASTIC**

### **4.2.1. Índices para la aplicación del Método DRASTIC**

Para la determinación de la vulnerabilidad se elaboraron los mapas de las variables, consideradas por esta metodología. La valoración éstas van de uno (menor vulnerabilidad) a 10 (mayor vulnerabilidad). Así mismo, se crearon los mapas de cada índice, teniendo en cuenta el factor ponderativo correspondiente ( $w$ ), presentado en la Tabla 9, de la revisión de la literatura, teniendo como resultado los mapas respectivos.

#### **a. D (*depth*): profundidad del nivel estático**

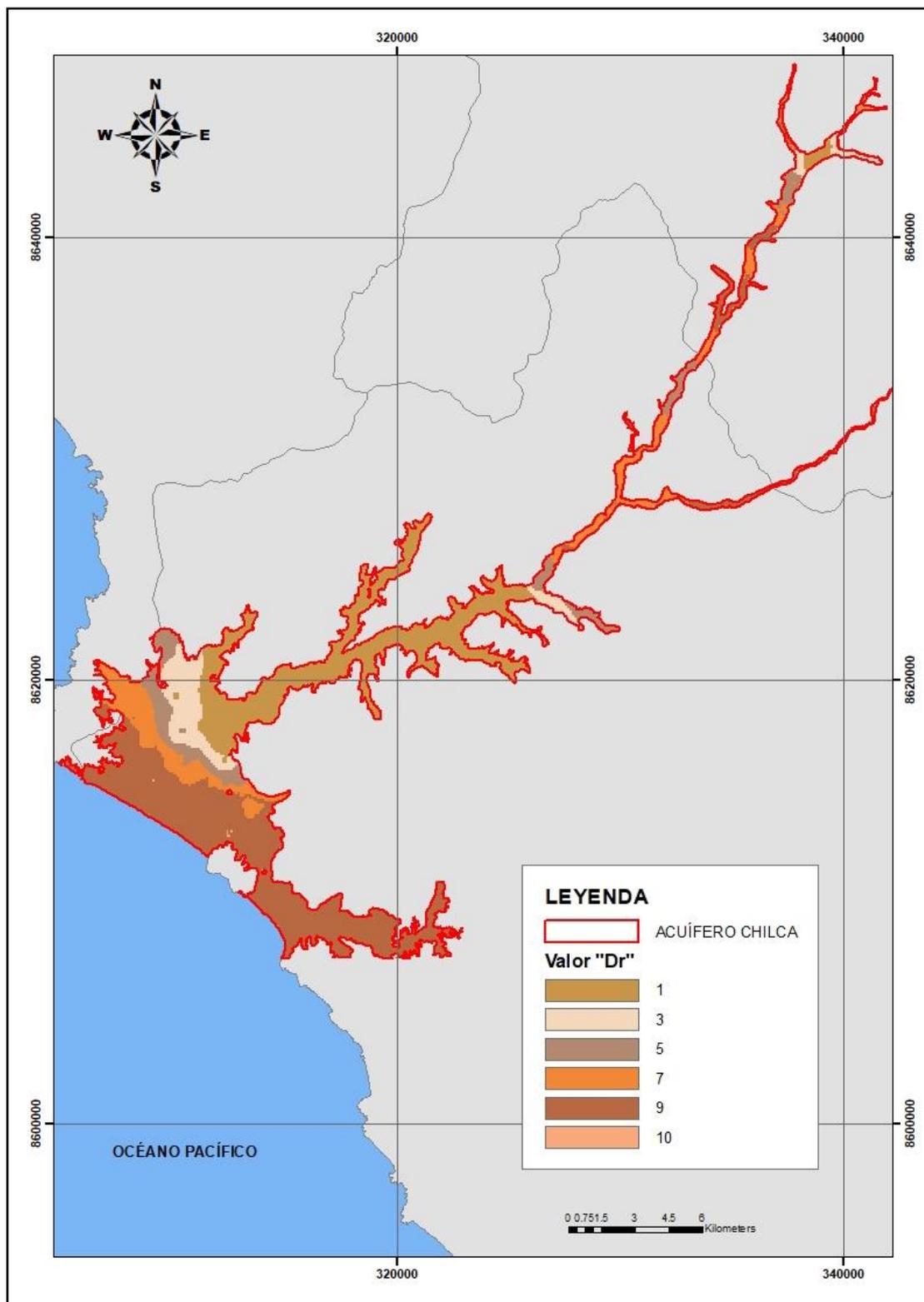
Este índice se trabajó con la información de isopropundidad de la napa freática, haciendo una reclasificación de tal manera se le asigne la valoración respectiva para la variable “Dr”, cuya distribución espacial se encuentra en la Figura 16.

La vulnerabilidad, según este índice es mayor en cuanto el nivel freático se encuentre más cercano a la superficie del terreno. El valor de la vulnerabilidad más alta (10), se encuentra en la parte más cercana a la costa del acuífero Chilca, dado que el nivel estático se encuentra a menos de 1,5 m de profundidad; al alejarse de la costa, los valores van disminuyendo gradualmente, debido a que, en la parte media del acuífero, es mayor a 30 m.

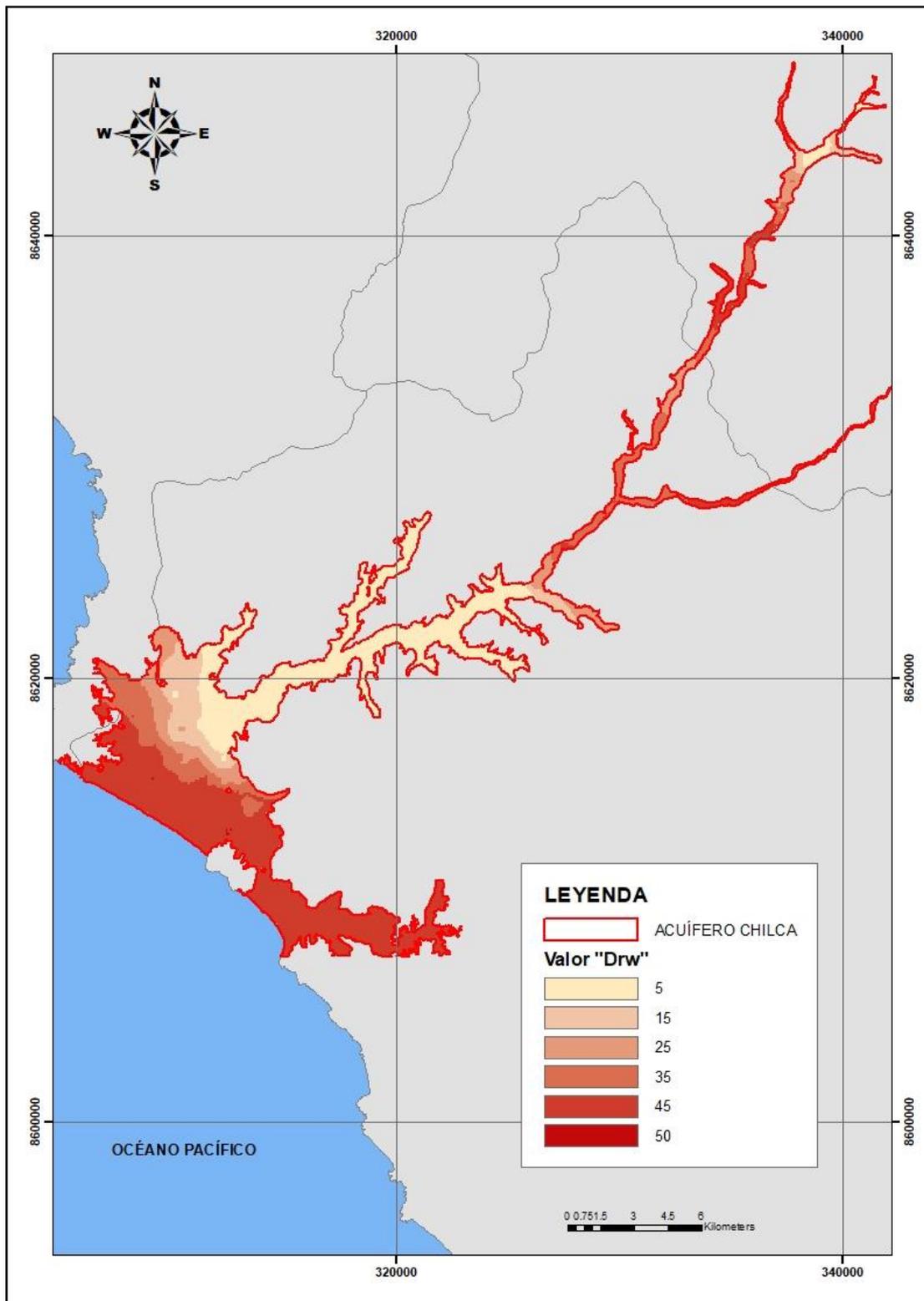
El valor de la ponderación de este índice es de cinco, el máximo posible para este método, que indica que es de gran influencia en la determinación del grado de vulnerabilidad final. Al valor “Dr” se le aplicó el respectivo valor de ponderación ( $W_D$ ), cuyo resultado (índice “Drw”) se muestra en la Figura 17.

#### **b. R (*recharge*): recarga neta del acuífero**

En la Figura 18 se presenta la valoración concerniente a la variable “Rr”. Se consideró la aplicación de lámina de riego de 380 mm/año (ANA, 2019), y el 30 por ciento de infiltración (Ramos, 2004), resultando una recarga de 114 mm/año, al cual se añadió el balance de recarga realizado por la ANA (2019) de 70,11 mm/año, siendo la recarga estimada al acuífero de 184,11 mm/año.



**Figura 16: Valores de “Dr” – método DRASTIC**



*Figura 17: Valores de "Drw" – método DRASTIC*

En la Figura 19, se muestra el valor de “Rrw”, que se obtuvo al multiplicar “Rr” por cuatro (factor de ponderación correspondiente,  $W_R$ ). Lo que implica que se trata de un índice importante en la determinación del grado de vulnerabilidad, mediante este método.

**c. A (aquifer): litología del acuífero**

La evaluación de esta variable se refiere a la litología que conforma el acuífero, por lo que la vulnerabilidad dependerá del tipo de material que conforma el acuífero, en este caso por poseer mayor área de depósitos aluviales, le corresponde una valoración de ocho, tal como se presenta en la Figura 20.

El valor de ponderación correspondiente a este índice es de tres. Los valores de “Arw” y su distribución espacial se encuentran en la Figura 21.

**d. S (soil): tipo de suelo**

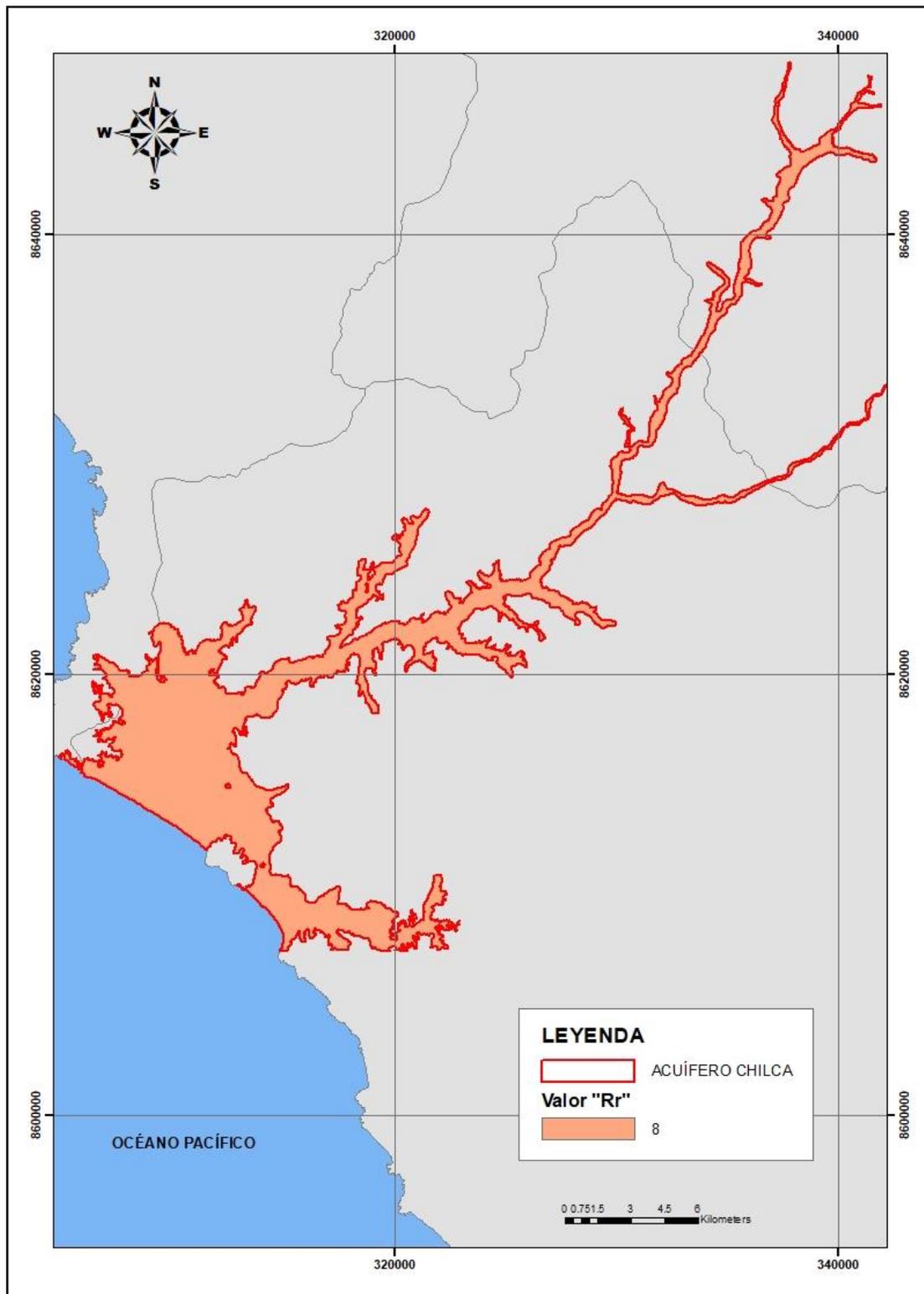
El suelo de la zona de estudio está constituido en su mayor parte por depósitos aluviales, conformado por material gravo arenoso, por lo que se le asignó un valor de nueve; mientras que, a la zona de glaciares coluvial, donde se aprecia agregado arcilloso, se le asignó el valor de siete, tal como se presenta en la Figura 22.

El factor de ponderación correspondiente a este índice es de dos. Los valores de “Srw” y su distribución espacial se encuentra en la Figura 23.

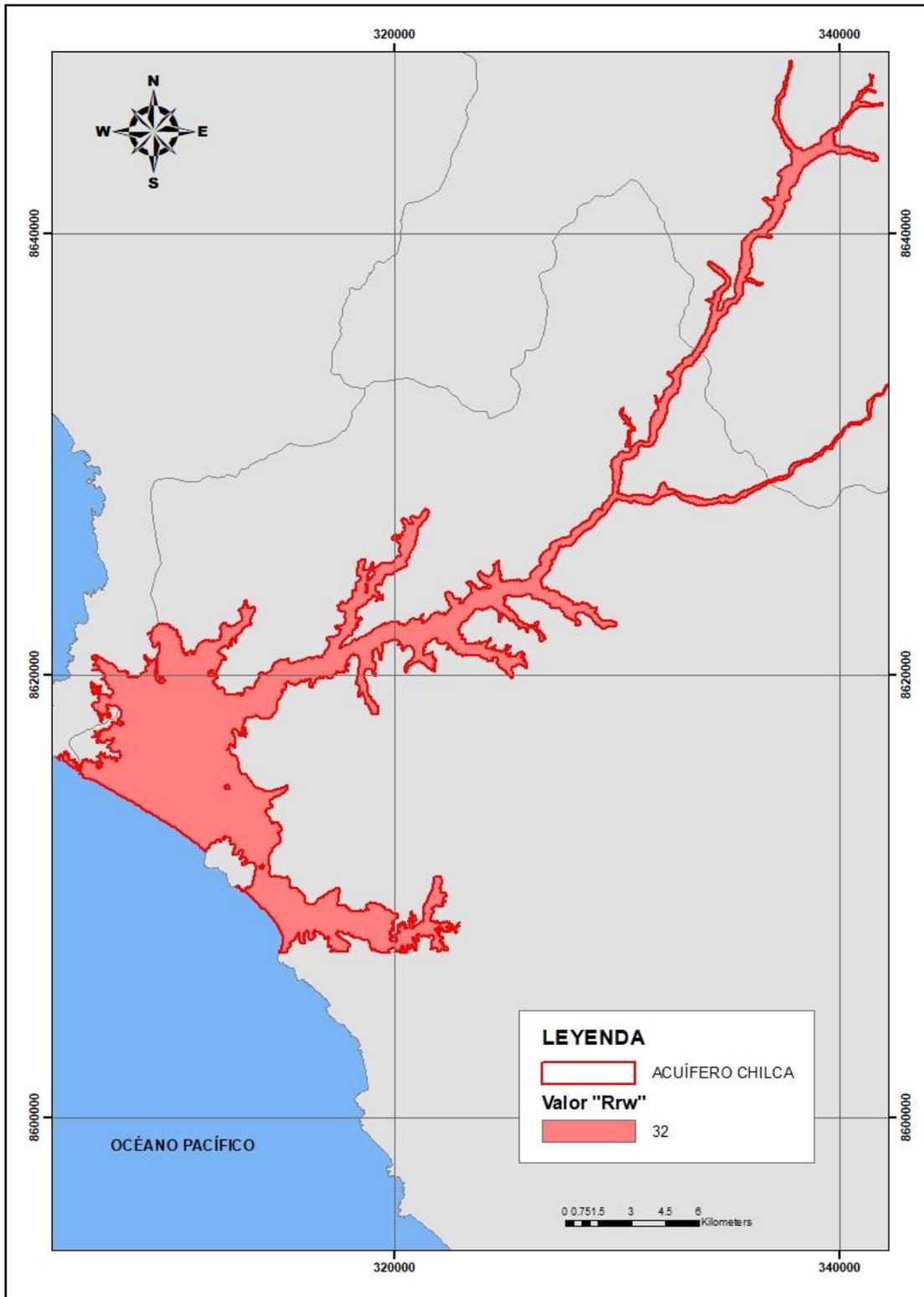
**e. T (topography): pendiente topográfica**

Para la elaboración del mapa de pendientes, se trabajó de un Modelo Digital de Elevación (DEM) y utilizando el *software* ArcGIS, se elaboró el mapa de pendientes (porcentaje), para luego hacer una reclasificación, dándole el valor correspondiente a las pendientes según lo que indica la metodología. Se considera una mayor vulnerabilidad cuando la superficie del terreno presenta una pendiente muy baja (de cero a dos por ciento) ya que es más fácil la infiltración de líquidos.

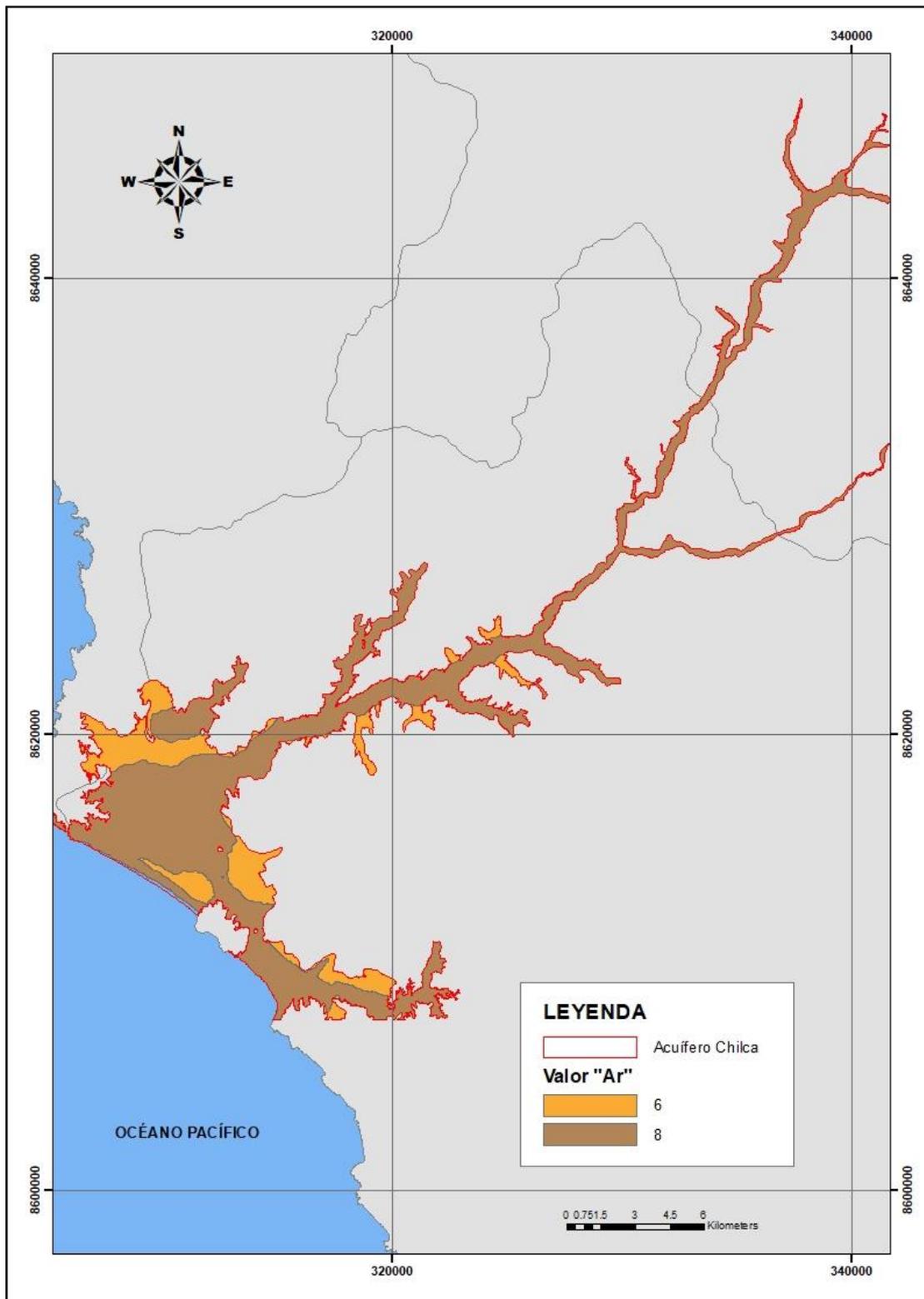
El valor de ponderación para este índice es de uno, por lo que el mapa que demuestra el valor “Tr” es el mismo para “Trw”, que se muestra en la Figura 24.



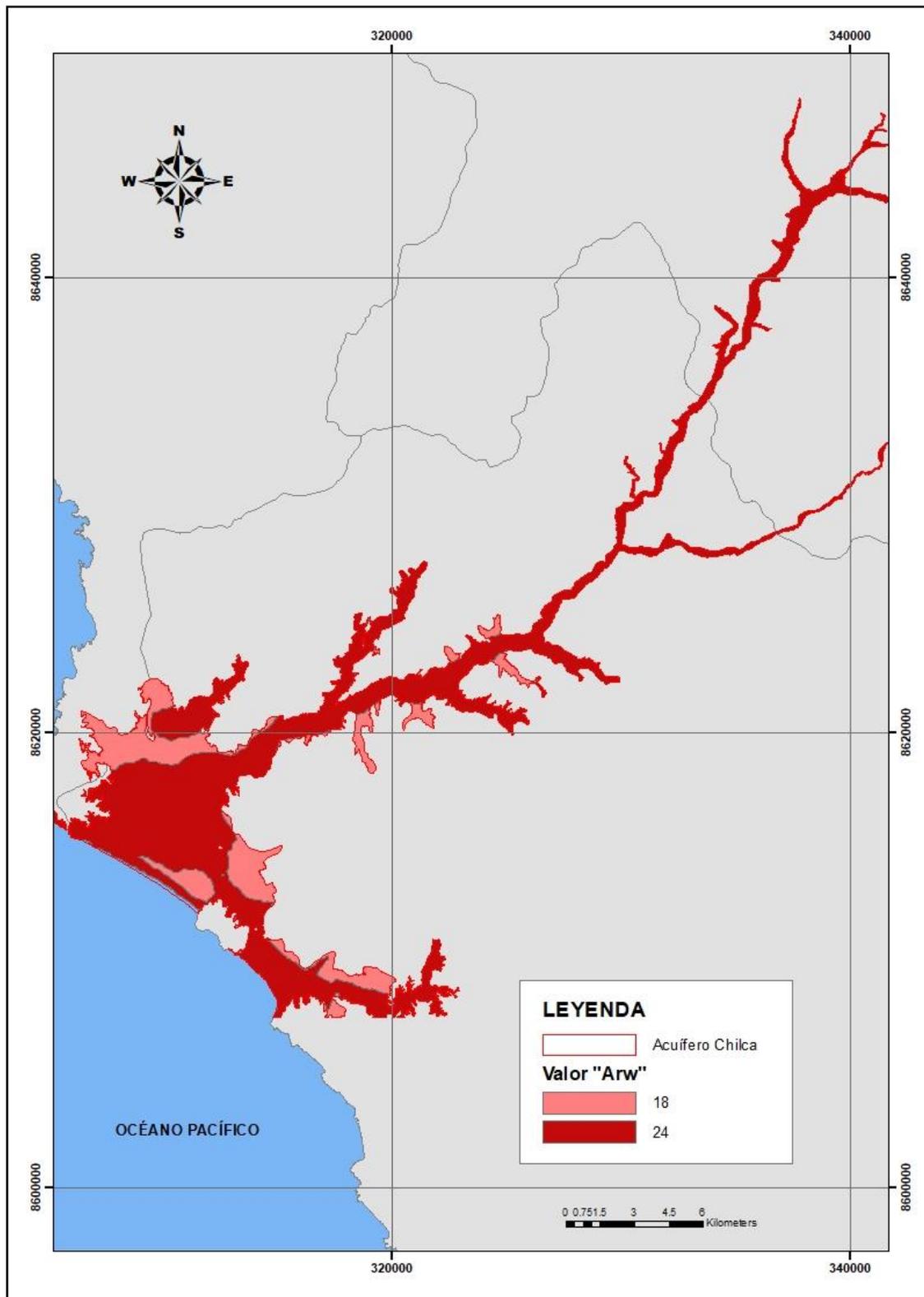
**Figura 18: Valor de “Rr” – método DRASTIC**



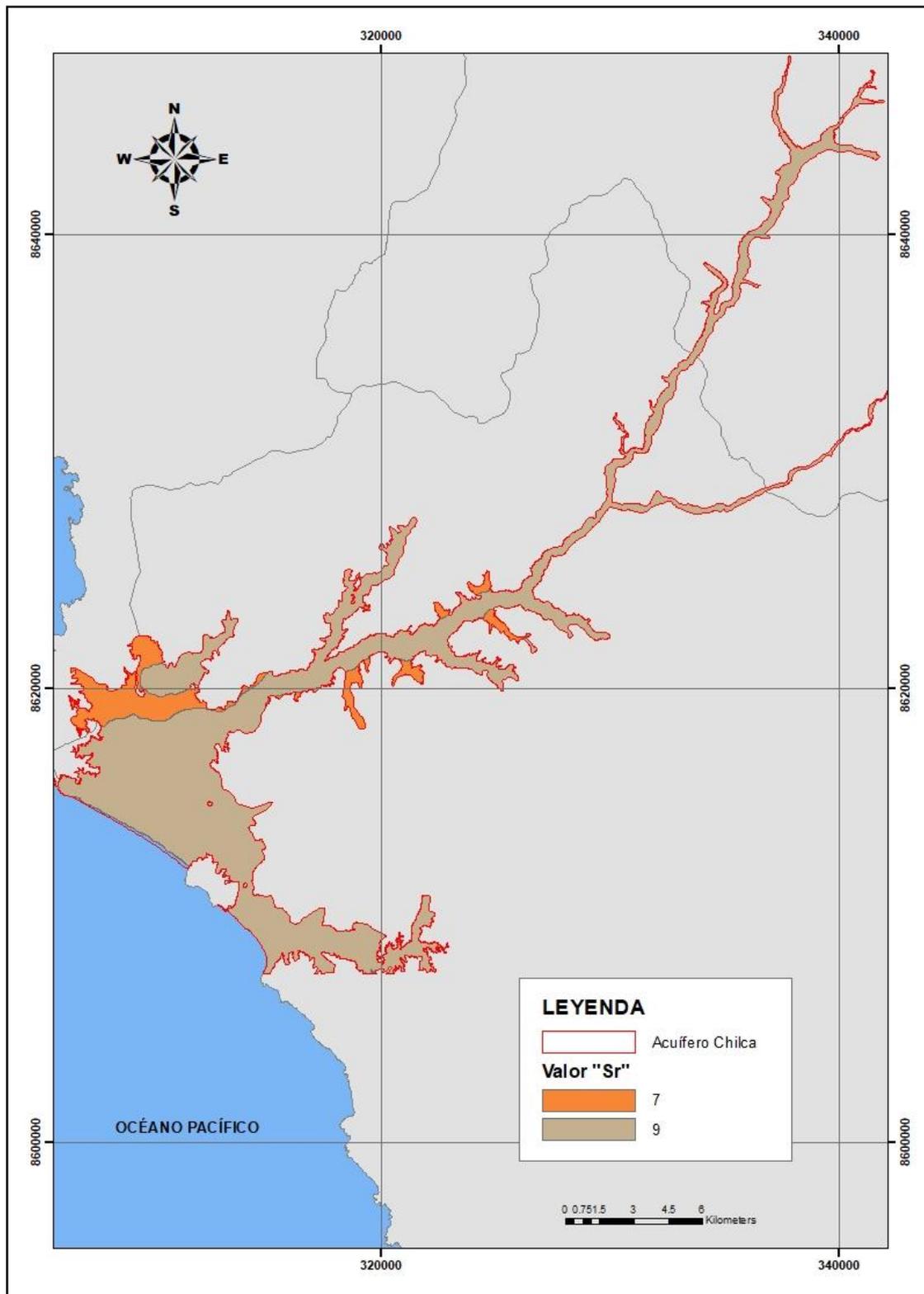
**Figura 19: Valor de “Rrw” – método DRASTIC**



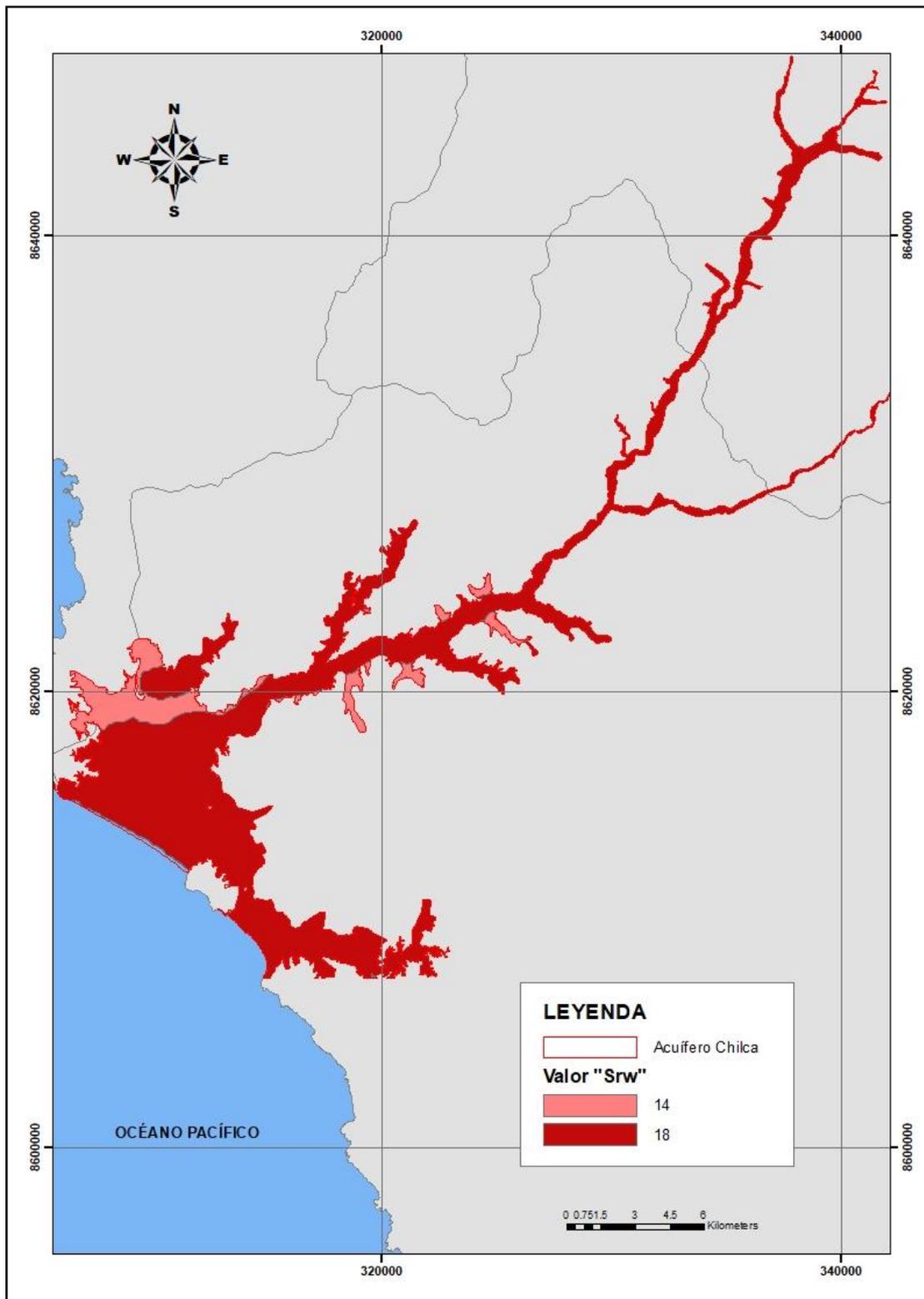
**Figura 20: Valores de "Ar" – método DRASTIC**



**Figura 21: Valores de “Arw” – método DRASTIC**



**Figura 22: Valores de "Sr" – método DRASTIC**



**Figura 23: Valores de “ $S_r$ ” – método DRASTIC**

**f. I (*impact*): litología de la zona no saturada**

En la mayor parte del acuífero Chilca, el estrato superior está constituido por depósitos aluviales con un gran contenido de material suelo como arena y grava, y en otras áreas existe presencia de sedimentos arcillosos, limos y arenas muy finas.

En la Figura 25 se presenta el mapa correspondiente a la variable “Ir”.

El factor de ponderación es igual a cinco (el máximo asignado a esta variable), mostrándose en la Figura 26 el resultado para la valoración final del índice “Irw”.

**g. C (*hydraulic conductivity*): conductividad hidráulica del acuífero**

Se generó el mapa en base a datos espaciales de los registros de las pruebas de bombeo realizados por la ANA (2019). El valor de 10, que sugiere mayor vulnerabilidad, se encuentra en la zona costera, y se va reduciendo en cuanto se va alejando de ésta; se le representa en la Figura 27. El factor de ponderación correspondiente a este índice es tres (Figura 28).

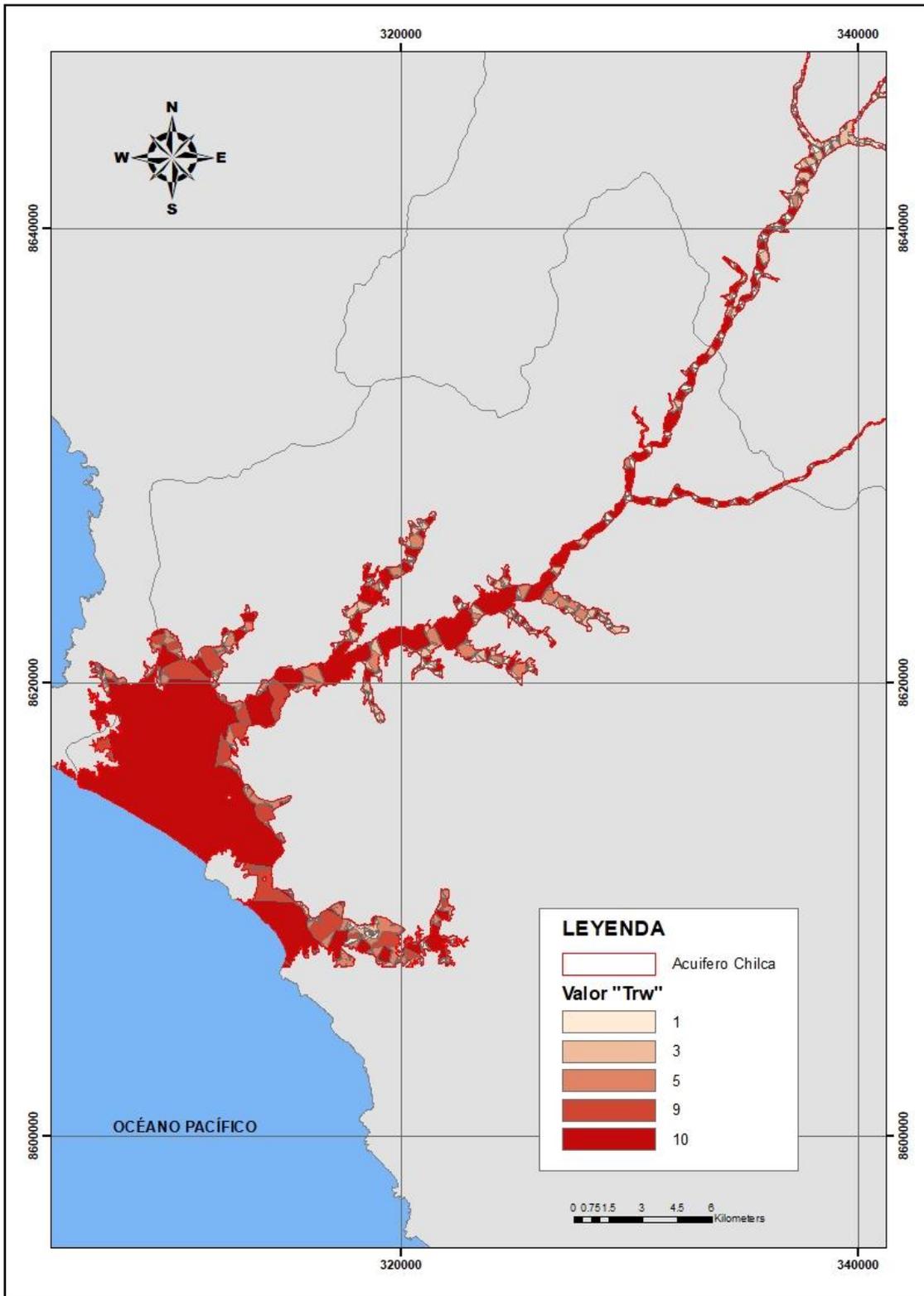
**4.2.2. Grado de vulnerabilidad con el Método DRASTIC**

En la Figura 29, se muestra el índice de vulnerabilidad obtenida por la suma de los índices “Drw”, “Rrw”, “Arw”, “Srw”, “Trw”, “Irw” y “Cw”, observándose que el rango de valores va desde 106 a 204. De esta manera, se obtiene como grado de vulnerabilidad: muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo, predominando la denominación muy alta. La distribución espacial del grado de vulnerabilidad se presenta en la Figura 30.

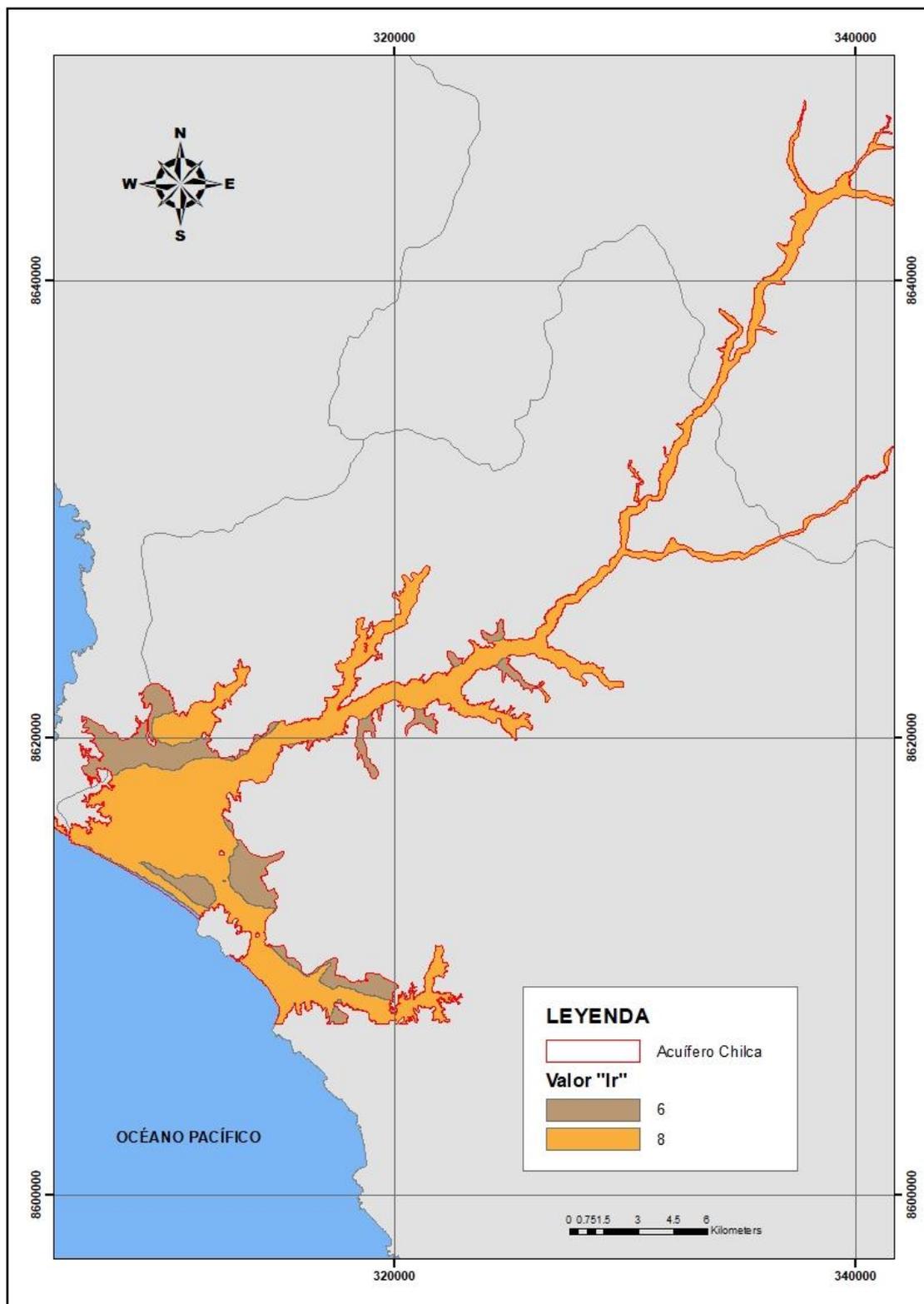
**4.3. Grado de vulnerabilidad aplicando el Método SINTACS**

**4.3.1. Índices para la aplicación del Método SINTACS**

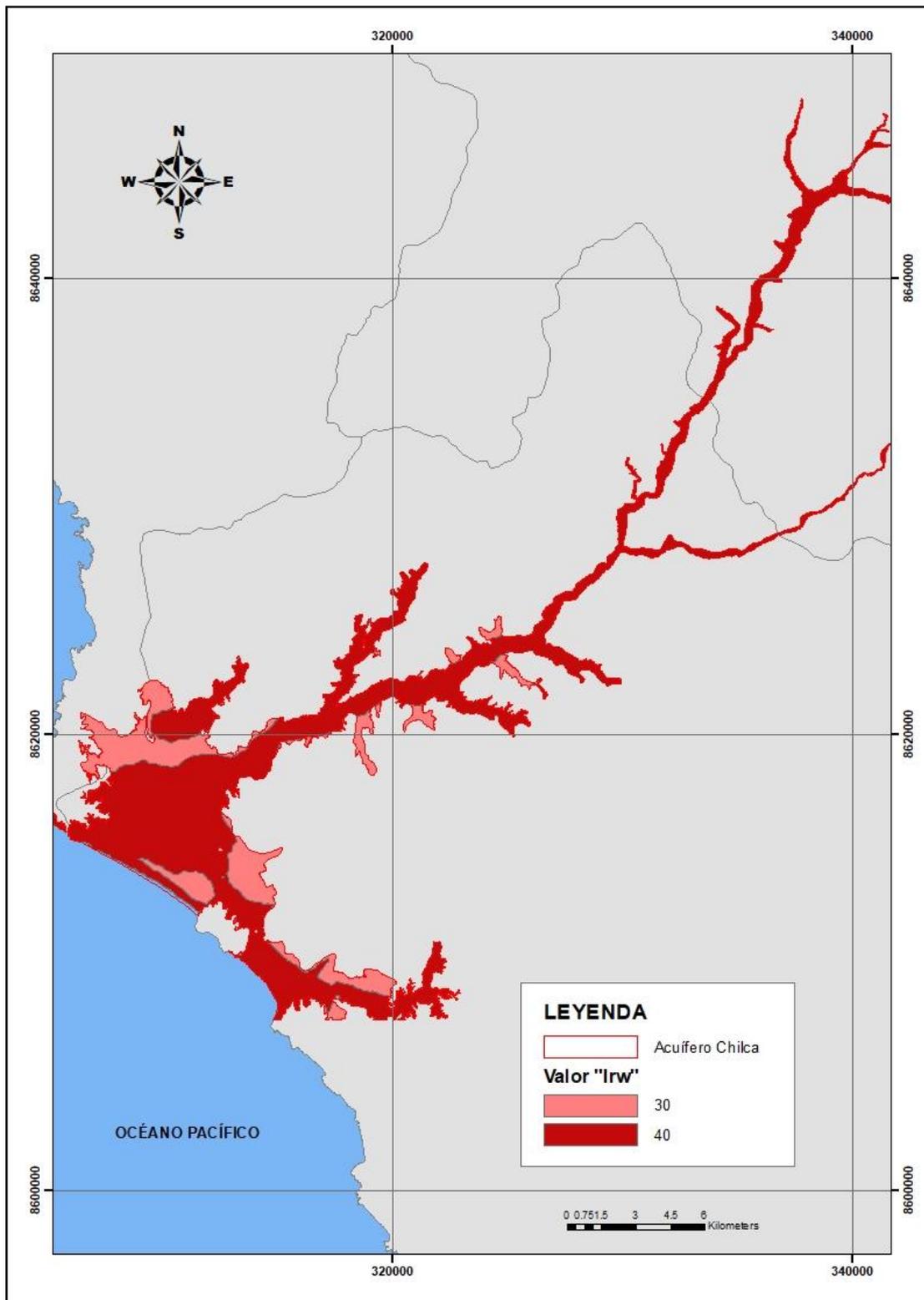
Primeramente, se elaboró los mapas de las variables “S”, “I”, “N”, “T”, “A”, “C” y “S”. La puntuación de cada una de ellas, se consideró desde uno (menor vulnerabilidad) hasta 10 (mayor vulnerabilidad). Así mismo, se elaboró los mapas de cada índice, teniendo en cuenta el factor ponderativo correspondiente (w) en situación ordinaria, presentado en la Tabla 12 (revisión de literatura), teniendo como resultado los mapas: “Sw”, “Iw”, “Nw”, “Tw”, “Aw”, “Cw” y “Sw”.



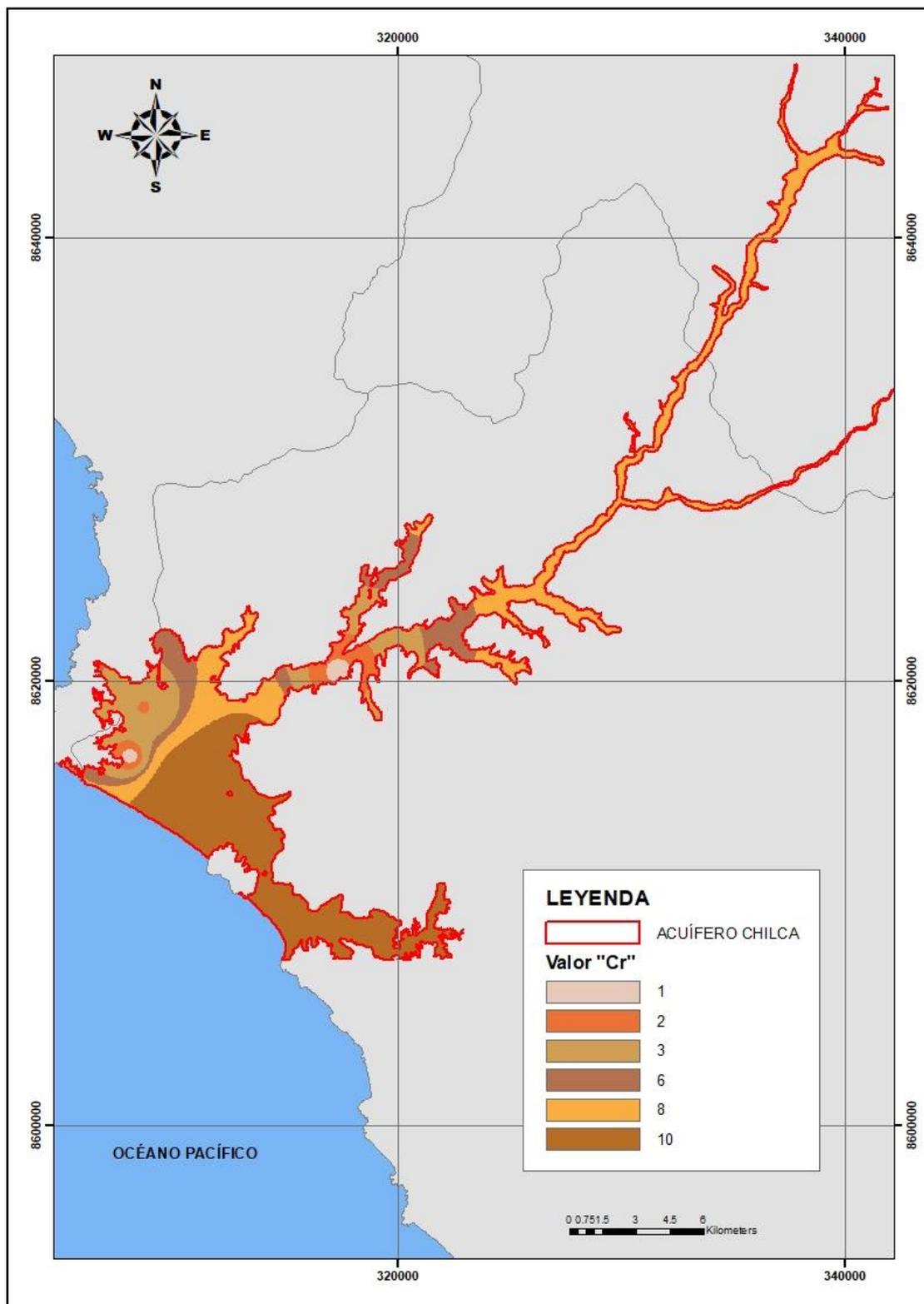
**Figura 24: Valores de “Trw” – método DRASTIC**



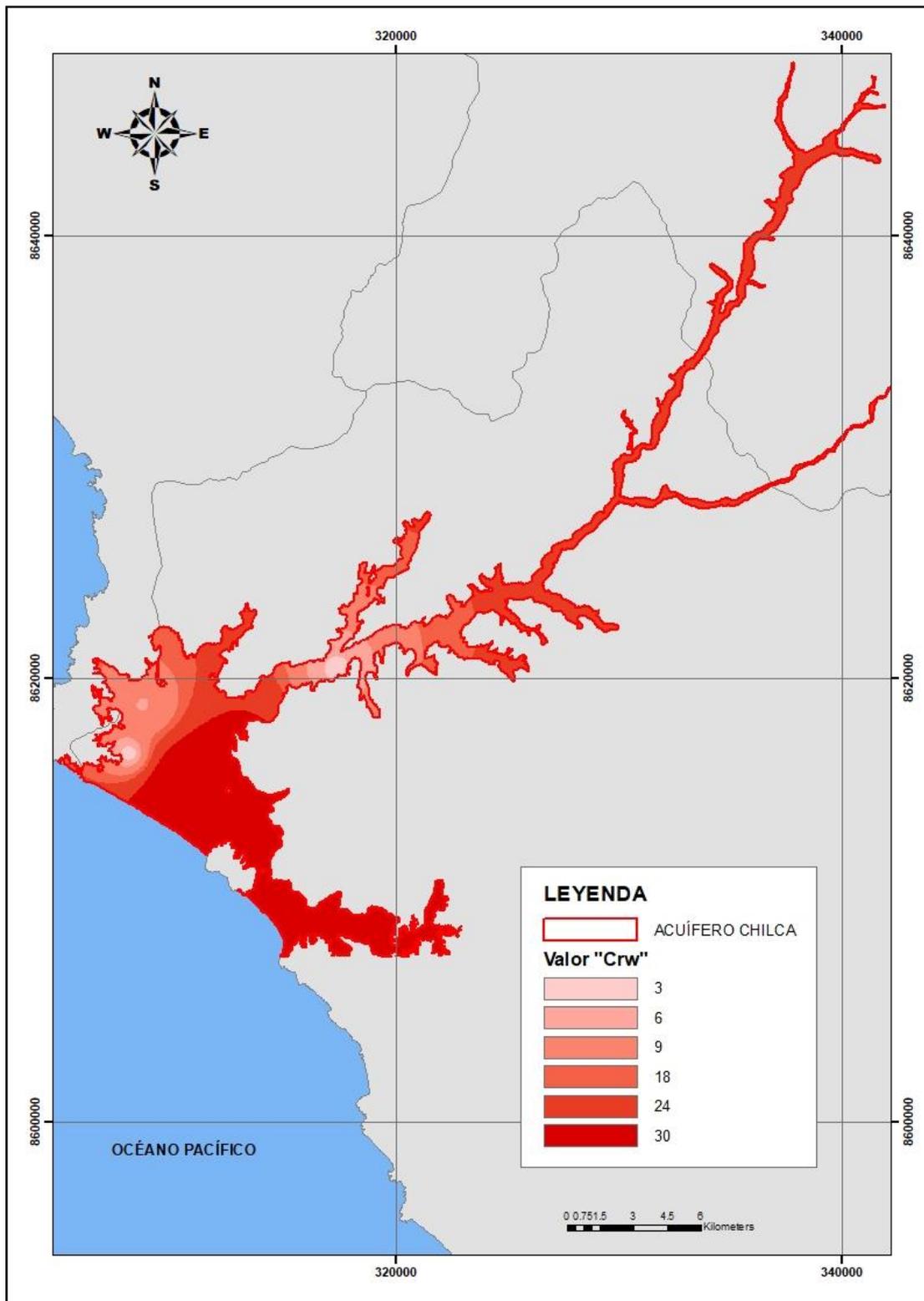
**Figura 25: Valores de “Ir” – método DRASTIC**



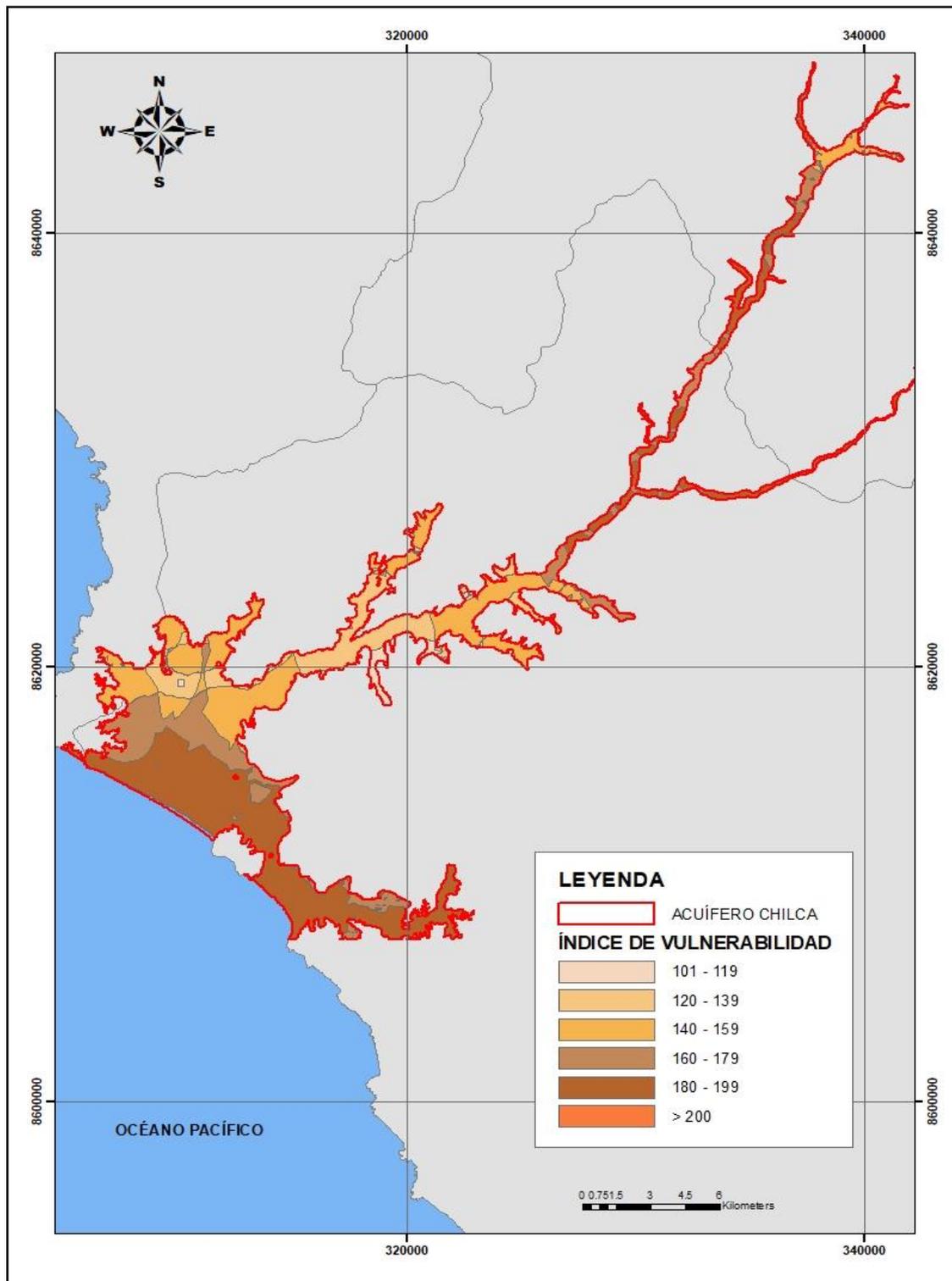
*Figura 26: Valores de “Irw” – método DRASTIC*



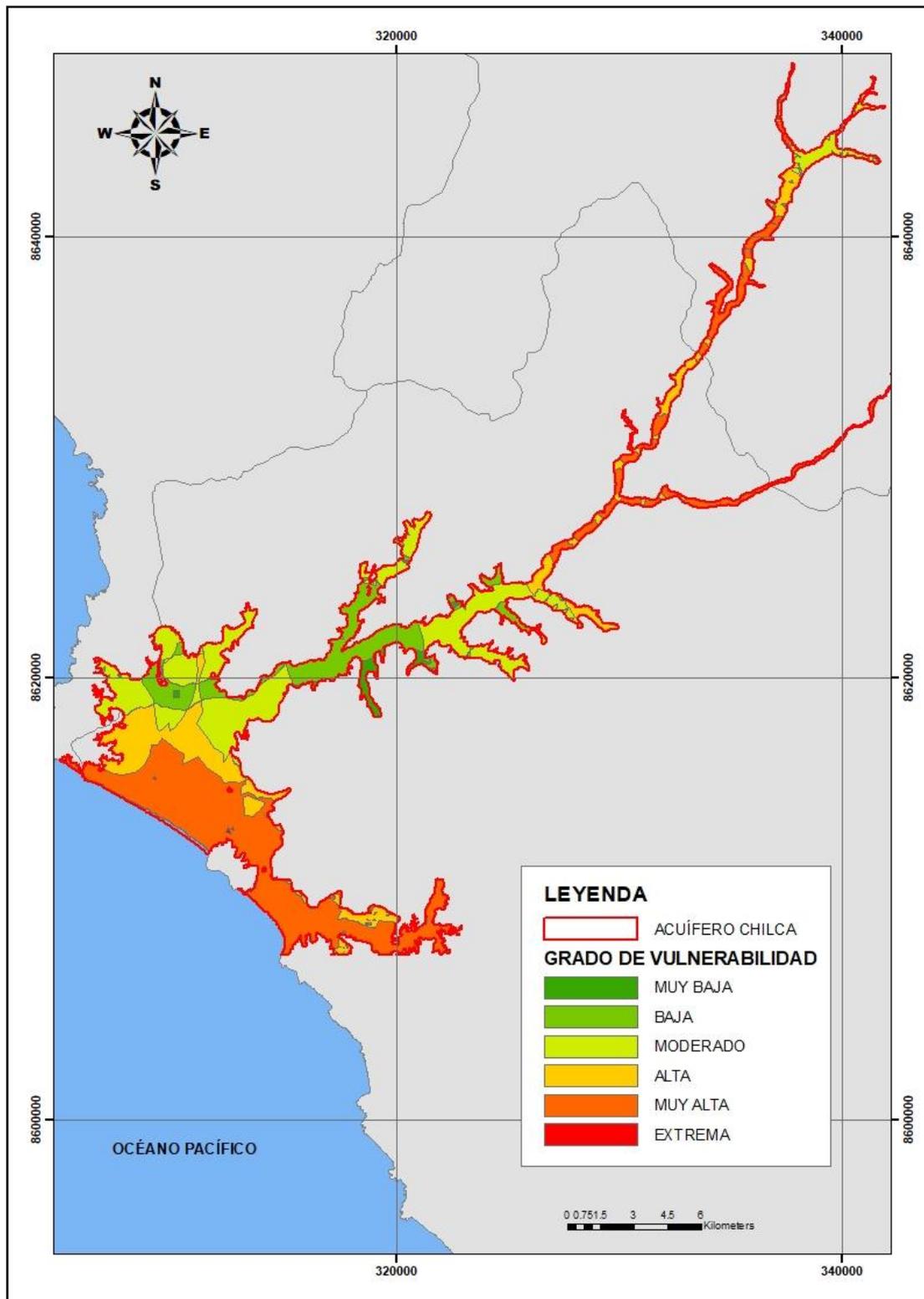
**Figura 27: Valores de “Cr” – método DRASTIC**



**Figura 28: Valores de “Crw” – método DRASTIC**



**Figura 29: Índice de vulnerabilidad – método DRASTIC**



**Figura 30: Grados de vulnerabilidad – método DRASTIC**

**a. S (*soggioacenz*): profundidad de agua subterránea**

Para el desarrollo de este índice, se utilizó la información de isoprofundidad de la napa freática, realizándose una reclasificación de tal manera se le asigne la valoración respectiva para la variable “S”, cuya distribución espacial se encuentra en la Figura 31.

La vulnerabilidad indicada por este índice es mayor cuando el nivel freático se encuentra más cercano a la superficie del terreno. El valor de S más alto (9), fue asignado a la zona más cercana al litoral, dado que el nivel estático se encuentra a menos de 10 m de profundidad; y, disminuye al alejarse de la línea de playa, lo que indica que, en la parte más alejada de ésta, la vulnerabilidad es menor.

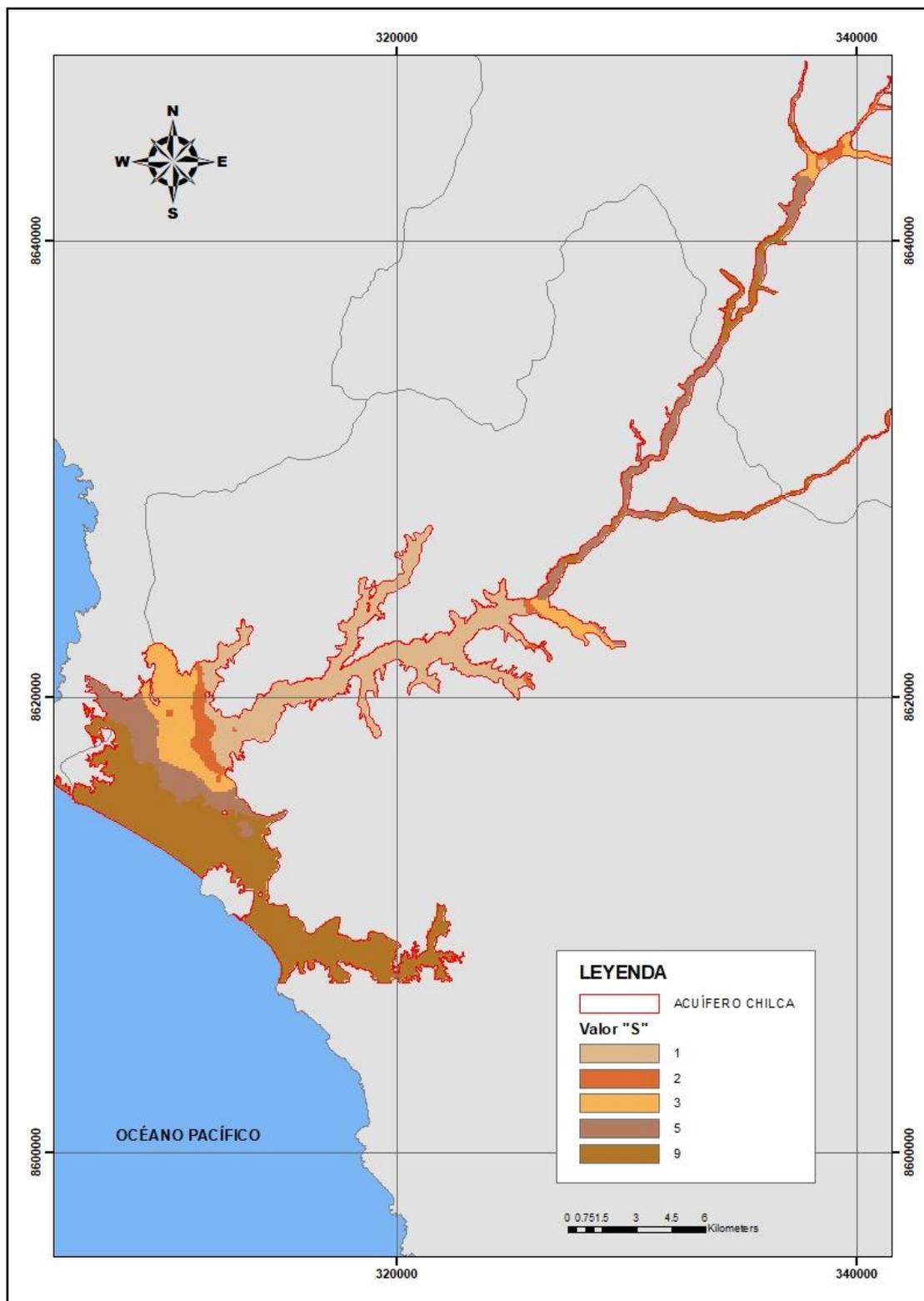
Aplicando el valor de la ponderación ( $W_s$ ), al índice “S”, equivalente a cinco, se obtuvo los valores del índice “Sw”, que se muestran en la Figura 32.

**b. I (*infiltrazione*): recarga neta del acuífero**

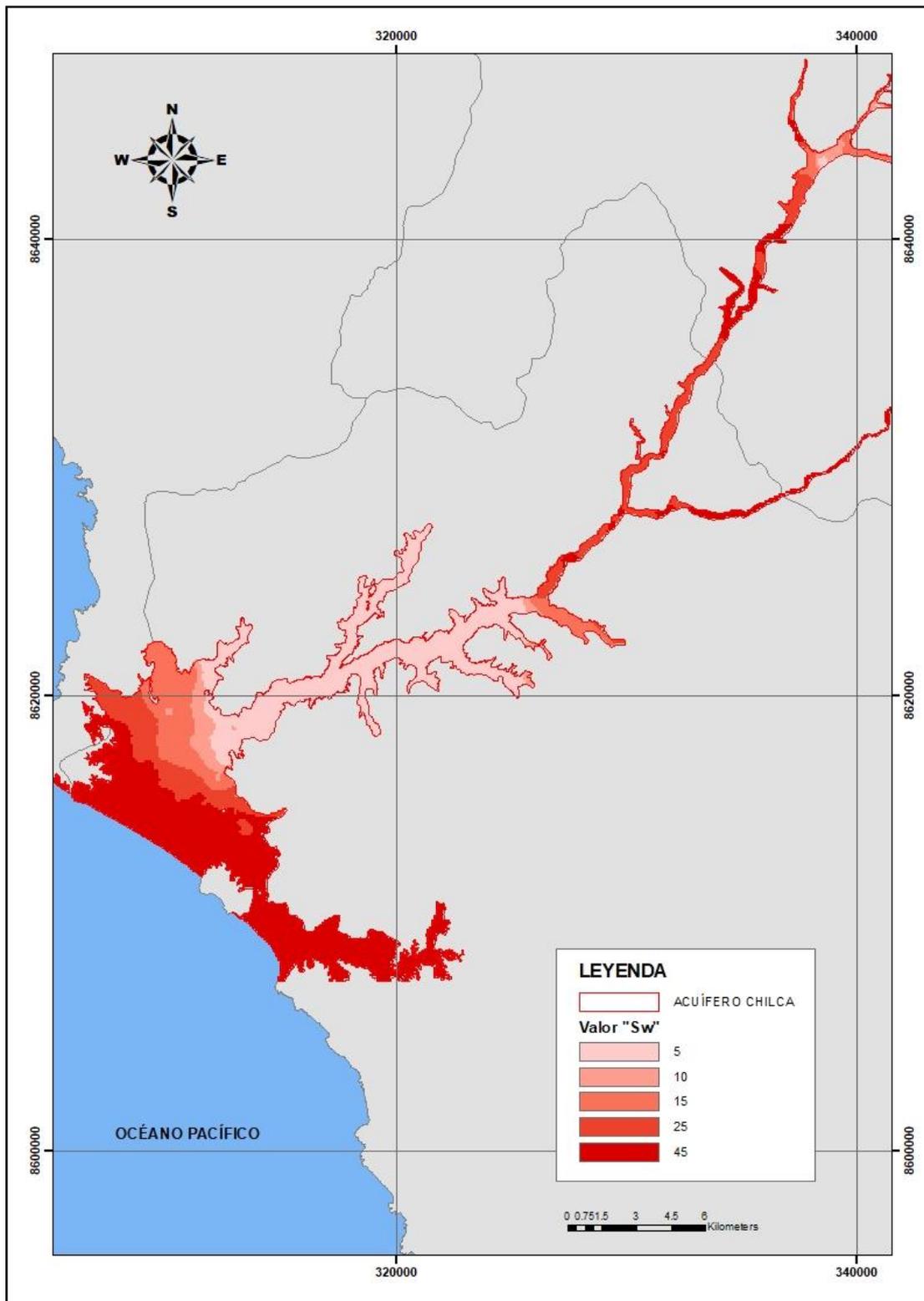
En la Figura 33 se presenta la valoración concerniente a la variable “I”. Para el valor de recarga neta, estimada en 184,11 mm/año, le corresponde el valor de ocho. En la Figura 34, se muestra el valor de “Iw”, que se obtiene al multiplicar “I” por su factor de ponderación correspondiente ( $W_I$ ), que es cuatro.

**c. N (*effetto depurante del non saturo*): efecto de autodepuración de la zona no saturada**

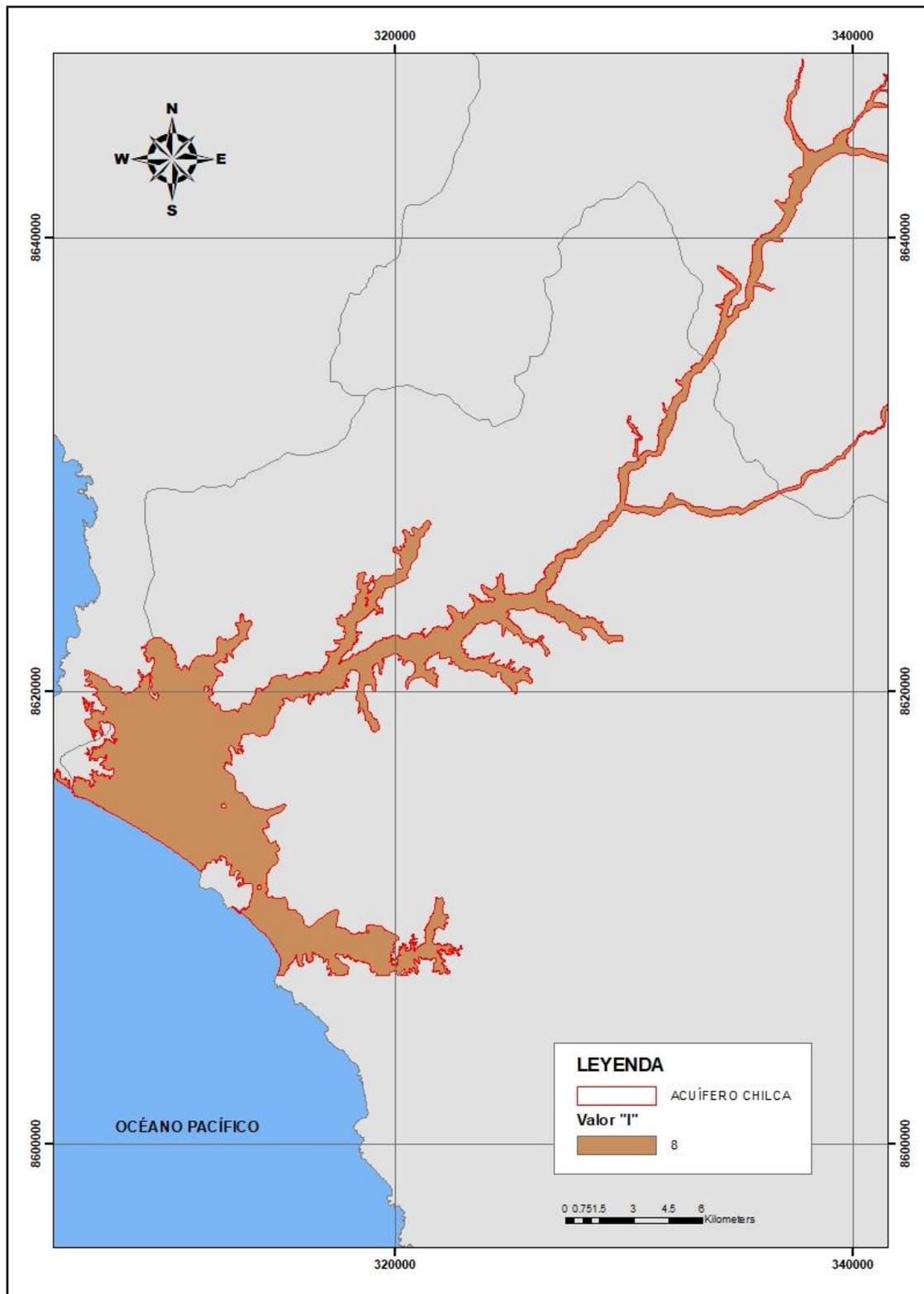
En la mayor parte del acuífero Chilca, el estrato superior está constituido por depósitos aluviales, con un gran contenido de material suelto (arena y grava), y en otras áreas existe presencia de sedimentos arcillosos con limos y arenas muy finas. En la Figura 35 se presenta el mapa correspondiente a la variable “N”. El factor de ponderación es igual a cinco (máximo asignado a una variable), mostrándose en la Figura 36 el resultado para la valoración final del índice “Nw”.



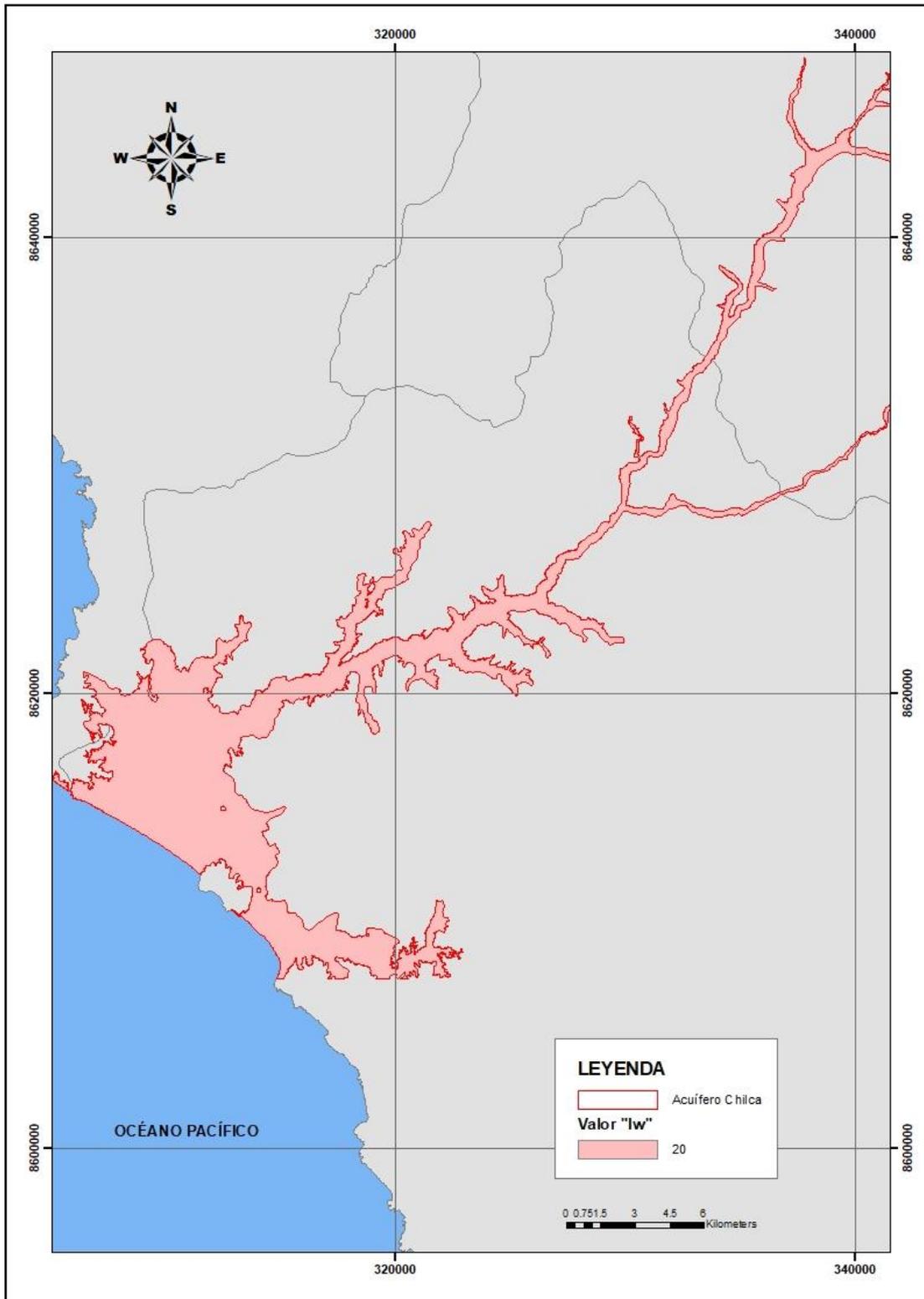
**Figura 31: Valor de "S" – método SINTACS**



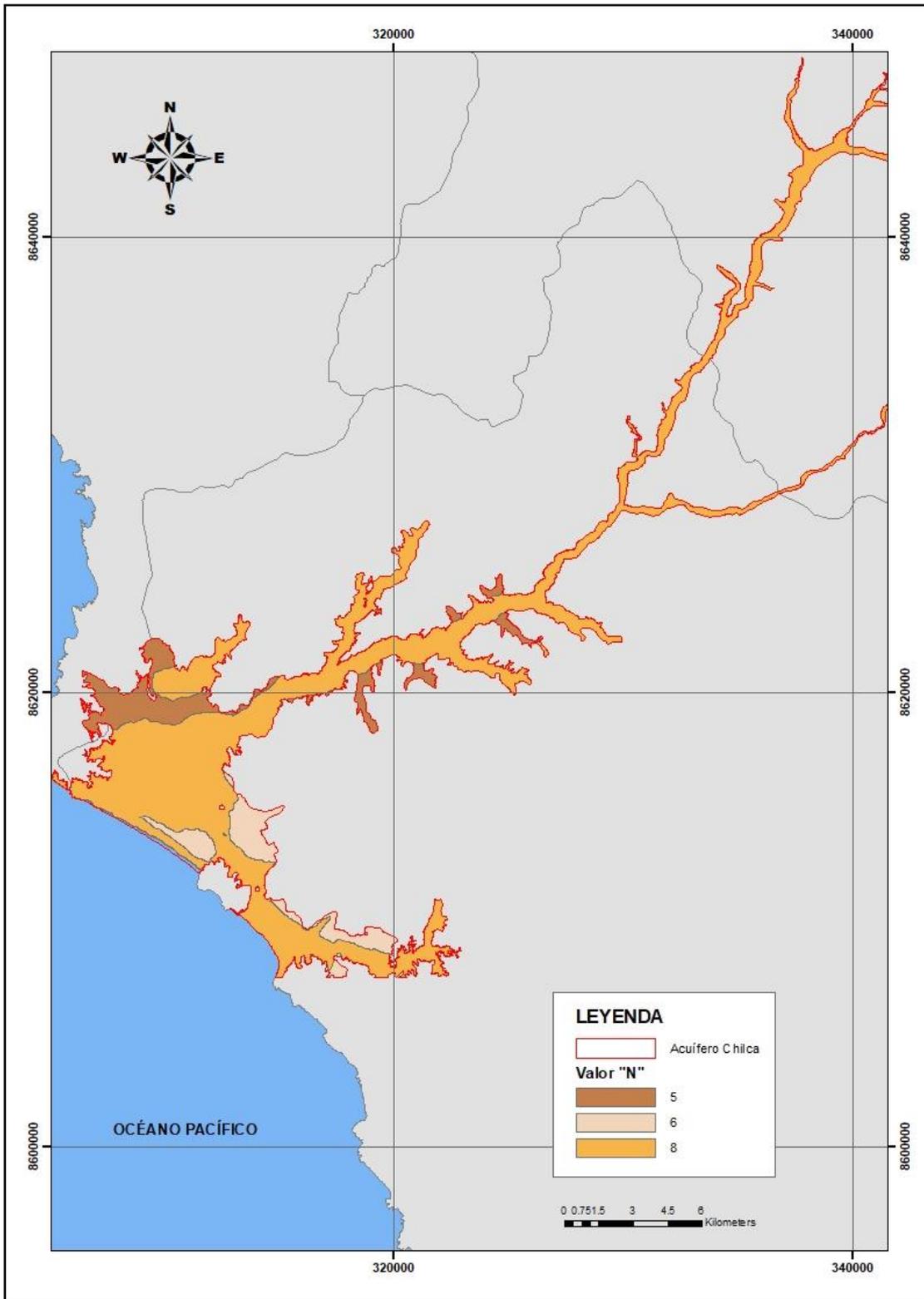
**Figura 32: Valor de “Sw” – método SINTACS**



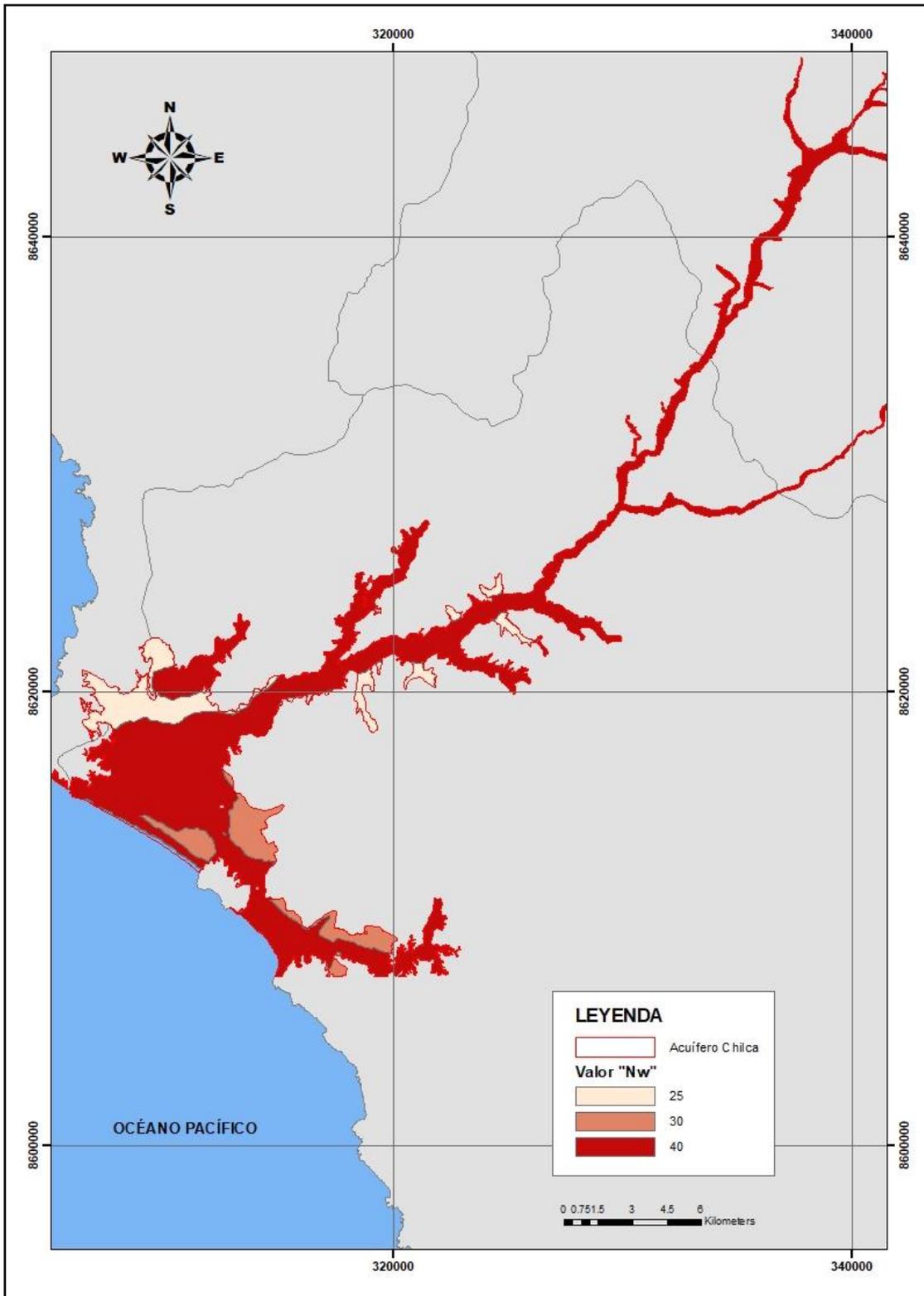
**Figura 33: Valor de "I" – método SINTACS**



**Figura 34: Valor de “Iw” – método SINTACS**



**Figura 35: Valores de “N” – método SINTACS**



**Figura 36: Valores de “Nw” – método SINTACS**

**d. T (*tipologia della copertura*): tipo de suelo**

El suelo de la zona de estudio está constituido en su mayor parte por depósitos aluviales, conformado por material gravo arenoso, por lo que se le asignó un valor de nueve, mientras en la zona glacis coluvial donde se aprecia agregado arcilloso, se le asignó el valor de siete, según la variable “T”, tal como se presenta en la Figura 37. El factor de ponderación correspondiente a este índice es de dos. Los valores de “Tw” y su distribución espacial se presentan en la Figura 38.

**e. A (*acquifero*): litología del acuífero**

El acuífero de Chilca está conformado por depósitos aluviales, por lo que le corresponde una valoración de ocho para la variable “A” (Figura 39). El valor de ponderación correspondiente a este índice es tres. Los valores de “Aw” y su distribución espacial se presentan en la Figura 40.

**f. C (*conducibilita idraulica*): conductividad hidráulica**

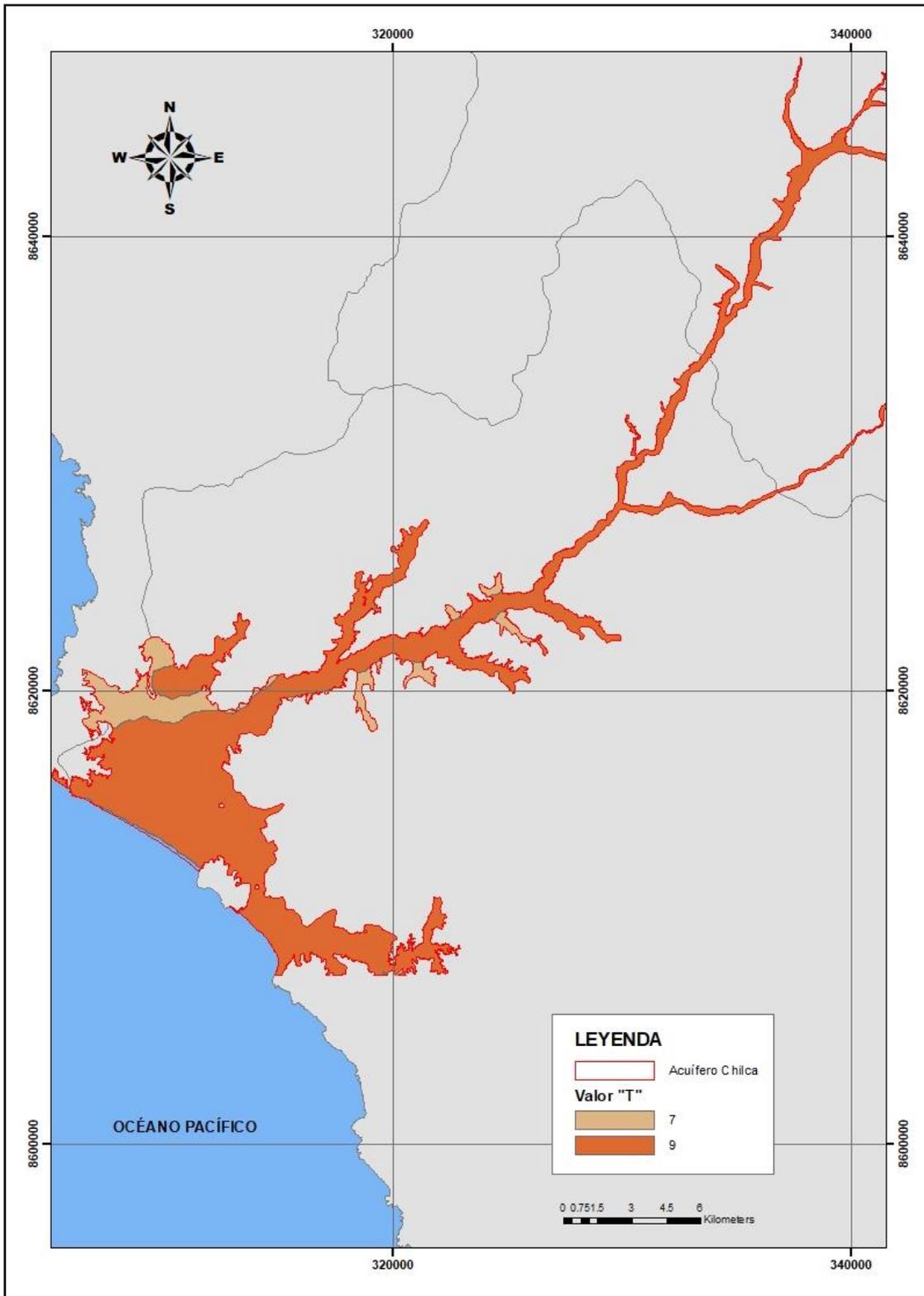
El mapa correspondiente (Figura 41) se generó en base a la información de las pruebas de bombeo realizados por la ANA (2019). El valor de 10 asignado representa el mayor valor a considerar. El factor de ponderación correspondiente a este índice es tres. En la Figura 42 se presenta el mapa correspondiente al valor “Cw”.

**g. Sp (*accilivita della superficie topográfica*): pendiente de la superficie topográfica**

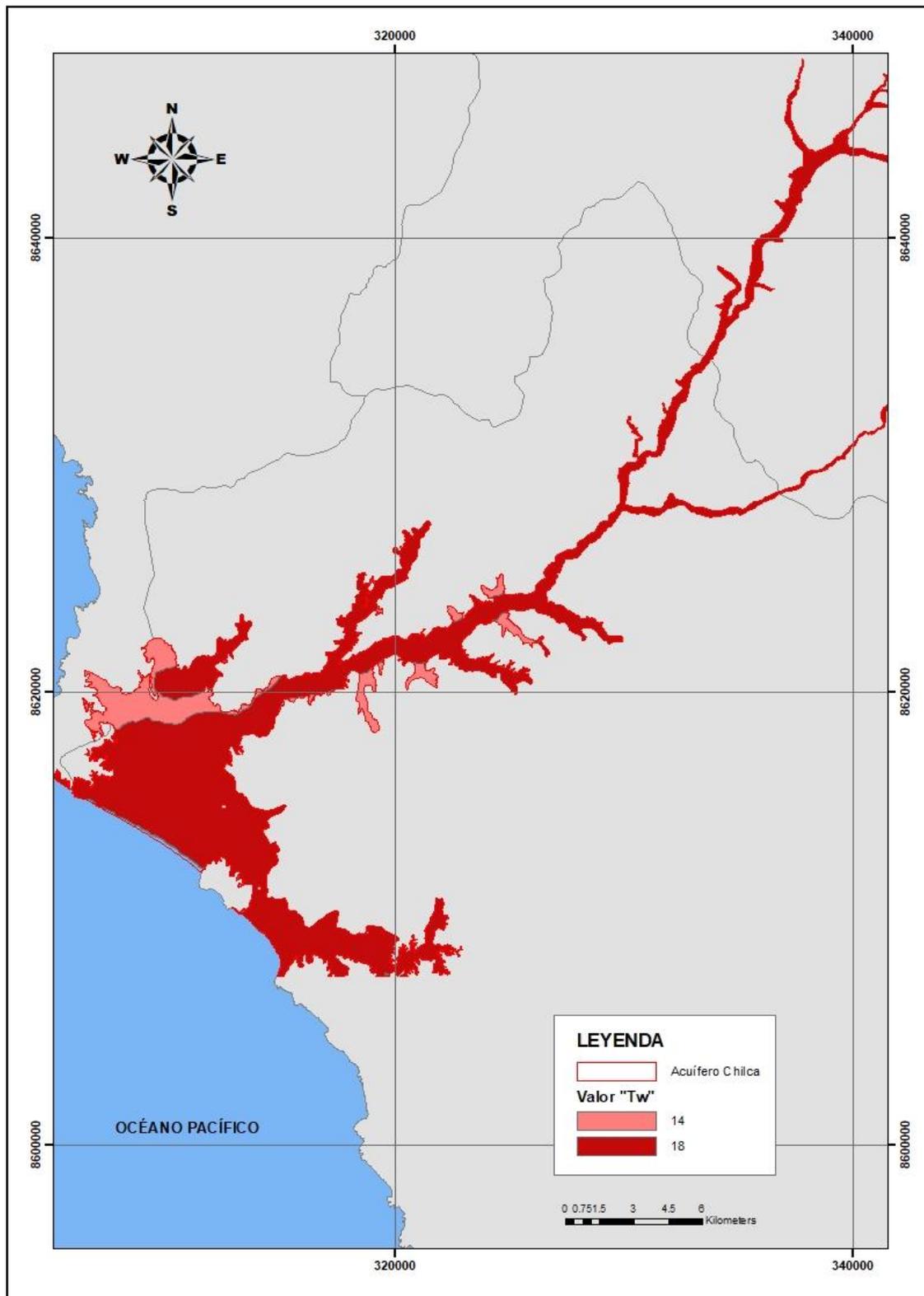
Se consideró una mayor vulnerabilidad para superficies del terreno con pendiente muy baja (cero a dos por ciento), ya que es más fácil la infiltración que la escorrentía. El mapa del índice “Sp” puede observarse en la Figura 43. El valor de ponderación para este índice es de dos, con lo que se obtiene el mapa de valores de “Spw” (Figura 44).

**4.3.2. Grado de vulnerabilidad con el Método SINTACS**

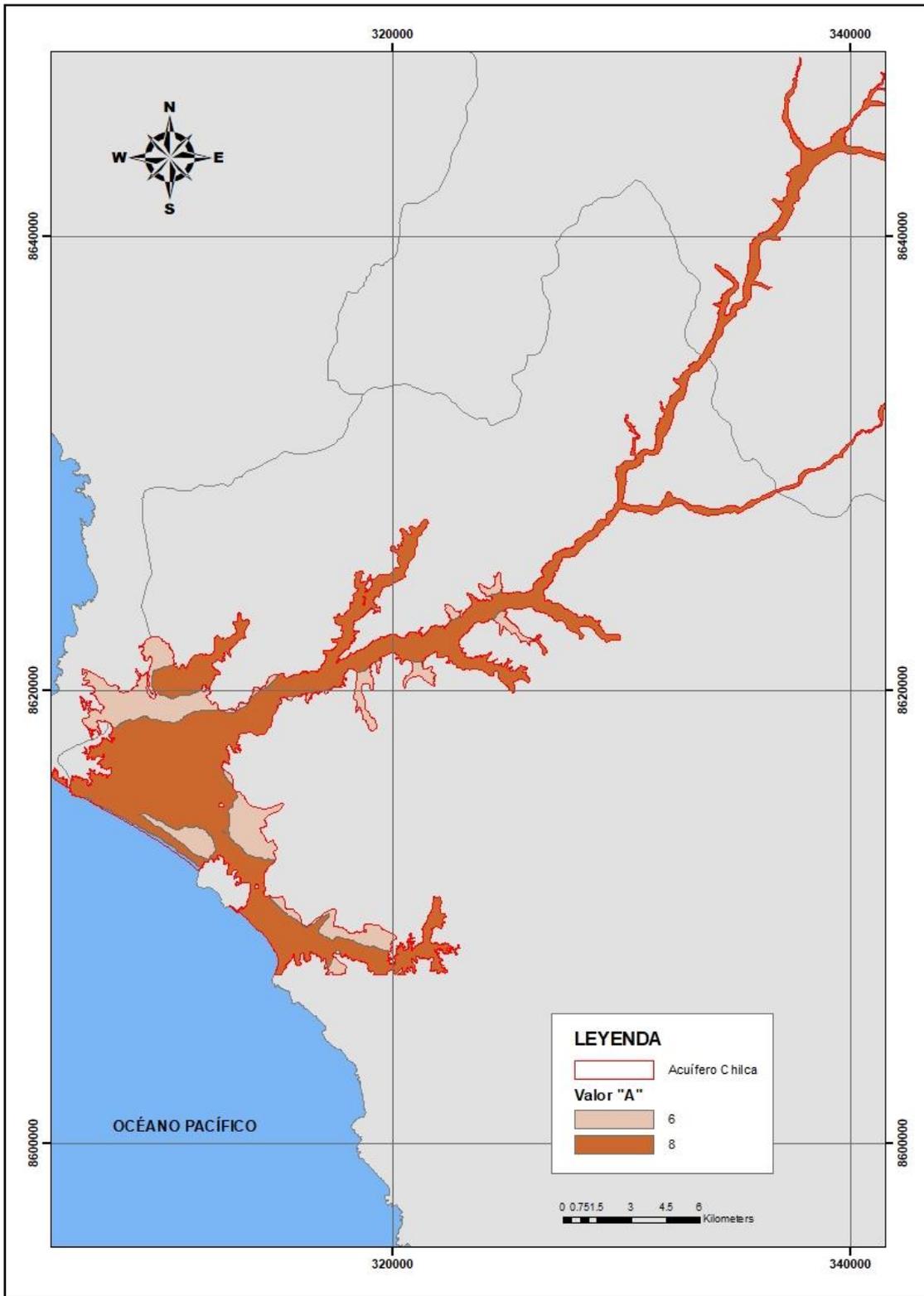
En la Figura 45, se presenta el mapa del índice de vulnerabilidad obtenida por la suma de los índices “Sw”, “Iw”, “Nw”, “Tw”, “Aw”, “Cw” y “Spw”, observándose que el rango de valores va desde 117 a 209. De esta manera se obtiene como grado de vulnerabilidad: bajo, medio, alto y elevado. Teniendo como predominante a la denominación alta. La distribución espacial del grado de vulnerabilidad se puede apreciar en la Figura 46.



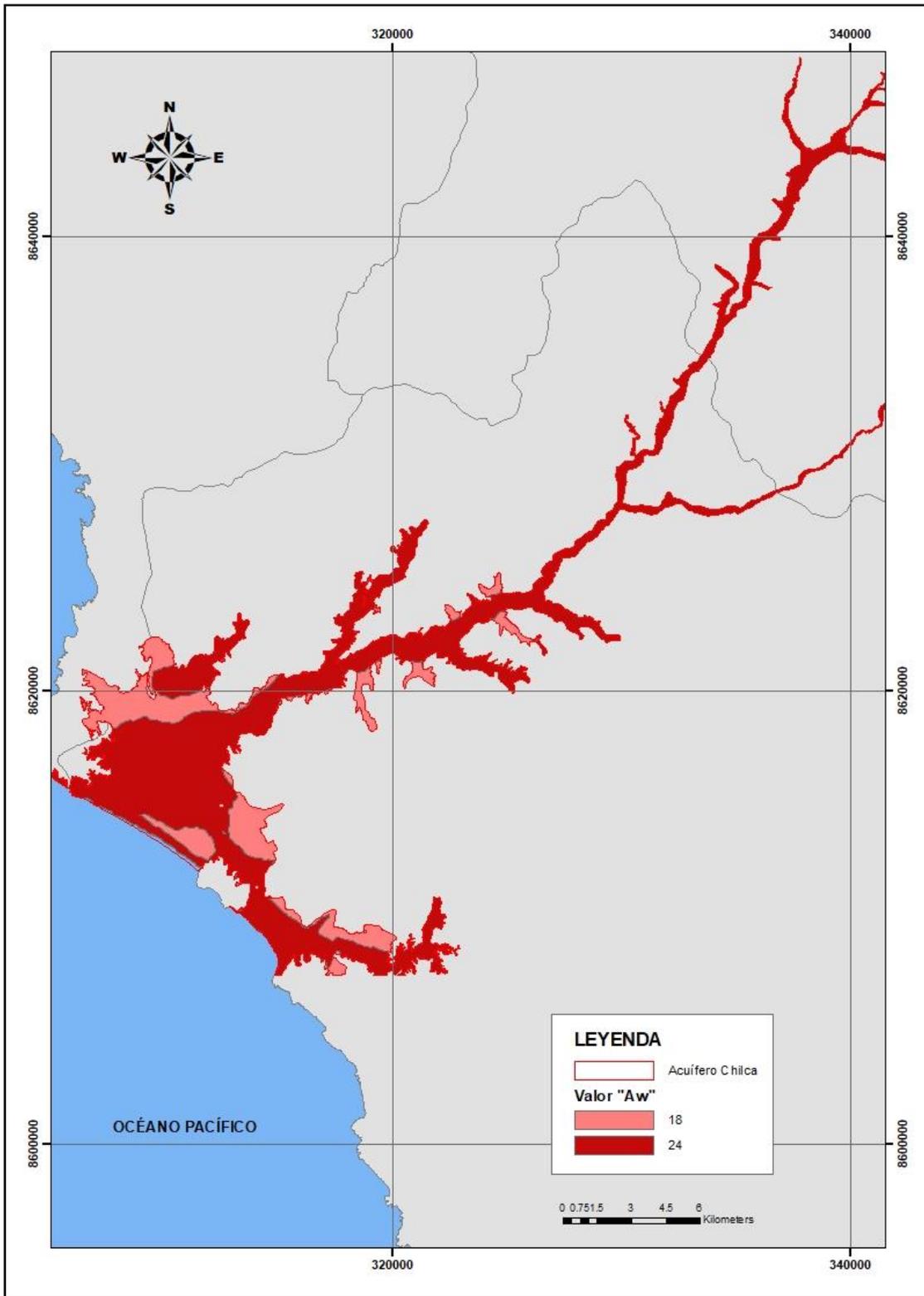
*Figura 37: Valores de "T" – método SINTACS*



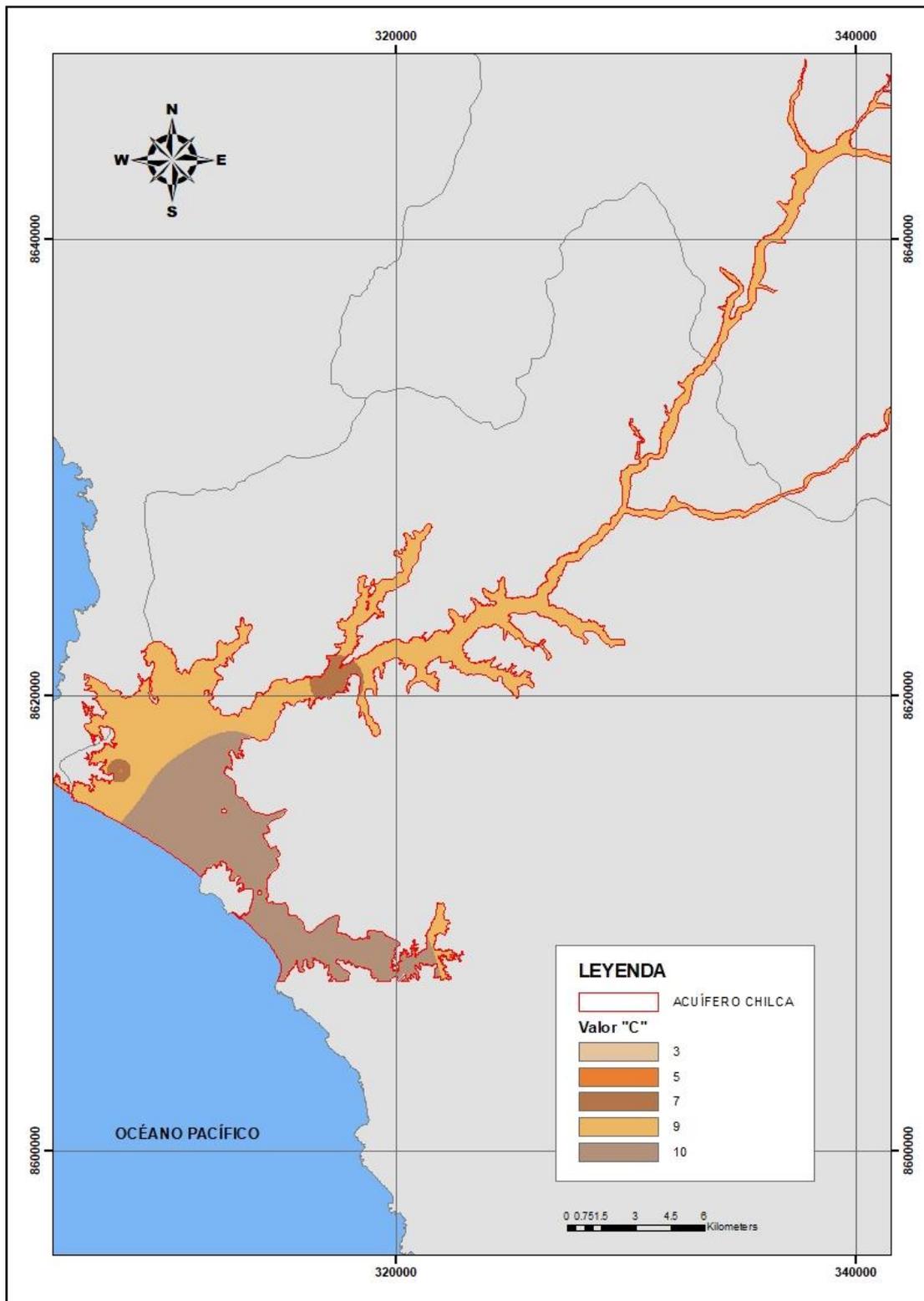
**Figura 38: Valores de “Tw” – método SINTACS**



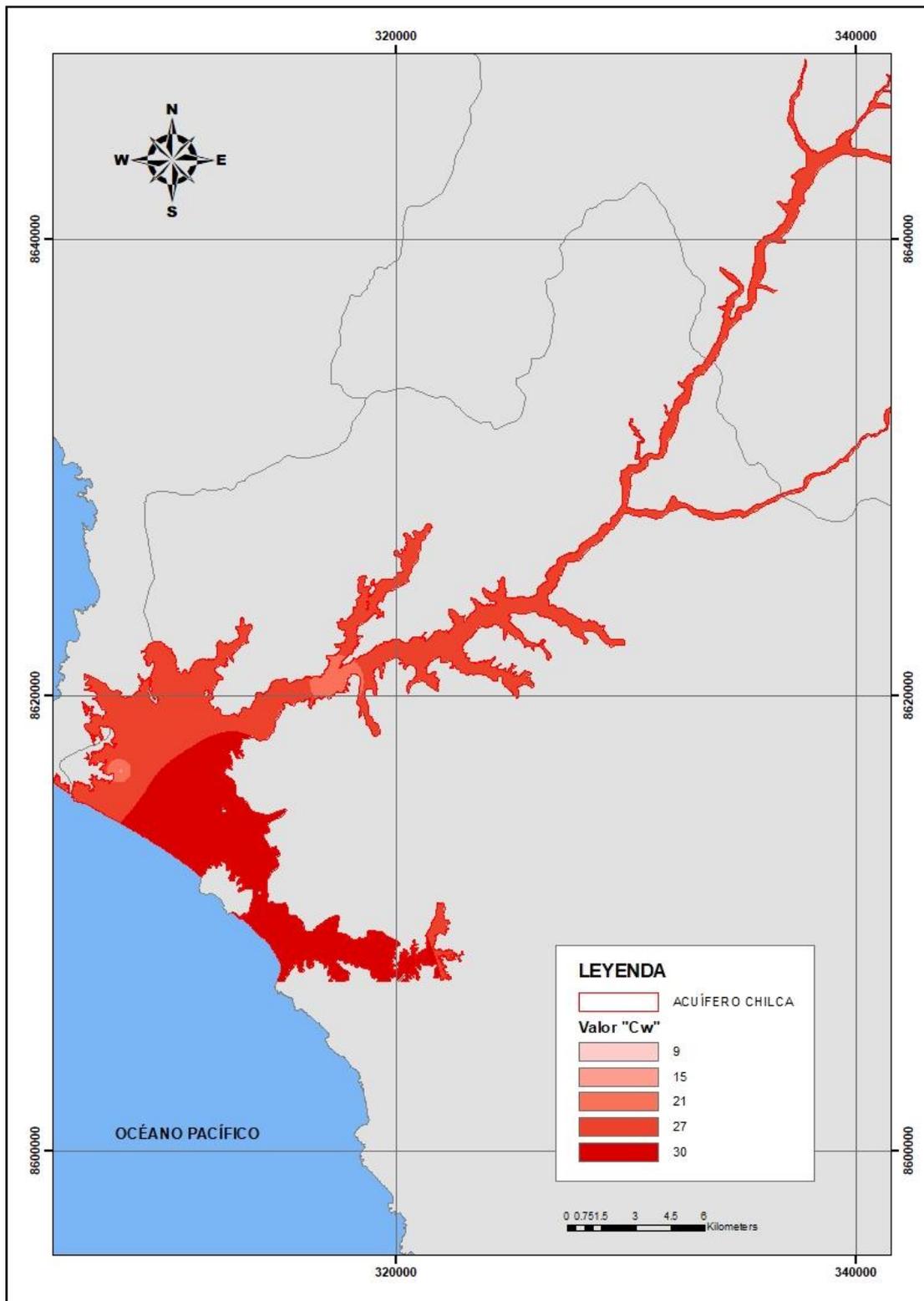
**Figura 39: Valores de “A” – método SINTACS**



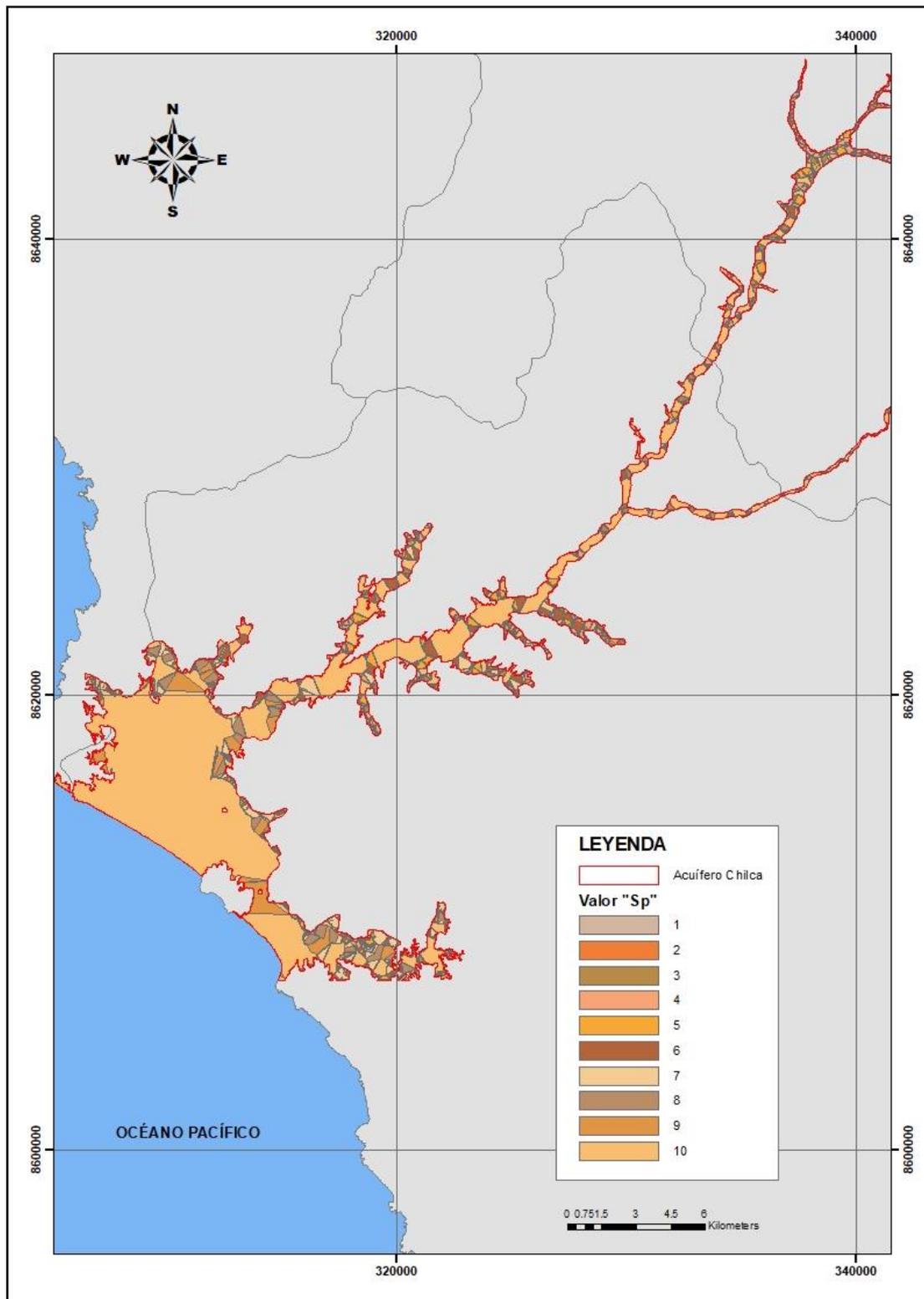
**Figura 40: Valores de “Aw” – método SINTACS**



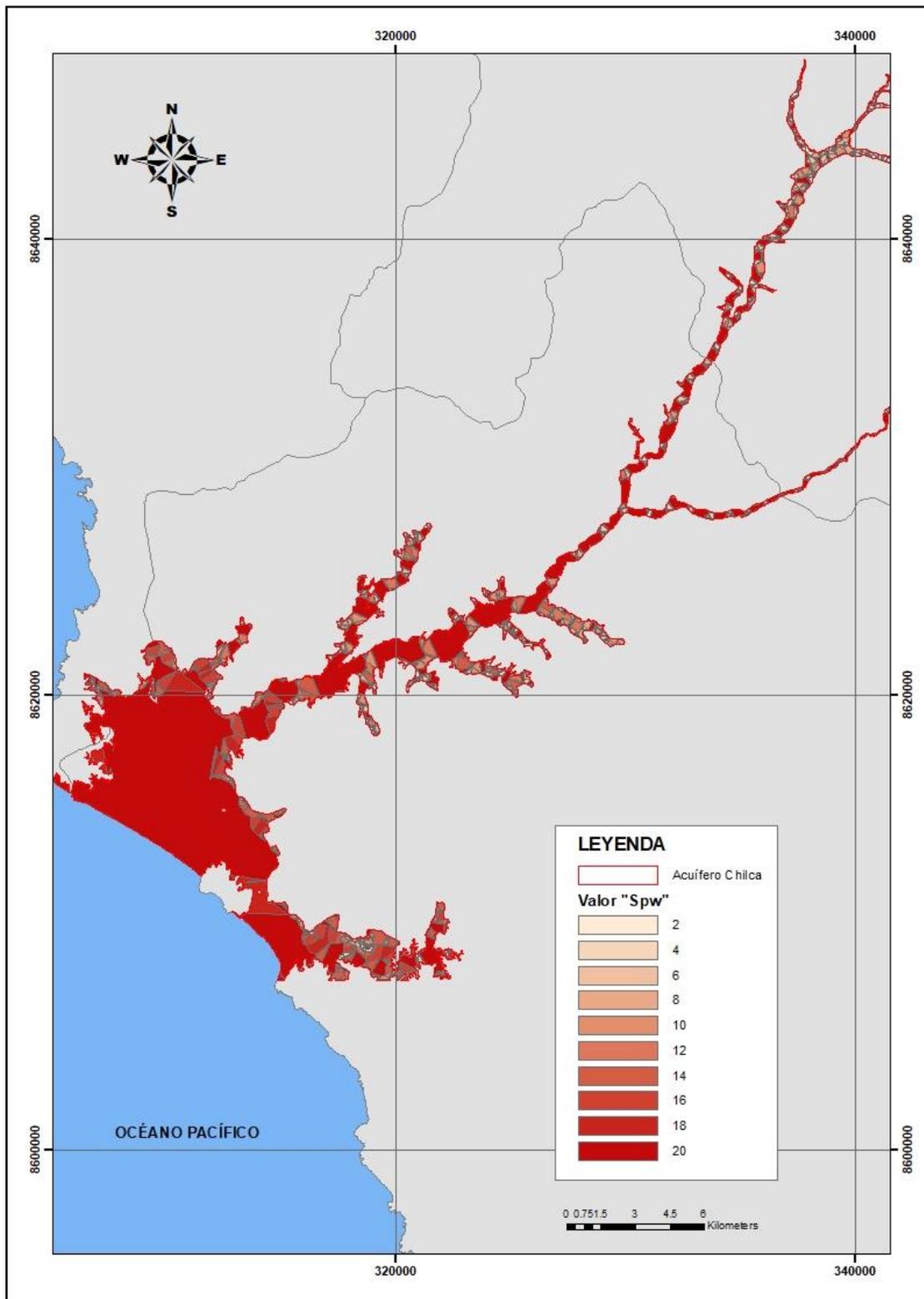
**Figura 41: Valores de “C” – método SINTACS**



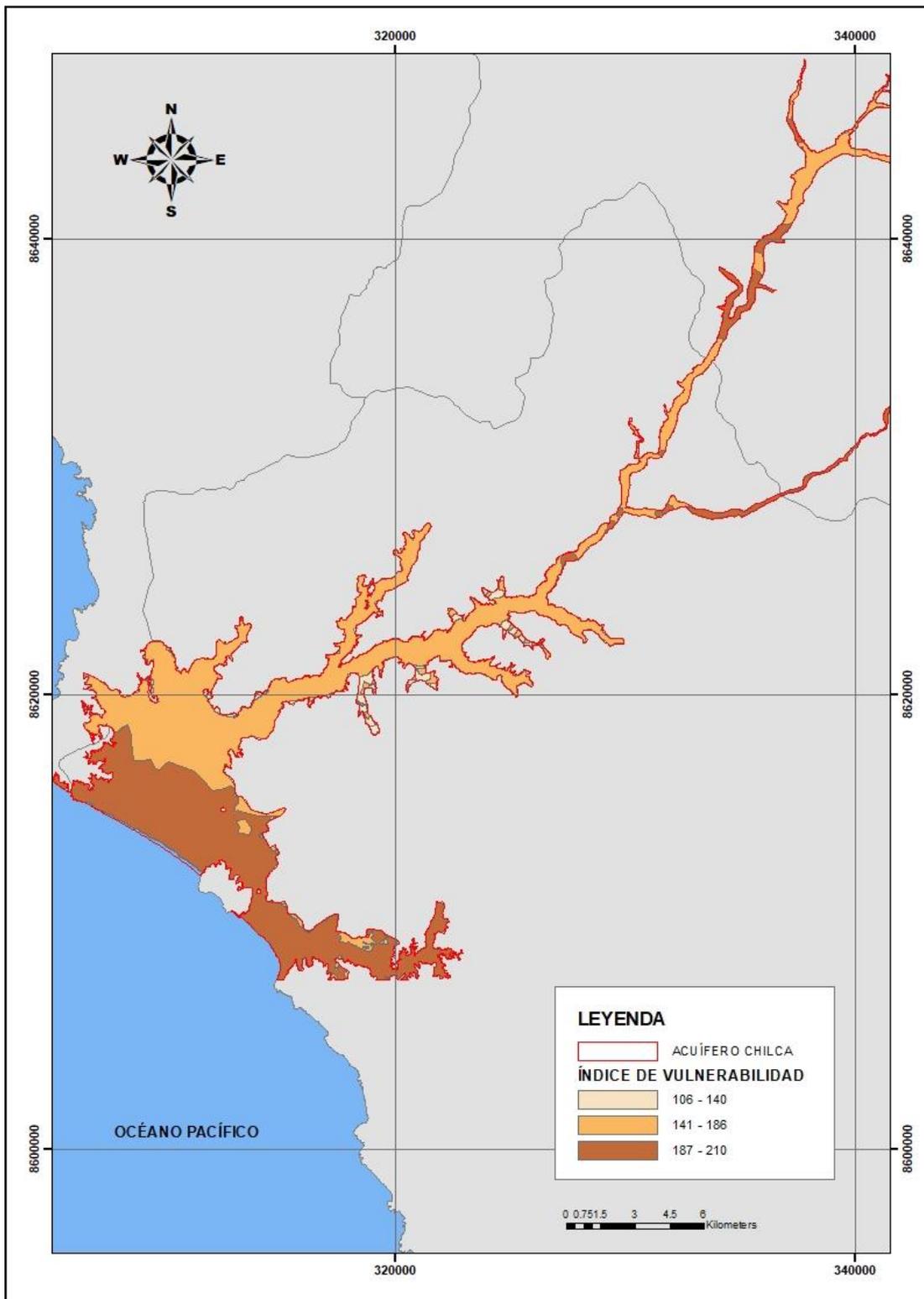
**Figura 42: Valores de “Cw” – método SINTACS**



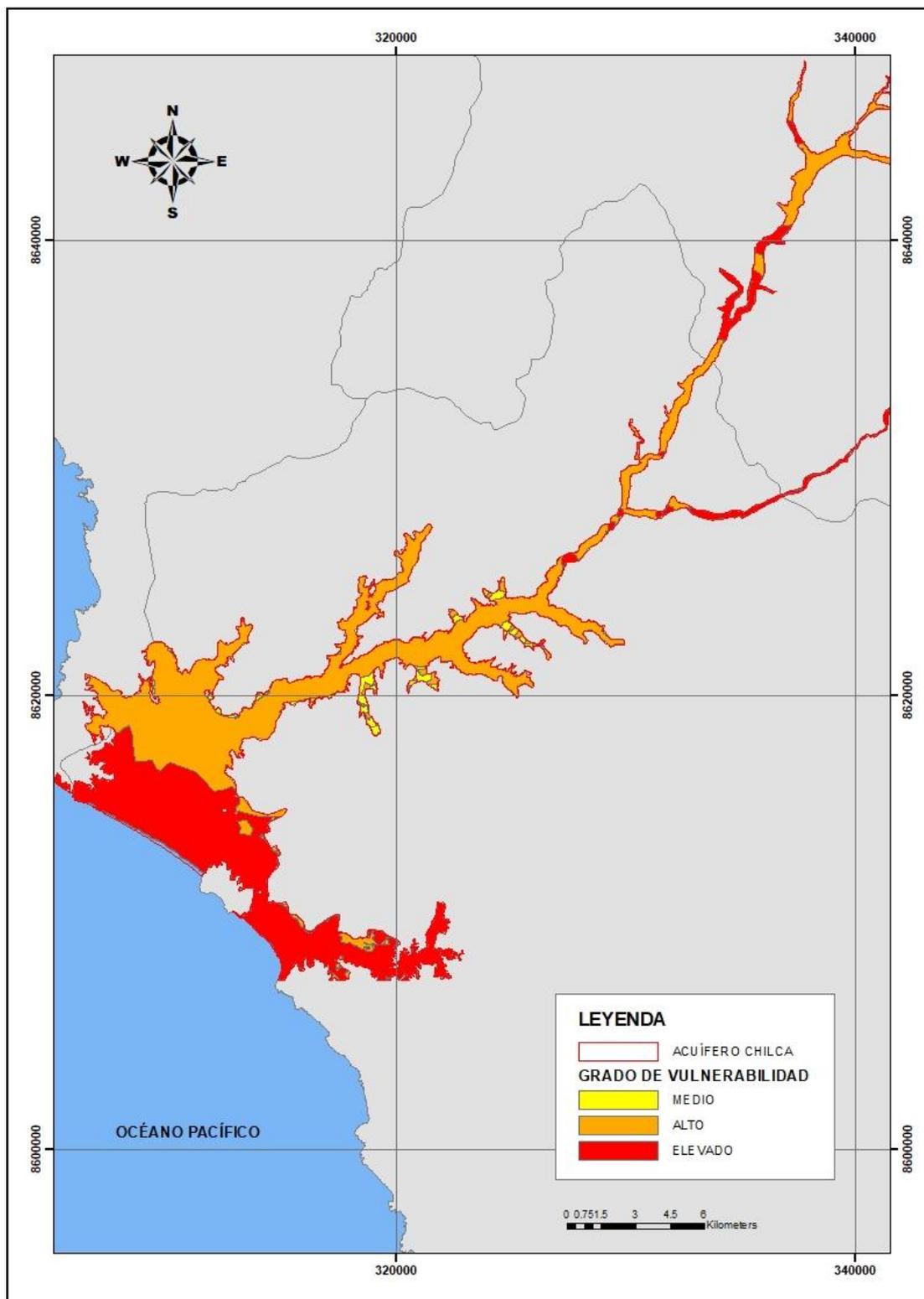
**Figura 43: Valores de "Sp" – método SINTACS**



**Figura 44: Valores de “Spw” – método SINTACS**



**Figura 45: Índice de vulnerabilidad – método SINTACS**



**Figura 46: Grado de vulnerabilidad – método SINTACS**

#### **4.4. Discusión de resultados**

En el método GOD, la variación del grado de vulnerabilidad estuvo condicionado por el parámetro del nivel estático, dado que los otros dos parámetros que se utilizan en este método se mantienen uniformes a lo largo de la zona de estudio.

Los métodos DRASTIC y SINTACS presentan parámetros similares pero sus resultados varían un poco, debido a que el método SINTACS los analiza a más detalle al momento de evaluarlos y darles su valor, como en los parámetros del nivel estático, la recarga neta del acuífero y la conductividad hidráulica, mientras que los demás parámetros se mantuvieron con el mismo valor en ambos métodos.

Teniendo en cuenta los resultados de las tres metodologías usadas con la clasificación del agua para riego por su conductividad eléctrica, se puede concluir que el agua subterránea es inadecuada para el riego en la zona del litoral y que a su vez es la de más alta vulnerabilidad a contaminarse, mientras que el agua de los pozos que es permisible y buena están en zonas donde la vulnerabilidad más representativa es la media.

Las fuentes potenciales de contaminación según la metodología GOD, la laguna de oxidación se ubica en una zona de alta vulnerabilidad, mientras que el resto se ubica en una zona de media vulnerabilidad; según la metodología DRASTIC, la laguna de oxidación se ubica en la zona de muy alta vulnerabilidad y el resto se ubican en zonas de moderada vulnerabilidad; según la metodología SINTACS, la laguna de oxidación se encuentra en una zona de elevada o muy alta vulnerabilidad, mientras el resto se ubica en zonas de alta vulnerabilidad.

#### **4.5. Análisis comparativo de resultados**

En la Tabla 23 se muestran los grados de vulnerabilidad, el área que ocupan dentro del acuífero y el porcentaje que representan.

El resultado del método GOD, fue muy sencillo para identificar el grado de vulnerabilidad en el acuífero Chilca, en comparación a los métodos DRASTIC y SINTACS, puesto que en éstos se usaron más parámetros, por lo que se convirtieron en los resultados más confiables y cercanos a la realidad.

**Tabla 23: Resumen de áreas de grados de vulnerabilidad**

Grado de vulnerabilidad	Método GOD		Método DRASTIC		Método SINTACS	
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)	(Km <sup>2</sup> )	(%)
Muy Bajo	0,00	0,00	1,91	1,77	0,00	0,00
Bajo	0,00	0,00	13,59	12,60	0,00	0,00
Medio / moderado	52,69	48,87	29,81	27,64	2,58	2,39
Alto	55,12	51,13	20,65	19,15	59,43	55,13
Elevado o muy alto	0,00	0,00	41,85	38,80	45,80	42,48
Extremo	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,00

Comparando los resultados obtenidos con información del 2019 (Tabla 23) y del 2015 (Tabla 38), con el método DRASTIC, se observa la existencia de una pequeña área de 0,04 por ciento de todo el acuífero con una vulnerabilidad extrema y un área de 14,37 por ciento de vulnerabilidad baja y muy baja, también se ve un incremento de 22,43 por ciento en el área de vulnerabilidad muy alta, mientras que desciende en un 12,46 por ciento del área de vulnerabilidad alta, y un 21,42 por ciento del área de vulnerabilidad moderada.

Comparando los resultados obtenidos con información del 2019 (Tabla 23) y del 2015 (Tabla 38), con el método GOD se obtiene un incremento de 10,99 por ciento en el área con vulnerabilidad moderada, por lo que se ve reducido el área de vulnerabilidad alta.

Comparando los resultados obtenidos con la información del 2019 (Tabla 23) y del 2015 (Tabla 38), con el método SINTACS se observa que ya no existe un área con baja, también se ve un descenso de 28,08 por ciento en el área de vulnerabilidad moderada, mientras que hubo un incremento de 5,61 por ciento del área de vulnerabilidad alta, y un 24,10 por ciento del área de vulnerabilidad muy alta o elevada.

## V. CONCLUSIONES

1. La aplicación del método GOD muestra que el 48,87 por ciento del área de estudio tiene un grado de vulnerabilidad moderada; mientras que, el 51,13 por ciento, es alta.
2. Con la aplicación del método DRASTIC se obtuvo que, en el 1,77 por ciento del acuífero, el grado de vulnerabilidad es muy baja; en el 12,60 por ciento, baja; en el 27,64 por ciento, moderada; mientras que, en el 19,15 por ciento, alta; en el 38,80 por ciento, elevada o muy alta; y, en el área restante, el grado de vulnerabilidad es extrema con un 0,04 por ciento.
3. La aplicación del método SINTACS permitió establecer que, el 2,39 por ciento del área de estudio presenta un grado de vulnerabilidad moderada; mientras que, el 55,13 por ciento, alta; y, el 42,48 por ciento, elevada o muy alta.
4. Con los tres métodos, el grado de vulnerabilidad alta y muy alta, se encuentra en la zona baja del acuífero de Chilca, abarcando la mayor área de éste, mientras se va reduciendo el grado de vulnerabilidad en la zona media del acuífero.
5. Las fuentes potenciales de contaminación del acuífero Chilca se encuentran en zonas con grado de muy alta, alta y media vulnerabilidad.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Haciendo uso de los resultados, mapa de vulnerabilidad, pueden servir como base para generar proyectos de zonificación ecológica y económica, con el fin de planificar la ubicación de las diferentes zonas de vida, para el mejoramiento del acuífero y la calidad de agua.
2. El acuífero Chilca al ser un acuífero libre y estar compuesto en gran parte por depósitos aluviales, es propenso a la infiltración de agentes contaminantes, y dado que en la cuenca de Chilca presenta una laguna de oxidación con presencia de desechos tóxicos, también fábricas de baterías que son potenciales contaminantes de plomo. Se recomienda revisar si el agua que liberan está dentro de los límites máximos permisibles de los estándares de calidad del agua y fiscalizar el buen funcionamiento de las PTAR de las fábricas.
3. Concientizar a la población sobre la correcta gestión de los residuos sólidos, que se disponen, por lo general, en el lecho de los ríos, constituyendo potenciales focos de contaminación del acuífero.
4. Registrar y fiscalizar el uso de agua subterránea, ya que en la actualidad existen usuarios con pozos sin permiso de extracción, que generan el problema de sobreexplotación del acuífero de Chilca.
5. Evaluar los estudios de impacto ambiental de las fábricas ubicadas en el valle de Chilca que pueden ser fuentes potenciales de contaminación.
6. Realizar una evaluación de las aguas residuales de las lagunas de oxidación.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aller, L.; Bennett, T.; Lehr, J.H.; Petty, R.J. & Hackett, G. (1987). Drastic: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. EPA (Environmental Protection agency). Ada.  
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/20007KU4.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986%20Thru%201990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C86THRU90%5CTXT%5C00000001%5C20007KU4.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=641&ZyEntry=1>.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). (2009). Diagnóstico situacional de recarga de acuíferos. Lima, Perú.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). (2015). Estudio de evaluación de la veda del acuífero Chilca. Lima, Perú.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). (2019). Estudio hidrogeológico del acuífero Chilca. Lima, Perú.
- Arocha, R. (1980). Abastecimiento de agua (teoría y diseño). Editorial Vegas. 284 pp.
- Auge, M. (2004). Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y métodos. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de [http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo\\_bkp/gaye/archivos\\_pdf/VulnerabilidadConceptos.pdf](http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geo_bkp/gaye/archivos_pdf/VulnerabilidadConceptos.pdf).

- Auge, M. (2008). Hidrogeología ambiental. Universidad de Buenos Aires.  
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/HidroGeoAmb.pdf>.
- Baez, V.A. (2001). Validación de mapas de vulnerabilidad en medios urbanos. Universidad Nacional Autónoma de México.  
<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/baez.html>.
- Balairon, L. (2000). Gestión de recursos hídricos. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Bessouat, C.; Castagnino, G.; De los Santos, J. & Robano, M. (2001). Vulnerabilidad de un acuífero somero en medio poroso. Ponencia del taller: protección de acuíferos frente a la contaminación metodológica.  
<http://tierra.rediris.es/hidrored/>
- Buckalew, J.; Reed, P.; Scott, L.; James, M. (1998). Evaluación de los recursos de agua del Ecuador. Centro de Ingeniería y Topografía, Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. p. 90.
- Burrough, P. A. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press.
- Carrillo, V. (2015). Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero del municipio San Diego, estado de Carabobo. Tesis Mg. Universidad de Carabobo.  
<http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/2420/1/vcarrillo.pdf>
- Castany, G. (1971). Tratado práctico de las aguas subterráneas. Ediciones Omega. p. 347-348.
- Cerros, G. (2007). Un enfoque de gestión ambiental del recurso hídrico desde la perspectiva de la vulnerabilidad de acuíferos. Antiguo Cuscatlán, El Salvador.
- Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP S.A.
- Civita, M.; Chiappone, A. y Falco, M. (1990). E P: Jarre. Preparazione della carta di vulnerabilita per la rilocalizzazione di un limpianto pozzi dell aquedotto di Torino. Proc. 1st. Marano sul Parnano.
- Civita, M. y De Maio, M. (1997). SINTACS Un Sistema Paramétrico per la Valutazione e la Cartografia della Vulnerabilita Degli Acquiferi A Winquinamento, Metodología & Mutomatizzazione e Pitagora Editrice Bologna pp 191.
- Civita, M. y De Maio, M. (2000). SINTACS R5 Valutacione e cartografica automatida della vulnerabilita delic acquiferi all inquinamiento con il sistema paramétrico. 266 pp.
- Coello, X. y Galárraga, R. (2002). Análisis comparativo de la vulnerabilidad del acuífero norte de Quito. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas.

- Cotrina, G.; Olarte, Y.; Peña, F.; Vargas, V.; Sánchez, M. y Pari, W. (2009). Hidrogeología de la cuenca del Río Locumba. INGEMMET. (Serie H. Hidrogeología). N° 2.  
<http://es.calameo.com/read/000820129ba2d82f30d1f>.
- Custodio, E. (1995). Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución. II Seminario hispano-argentino sobre temas actuales de hidrología subterránea. Serie correlación geológica N° 11: 99-122.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (2001). Hidrología subterránea. 2ª Edición. Ediciones Omega S.A.
- Davis, M. (2005). Ingeniería y ciencias ambientales. 1a Edición. Editorial McGraw Hill / Interamericana de México.
- Duque, G. (1995). Manual de geología para ingenieros. Capítulo 18. Aguas subterráneas, (pp. 399-424). Universidad Nacional de Colombia.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). (1991a). Evaluación de la vulnerabilidad.  
<http://www.fing.edu.uy/proyin/cvraigon/cap6.html>
- EPA (Environmental Protection Agency, US). (1991b). A review of methods for assessing the sensivity of aquifers to pesticide contamination. Preliminary document: p. 1-21.
- Escobar, M., García, J. y Guerrero, T. (2002). Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas aplicada en el Valle de Zapotitán. Antiguo Cuscatlan, El Salvador.
- Espinoza, C. (2002). Análisis comparativo de técnicas de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos. II Seminario-taller. protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación.
- Estrada, F. (2013). Aplicación del método SINTACS para la determinación de la vulnerabilidad acuífera en la cuenca del río Duero, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29,4.
- EVREN (Evaluación de Recursos Naturales S.A.). (1998). Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades urbanísticas en la comunidad valenciana. Conselleria d'Obres Públiques Urbanisme i Transports.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Santiago de Chile, Chile.
- Felicísimo, A. (1994). Modelos digitales de terreno: introducción y aplicación en las ciencias ambientales. Pentalfa.  
<http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>

- Foster, S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Committee on Hydrological Research Proceeding and Information, Netherlands. p. 69-86.
- Foster, S. y Hirata, R. (1991). Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: pp. 1 -1.
- Fuentes, J. (1992). Aguas subterráneas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación de España.  
[http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1992\\_01.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_01.pdf)
- González, L. N., González, A. y Mardones, M. (2003). Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile. Rev. Geol. Chile. p 3-22.
- Gutiérrez, G. y Arroyo, J. (2004). Determinación de la vulnerabilidad del acuífero del municipio de Santiago de Tolu a la contaminación por saneamiento in situ. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Sucre.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales, PE). (1995). Guía explicativa del mapa ecológico del Perú. Lima, Perú.  
<http://es.scribd.com/doc/32987194/INRENA-mapa-ecologico>
- Master, G. y Ela, W. (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental. Editorial Pearson Prentice Hall. 3ª Edición.
- Mijailov, L. (1985). Hidrogeología. Editorial Mir. Moscú. 285 p.
- Montaño, J. (2004), Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación. *Revista Latino Americana de Hidrogeología*, 1, 35-45.
- Ordoñez, G. (2011a). Cartilla técnica: Ciclo hidrológico. Sociedad Geográfica de Lima.
- Ordoñez, G. (2011b). Cartilla técnica: Aguas subterráneas – acuíferos. Sociedad Geográfica de Lima.
- Palomino, S. (2012). Análisis de riesgo de contaminación de las aguas subterráneas del acuífero Aguascocha. Tesis para la obtención del título de Ingeniería Sanitaria. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ramos, C. (2004). Propuesta de asignaciones de agua en bloque – volúmenes anuales y mensuales, para la formalización de los derechos de uso de agua. Programa de Formalización de Derechos de Uso de Agua (PROFODUA).
- Ribeiro, L.; Pindo, J. & Domínguez, G. (2017). Assessment of groundwater vulnerability in the Daule aquifer, Ecuador, using the susceptibility index method. *Science of The Total Environment*, 574, 1674-1683.

- Sarria, F. (2006). Sistema de información geográfica. Universidad de Murcia.  
<http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Serrano, H. (2013). Caso Chevron-Texaco cuando los pueblos toman la palabra (p.118).  
Corporación editora nacional.
- Stanley, D. (1971). Hidrogeología. (2da Ed.). Ed. Ariel.
- Tarbuck, E.J. y Lutgens, F.K. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. 8va Edición. Pearson Educación S.A.
- USGS (United States Geological Survey. Groundwater, US). (1982). Acuíferos subterráneos.  
<https://water.usgs.gov/gotita/earthgwaquifer.html>
- Valcarce, R. (1999). Geofísica de pozos y diagnosis matemática en el estudio de la vulnerabilidad de acuíferos. In: IV Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Recuperado de  
[http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg\\_13/44\\_valcarce.htm](http://www.insugeo.org.ar/publicaciones/docs/scg_13/44_valcarce.htm)
- Valcarce, R. y Rodríguez, W. (2004). Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en los acuíferos cubanos. In: IV Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: Protección de la calidad del agua.
- Vélez, M. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas. 2a ed. Universidad Nacional de Colombia.  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/4993/>
- Vrba, J. y Zaporozec, A. (1994). Guidebook on zapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology (IAH) (p. 131). Heise Publication.
- Werner, J. (1996). Introducción a la hidrogeología. Universidad Autónoma de Nuevo León.  
<http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1080066373/1080066373.pdf>
- Zwahlen, F. (2003). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, acope, goal, results. European Commission, COST Action 620.  
[http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/F+E/Cost620/cost620\\_fb\\_02\\_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=1](http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Wasser/Projekte/abgeschlossen/F+E/Cost620/cost620_fb_02_pdf.pdf?blob=publicationFile&v=1).

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1: Datos hidrogeológicos

**Tabla 24: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Chilca (2019)**

<b>Código IRHS</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Cota (m.s.n.m.)</b>	<b>Nivel estático (m)</b>	<b>CE (mmhos/cm)</b>	<b>pH</b>
001	312 690	8 613 149	12,00	2,04	9,57	7,56
002	312 570	8 613 186	8,00	1,10	5,50	7,76
003	312 707	8 613 226	11,00	1,89	9,36	7,74
004	312 641	8 613 364	14,00	2,02	3,88	7,62
005	312 575	8 613 480	11,00	2,26	3,64	7,70
006	312 468	8 613 506	11,00	3,30	5,04	7,66
007	312 502	8 613 553	12,00	2,44	7,67	7,75
008	312 476	8 613 612	13,00	2,35	1,77	7,30
009	312 309	8 613 615	15,00	2,04	3,16	7,29
010	312 404	8 613 731	9,00	3,91	3,50	7,14
011	312 452	8 613 712	9,00	2,47	1,40	7,28
012	312 358	8 613 844	16,00	2,71	7,58	7,67
013	312 446	8 613 996	10,00	2,15	2,31	7,17
014	312 393	8 614 032	10,00	3,55	2,28	7,16
015	312 370	8 614 046	11,00	5,42	5,20	7,09
016	312 309	8 614 085	12,00	5,20	5,46	7,01
017	312 245	8 614 004	15,00	3,63	3,00	7,24
018	312 243	8 613 948	14,00	4,28	5,64	7,12
020	312 293	8 613 769	11,00	2,68	3,40	7,54
021	312 293	8 613 915	15,00	2,36	6,92	7,52
022	312 164	8 614 109	11,00	4,05	3,29	7,20
023	312 157	8 614 084	11,00	5,50	2,45	7,20
024	312 100	8 614 153	11,00	2,70	2,92	6,94
025	312 067	8 614 223	15,00	3,98	10,40	7,00
026	312 029	8 614 197	13,00	2,40	5,05	7,40
027	312 174	8 614 210	17,00	3,70	7,04	6,67
028	312 616	8 613 688	10,00	1,20	1,86	8,40
029	312 191	8 614 268	13,00	4,46	7,42	7,85
031	312 060	8 614 017	14,00	2,70	1,14	7,37
032	312 029	8 614 103	13,00	2,33	1,30	7,07
033	311 985	8 614 130	13,00	3,52	2,33	7,16

«Continuación»

035	312 141	8 614 204	18,00	5,79	4,62	8,00
036	312 240	8 614 188	18,00	4,45	4,54	6,71
037	312 107	8 614 288	17,00	2,64	8,28	6,66
038	312 157	8 614 355	11,00	3,51	3,07	7,46
039	312 068	8 614 337	15,00	2,72	5,31	7,61
040	312 128	8 614 434	16,00	2,68	4,68	6,80
041	312 136	8 614 523	13,00	3,66	3,96	6,88
042	312 156	8 614 545	16,00	4,36	5,70	7,04
043	312 185	8 614 540	14,00	3,51	5,31	7,61
044	312 190	8 614 547	12,00	2,93	10,55	7,23
045	312 227	8 614 523	12,00	4,03	4,98	7,24
046	312 301	8 614 464	14,00	3,33	3,74	6,92
047	312 192	8 614 484	15,00	3,49	6,24	6,98
048	312 126	8 614 511	16,00	3,71	3,94	7,10
049	312 034	8 614 463	17,00	3,86	3,56	6,70
050	312 061	8 614 527	14,00	3,76	6,72	6,81
051	311 991	8 614 573	18,00	3,00	7,56	6,56
053	311 915	8 614 556	10,00	3,00	8,68	6,74
054	311 944	8 614 499	12,00	3,03	12,80	6,82
055	311 997	8 614 436	18,00	3,14	6,16	6,45
056	312 050	8 614 389	12,00	2,98	4,93	7,36
057	312 007	8 614 354	12,00	3,09	3,92	6,82
058	311 948	8 614 409	16,00	2,69	6,03	6,76
059	311 898	8 614 493	15,00	3,22	7,49	6,48
060	312 019	8 614 262	11,00	2,71	7,33	6,93
061	312 047	8 614 287	12,00	3,49	7,50	7,20
062	311 977	8 614 213	12,00	3,19	2,36	6,81
063	311 896	8 614 096	12,00	2,72	3,38	7,40
064	311 957	8 614 050	12,00	2,63	2,11	7,21
065	311 880	8 613 953	12,00	2,66	1,17	7,34
066	311 827	8 613 979	11,00	2,81	1,24	7,26
067	311 807	8 614 012	13,00	2,62	1,28	7,24
069	311 893	8 614 142	16,00	3,64	2,31	7,21
070	311 827	8 614 198	14,00	3,38	5,43	7,20
071	311 759	8 614 065	13,00	4,09	2,18	7,12
072	311 680	8 614 188	14,00	3,27	10,10	7,00
073	311 671	8 614 212	13,00	3,45	20,00	7,13
074	311 652	8 614 193	12,00	3,70	4,52	7,58
075	311 614	8 614 231	14,00	3,86	2,66	7,52
076	311 521	8 614 301	16,00	4,35	4,18	7,45
077	311 454	8 614 247	12,00	3,22	2,29	7,46
079	311 487	8 614 182	12,00	2,82	3,58	7,38

«Continuación»

080	311 578	8 614 396	15,00	4,97	12,10	7,50
081	311 656	8 614 456	17,00	2,43	11,60	6,65
082	311 708	8 614 500	17,00	2,85	10,80	6,70
083	311 789	8 614 454	17,00	3,39	9,77	6,55
085	311 668	8 614 303	14,00	3,00	9,10	6,69
086	311 900	8 614 277	15,00	2,75	2,92	7,06
087	311 872	8 614 313	15,00	2,67	9,14	6,71
088	311 908	8 614 351	19,00	3,17	9,52	6,74
089	311 891	8 614 391	14,00	2,82	10,38	6,57
090	311 834	8 614 300	13,00	4,08	3,49	7,30
091	311 691	8 614 526	13,00	3,34	9,36	7,51
092	311 801	8 614 494	18,00	3,32	10,68	6,76
093	311 831	8 614 529	16,00	3,64	9,10	6,61
094	311 852	8 614 482	13,00	3,63	8,56	7,39
095	311 874	8 614 447	13,00	3,10	9,05	7,58
096	311 846	8 614 573	14,00	4,16	10,51	7,36
097	311 814	8 614 585	13,00	3,87	11,10	6,75
098	311 743	8 614 581	15,00	3,05	11,28	6,51
100	311 627	8 614 600	15,00	2,67	8,60	7,40
102	311 617	8 614 696	15,00	2,86	12,18	7,15
103	311 576	8 614 717	11,00	3,04	10,34	7,23
104	311 542	8 614 721	12,00	3,33	20,00	7,23
105	311 542	8 614 721	12,00	3,28	11,55	7,49
106	311 431	8 614 680	12,00	3,60	11,25	7,39
107	311 428	8 614 735	12,00	2,79	8,89	7,48
109	311 365	8 614 665	12,00	4,21	12,46	7,44
110	311 422	8 614 594	15,00	3,80	10,55	7,23
111	311 561	8 614 520	15,00	3,76	12,98	7,02
113	311 444	8 614 429	15,00	4,17	5,87	7,59
114	311 391	8 614 545	15,00	4,40	3,58	7,53
115	311 258	8 614 601	16,00	4,69	6,72	6,64
116	311 272	8 614 685	19,00	4,68	11,26	6,06
117	311 687	8 614 680	17,00	3,65	10,38	6,42
118	311 736	8 614 692	13,00	3,21	8,62	7,26
119	311 745	8 614 664	18,00	3,30	15,20	6,43
120	311 730	8 614 607	16,00	4,23	10,34	6,40
121	311 773	8 614 646	11,00	3,94	9,44	8,14
122	311 739	8 614 737	20,00	4,13	8,62	6,39
123	311 692	8 614 776	15,00	8,58	11,08	7,34
124	311 672	8 614 726	16,00	1,95	12,38	7,00
125	311 598	8 614 782	17,00	7,54	8,25	7,10
128	311 539	8 614 772	15,00	3,16	10,10	6,93

«Continuación»

129	311 520	8 614 786	13,00	4,70	3,94	7,33
130	311 548	8 614 820	13,00	3,63	5,64	6,82
131	311 491	8 614 804	13,00	3,57	6,25	7,39
133	311 348	8 614 423	17,00	3,34	4,82	7,46
134	311 411	8 614 379	14,00	4,76	5,62	7,43
135	311 587	8 614 848	14,00	6,18	4,74	9,26
136	311 614	8 614 851	12,00	4,43	6,70	7,03
137	311 699	8 614 836	22,00	5,25	5,87	7,58
138	311 744	8 614 821	17,00	4,23	7,20	6,57
139	311 798	8 614 821	17,00	3,61	8,62	6,45
140	311 784	8 614 793	14,00	2,08	7,62	6,48
141	311 805	8 614 733	12,00	4,31	8,07	7,50
142	311 804	8 614 695	13,00	4,03	7,90	7,64
143	311 840	8 614 639	16,00	3,10	8,37	6,83
144	311 916	8 614 661	15,00	3,25	9,57	6,74
145	311 900	8 614 780	16,00	4,41	5,37	6,54
146	311 839	8 614 804	17,00	4,70	9,00	6,40
147	311 851	8 614 849	15,00	4,52	3,16	6,94
148	311 914	8 614 853	17,00	7,67	2,48	6,82
149	312 009	8 614 771	19,00	4,15	8,38	6,89
150	312 013	8 614 713	15,00	4,39	7,26	6,78
152	311 986	8 614 646	17,00	3,85	8,30	6,82
153	312 019	8 614 638	16,00	3,06	8,96	6,72
154	312 082	8 614 594	14,00	3,30	5,62	7,43
155	312 085	8 614 609	16,00	4,30	5,20	7,02
156	312 118	8 614 621	11,00	2,56	8,98	6,65
157	312 139	8 614 611	15,00	3,56	4,98	6,92
158	312 185	8 614 595	16,00	2,57	4,20	6,92
159	312 145	8 614 676	15,00	4,59	5,10	7,02
160	312 197	8 614 626	17,00	3,00	5,18	7,04
161	312 228	8 614 589	15,00	5,02	6,32	7,04
162	312 285	8 614 417	14,00	3,09	7,88	6,90
163	312 200	8 614 386	10,00	4,10	3,30	8,05
164	312 218	8 614 332	14,00	3,11	14,72	6,82
165	312 271	8 614 311	15,00	3,33	6,78	7,62
166	312 340	8 614 222	14,00	3,46	7,80	7,35
167	312 316	8 614 354	18,00	2,89	5,86	6,72
168	312 358	8 614 329	15,00	4,10	2,74	7,54
169	312 689	8 613 504	9,00	4,16	8,90	7,50
172	311 324	8 614 366	12,00	2,83	4,85	7,41
173	311 357	8 614 297	12,00	4,28	2,58	7,31
174	311 346	8 614 093	14,00	3,35	3,20	7,69

«Continuación»

175	311 392	8 614 073	12,00	2,13	1,46	7,64
176	311 448	8 614 099	10,00	4,20	1,51	7,96
177	311 366	8 614 189	11,00	3,04	1,53	7,17
178	311 294	8 614 256	12,00	2,99	3,03	7,53
179	311 236	8 614 319	12,00	3,06	6,63	7,43
180	311 284	8 614 146	15,00	2,81	3,61	7,54
181	311 110	8 614 237	15,00	4,29	5,62	7,46
182	311 045	8 614 210	11,00	3,73	4,26	7,45
183	311 008	8 614 076	13,00	3,79	2,95	7,58
184	310 923	8 614 067	13,00	3,07	5,38	7,61
185	310 959	8 614 280	18,00	3,95	4,22	7,52
186	311 031	8 614 241	16,00	2,61	4,47	7,62
187	310 822	8 614 252	14,00	4,06	4,77	7,46
188	310 647	8 614 284	16,00	2,94	4,26	7,73
189	310 674	8 614 212	19,00	2,80	3,64	8,06
190	310 640	8 614 203	15,00	2,34	5,12	8,08
191	310 468	8 614 149	14,00	2,78	4,09	7,77
192	310 373	8 614 143	12,00	2,83	4,71	7,70
194	310 490	8 614 318	14,00	2,83	5,78	7,86
197	310 613	8 614 407	15,00	5,26	6,38	7,93
198	310 693	8 614 403	16,00	4,81	5,52	7,78
199	310 827	8 614 330	16,00	2,57	4,48	7,40
200	310 824	8 614 400	16,00	4,83	5,24	7,50
201	311 033	8 614 388	10,00	4,03	2,47	7,20
202	311 026	8 614 463	16,00	2,32	5,94	6,54
203	310 959	8 614 465	15,00	3,02	5,24	7,68
204	310 820	8 614 596	15,00	3,38	6,83	7,40
205	310 784	8 614 557	17,00	3,55	6,96	7,51
206	310 890	8 614 575	17,00	3,96	5,80	7,50
207	311 026	8 614 512	15,00	3,87	6,64	6,58
208	311 083	8 614 541	19,00	4,23	4,90	7,68
209	311 194	8 614 450	15,00	4,37	6,87	7,45
211	311 157	8 614 629	13,00	5,60	7,56	7,47
212	310 995	8 614 619	18,00	4,67	7,51	7,62
213	310 951	8 614 604	16,00	4,20	9,16	7,98
215	310 850	8 614 711	14,00	5,53	6,25	7,82
216	310 745	8 614 692	16,00	4,89	6,73	7,52
218	311 015	8 614 760	16,00	3,91	5,26	6,61
219	310 808	8 614 852	18,00	6,27	11,46	7,10
220	310 813	8 614 960	14,00	6,33	8,00	7,65
221	310 854	8 615 018	20,00	6,42	8,98	7,29
222	310 884	8 615 030	17,00	6,99	6,88	7,30

«Continuación»

224	311 035	8 614 996	16,00	6,27	8,27	9,09
225	311 072	8 615 020	12,00	4,93	5,23	6,90
227	311 184	8 614 966	18,00	4,83	6,40	7,30
228	311 157	8 614 822	19,00	6,15	8,46	7,43
229	310 950	8 614 918	16,00	6,24	5,54	7,66
230	311 147	8 614 781	16,00	5,31	9,32	6,90
231	311 229	8 614 759	20,00	4,70	13,88	7,32
232	311 337	8 614 868	22,00	8,84	12,14	7,11
233	311 231	8 615 034	20,00	6,05	7,97	7,41
234	311 078	8 615 165	20,00	7,04	7,32	6,58
235	311 030	8 615 177	19,00	7,80	6,30	6,30
238	310 202	8 614 407	15,00	5,69	8,00	7,35
239	310 129	8 614 345	17,00	5,51	7,88	7,58
241	310 071	8 614 238	18,00	4,00	4,68	7,84
243	310 031	8 614 020	16,00	3,45	14,18	7,78
245	310 330	8 614 489	20,00	5,88	9,50	7,60
246	310 399	8 614 497	16,00	5,26	10,86	7,47
248	310 622	8 614 500	19,00	4,86	7,00	7,13
249	310 490	8 614 550	15,00	5,82	7,48	7,69
250	310 389	8 614 638	19,00	6,59	10,52	7,25
251	310 374	8 614 587	19,00	5,84	3,72	7,52
252	310 486	8 614 703	23,00	7,36	12,52	7,15
253	310 548	8 614 655	20,00	6,47	11,74	6,74
254	310 589	8 614 803	18,00	6,96	8,10	6,94
255	310 665	8 614 792	20,00	5,40	7,40	7,48
256	310 684	8 615 001	22,00	7,74	5,97	7,47
258	310 876	8 615 177	20,00	8,15	11,07	7,22
260	310 673	8 615 131	18,00	7,69	4,66	7,48
261	310 622	8 615 115	18,00	7,99	6,24	7,33
262	310 594	8 615 119	25,00	8,49	5,92	6,86
263	310 561	8 615 083	26,00	9,61	5,26	6,86
264	310 570	8 615 206	20,00	8,69	3,95	7,38
265	310 690	8 615 307	20,00	9,74	5,22	7,14
267	310 839	8 615 510	27,00	12,13	6,80	7,13
271	310 539	8 615 562	26,00	11,77	8,98	6,86
272	310 510	8 615 455	22,00	10,66	9,12	6,50
273	310 419	8 615 464	27,00	10,40	11,20	7,82
277	310 223	8 615 059	22,00	5,80	7,16	7,70
279	310 184	8 614 994	17,00	5,76	4,15	7,91
281	310 347	8 615 085	18,00	7,29	6,44	7,47
282	310 014	8 615 130	18,00	4,64	4,90	7,50
284	310 105	8 615 001	17,00	5,53	4,26	7,62

«Continuación»

285	310 282	8 615 108	18,00	6,41	6,39	7,56
286	310 318	8 615 173	21,00	7,06	6,40	7,55
287	310 281	8 614 799	20,00	6,78	2,62	7,37
288	310 404	8 614 896	15,00	8,05	10,24	7,40
289	310 231	8 614 719	13,00	6,24	3,34	7,51
291	310 263	8 614 615	22,00	6,44	7,00	7,17
294	310 081	8 614 749	11,00	5,31	5,36	7,43
296	310 089	8 614 878	19,00	5,52	4,92	7,56
297	309 923	8 614 721	17,00	4,16	3,10	7,59
298	309 913	8 614 776	14,00	2,28	4,54	7,67
299	309 965	8 614 851	16,00	3,01	3,42	7,62
300	309 893	8 614 934	21,00	4,63	5,79	7,24
301	310 083	8 614 657	19,00	5,56	4,42	7,30
302	310 114	8 614 513	10,00	5,63	6,72	7,78
303	310 153	8 614 477	18,00	5,89	4,46	7,49
304	310 071	8 614 469	17,00	6,00	5,70	7,28
306	310 040	8 614 404	15,00	5,51	5,54	7,34
307	309 977	8 614 492	13,00	3,96	6,62	7,22
308	310 001	8 614 556	17,00	4,50	6,98	7,60
309	309 952	8 614 285	20,00	4,70	7,04	7,65
310	309 882	8 614 302	17,00	4,34	7,19	7,64
311	309 705	8 614 840	14,00	2,54	6,24	7,47
312	309 753	8 614 772	16,00	2,88	7,10	6,65
313	309 824	8 614 704	17,00	3,66	7,76	7,75
314	309 768	8 614 687	17,00	3,75	8,68	7,41
315	309 773	8 614 600	18,00	3,24	6,44	7,50
316	309 899	8 614 676	13,00	3,51	7,40	7,39
317	310 007	8 614 623	20,00	4,48	8,12	7,30
318	309 918	8 614 578	13,00	4,01	7,69	7,35
319	309 907	8 614 551	14,00	4,09	6,24	7,53
320	309 886	8 614 451	16,00	3,22	6,52	7,60
321	309 596	8 614 360	17,00	2,81	3,28	7,77
322	309 556	8 614 391	14,00	3,07	2,14	7,84
323	309 661	8 614 351	19,00	3,33	4,38	7,93
324	309 741	8 614 377	18,00	3,54	4,10	7,88
326	309 853	8 614 370	16,00	4,08	7,04	7,70
327	309 477	8 614 428	14,00	2,49	4,98	7,65
330	309 385	8 614 730	14,00	2,62	8,34	7,60
331	309 730	8 614 175	14,00	3,34	4,04	7,60
334	309 388	8 614 372	17,00	2,74	2,58	7,71
335	309 399	8 614 298	16,00	2,80	3,24	7,83
336	309 255	8 614 800	14,00	1,61	5,56	6,90

«Continuación»

337	309 322	8 614 917	16,00	2,77	9,96	7,22
338	309 432	8 614 910	16,00	2,74	4,92	7,67
339	309 509	8 614 818	15,00	3,21	4,86	7,80
340	309 566	8 614 809	14,00	3,30	7,13	6,66
341	309 315	8 614 487	14,00	2,08	3,32	7,67
342	309 211	8 614 409	15,00	2,25	3,52	7,71
343	309 201	8 614 360	17,00	1,83	3,26	7,70
344	309 197	8 614 482	14,00	2,12	1,44	7,94
346	308 925	8 614 814	15,00	1,51	5,69	6,92
348	308 993	8 614 975	15,00	2,87	15,48	7,72
349	309 255	8 615 034	15,00	2,93	7,78	7,42
351	312 514	8 613 256	12,00	1,43	17,44	8,22
354	312 521	8 613 093	12,00	2,26	3,10	8,08
355	309 884	8 615 016	19,00	4,16	8,25	7,41
357	312 482	8 613 025	21,00	1,03	3,60	7,28
358	310 005	8 615 253	19,00	3,47	5,76	7,62
361	309 733	8 615 123	11,00	2,85	5,62	7,55
363	309 663	8 615 203	14,00	1,58	3,84	7,34
368	309 527	8 615 171	13,00	4,14	5,00	7,54
369	309 563	8 615 185	14,00	4,49	5,09	7,53
370	309 572	8 615 149	15,00	3,81	5,80	7,41
372	309 880	8 615 374	16,00	4,60	5,56	7,43
373	309 459	8 614 999	12,00	3,41	5,20	7,48
375	309 573	8 614 965	14,00	3,14	5,94	7,49
376	309 710	8 615 039	16,00	3,01	10,01	7,63
377	309 778	8 615 031	14,00	3,20	9,52	7,18
380	309 519	8 615 052	10,00	3,14	8,00	7,54
383	309 470	8 615 099	18,00	3,32	7,22	7,66
384	309 369	8 615 152	17,00	3,76	8,10	7,23
385	309 333	8 615 047	16,00	3,21	6,58	7,23
386	309 319	8 615 239	17,00	4,06	11,62	7,30
389	309 576	8 615 264	16,00	3,50	6,16	7,79
391	309 483	8 615 240	16,00	3,76	6,06	7,22
392	309 425	8 615 179	17,00	4,93	6,62	7,43
397	309 401	8 615 334	16,00	2,34	7,56	7,06
398	309 374	8 615 360	15,00	4,07	4,90	7,47
399	309 286	8 615 408	20,00	4,68	6,56	7,20
400	308 991	8 615 366	14,00	1,62	8,12	7,75
408	308 607	8 615 562	11,00	1,94	17,01	7,90
409	308 710	8 615 636	10,00	2,32	9,30	7,55
410	308 776	8 615 382	12,00	2,23	17,28	8,20
411	308 911	8 615 414	13,00	3,13	6,40	7,46

## «Continuación»

---

412	308 810	8 615 581	15,00	4,02	12,40	8,20
416	308 836	8 615 513	23,00	2,36	5,24	7,47
418	309 098	8 615 416	14,00	2,98	16,40	7,15
419	309 076	8 615 454	20,00	3,20	7,57	7,37
421	309 028	8 615 443	18,00	1,07	7,57	7,36
422	309 071	8 615 486	20,00	1,15	14,30	7,30
423	309 006	8 615 511	14,00	3,59	11,54	7,25
425	308 915	8 615 479	17,00	2,80	9,20	7,62
431	309 135	8 615 645	14,00	5,16	8,48	7,53
434	309 161	8 615 518	16,00	2,21	9,76	7,01
435	309 247	8 615 510	14,00	2,31	13,21	7,24
437	309 320	8 615 418	19,00	2,74	8,12	7,14
438	309 353	8 615 459	17,00	3,13	4,66	8,17
439	309 426	8 615 366	19,00	4,27	4,92	7,91
440	309 573	8 615 469	19,00	3,70	5,46	7,88
445	309 254	8 615 626	13,00	2,34	7,06	8,16
446	309 200	8 615 735	19,00	6,17	5,22	8,01
447	309 407	8 615 601	18,00	5,85	4,32	7,13
449	309 512	8 615 511	15,00	2,30	3,12	8,56
450	309 589	8 615 535	18,00	5,49	3,92	7,25
451	309 684	8 615 579	18,00	6,05	5,84	7,75
452	309 726	8 615 564	18,00	6,29	7,50	7,53
453	309 863	8 615 505	15,00	8,79	5,90	7,13
456	309 596	8 615 693	22,00	6,75	8,86	6,53
459	308 191	8 615 669	16,00	2,48	7,66	8,60
461	309 509	8 615 584	19,00	6,16	3,10	8,19
463	309 442	8 615 727	20,00	6,51	6,15	6,90
464	308 398	8 615 537	16,00	2,40	20,00	8,81
466	308 075	8 615 415	13,00	2,52	3,95	9,27
472	309 361	8 615 767	14,00	2,07	6,57	7,60
473	308 923	8 615 791	16,00	2,20	1,80	7,87
474	308 792	8 615 887	14,00	4,01	11,84	7,05
475	308 868	8 615 844	15,00	4,62	2,88	7,43
476	308 869	8 615 935	14,00	4,33	8,92	7,24
477	308 749	8 616 002	20,00	7,28	11,38	7,02
478	309 221	8 616 057	19,00	9,42	3,32	8,01
479	308 704	8 615 744	15,00	3,60	6,60	7,44
481	309 141	8 615 891	16,00	4,59	3,70	7,96
485	308 299	8 616 047	18,00	2,55	12,28	7,23
486	308 271	8 615 921	13,00	2,44	18,05	7,53
487	308 342	8 615 922	14,00	2,00	9,84	7,26
488	308 406	8 616 029	14,00	2,74	5,44	7,51

---

## «Continuación»

---

489	308 447	8 615 985	13,00	3,35	9,02	7,37
490	308 312	8 615 834	14,00	2,85	8,44	7,57
491	309 039	8 616 141	20,00	8,00	10,59	20,80
493	308 167	8 616 084	15,00	2,50	9,50	7,52
495	308 239	8 616 057	13,00	3,11	9,26	7,46
503	307 418	8 615 959	13,00	3,70	6,19	8,01
504	308 012	8 616 653	27,00	6,83	7,92	7,50
506	309 654	8 616 115	23,00	10,63	10,62	8,00
514	310 216	8 616 077	28,00	13,08	8,25	8,25
515	310 179	8 616 103	29,00	12,70	9,22	8,46
516	309 747	8 615 939	24,00	10,29	15,56	6,97
517	311 516	8 614 929	15,00	4,46	10,34	7,40
519	311 349	8 614 996	19,00	7,56	6,35	7,41
521	309 966	8 614 613	17,00	4,08	8,28	7,76
522	309 338	8 615 490	15,00	3,09	6,03	7,31
523	310 530	8 614 336	13,00	2,95	5,34	7,84
525	310 681	8 613 998	15,00	3,98	4,38	7,81
526	311 971	8 614 532	12,00	4,24	6,15	7,27
532	313 180	8 613 120	12,00	3,46	5,70	8,45
533	312 885	8 613 437	16,00	3,01	5,62	7,05
535	312 443	8 614 235	13,00	3,30	3,80	7,35
536	313 261	8 613 033	11,00	2,12	7,86	6,40
538	313 006	8 613 403	11,00	2,74	4,45	8,15
541	312 502	8 614 248	18,00	3,05	2,86	6,80
542	312 542	8 614 306	16,00	3,34	3,30	6,71
543	312 469	8 614 308	18,00	2,92	3,08	7,45
545	312 409	8 614 405	21,00	3,55	7,39	6,82
547	312 565	8 614 406	17,00	3,90	7,50	6,65
548	312 598	8 614 426	17,00	2,48	10,16	6,31
549	312 624	8 614 388	19,00	2,38	7,27	5,96
550	312 543	8 614 484	19,00	2,09	8,73	6,78
551	312 476	8 614 424	21,00	3,95	7,12	6,45
552	312 506	8 614 468	24,00	3,50	7,37	6,61
553	312 518	8 614 485	21,00	3,96	4,45	6,41
554	312 431	8 614 485	20,00	3,45	2,22	6,79
555	312 413	8 614 453	20,00	2,82	9,18	6,53
556	312 475	8 614 558	19,00	4,39	3,18	6,97
557	312 404	8 614 616	18,00	3,79	4,82	6,13
558	312 309	8 614 733	15,00	5,74	3,98	7,01
559	312 291	8 614 675	19,00	3,38	3,94	7,06
560	312 390	8 614 533	18,00	3,56	6,30	6,50
561	312 467	8 614 393	15,00	3,36	12,46	7,14

---

«Continuación»

562	312 342	8 614 424	16,00	3,42	6,82	6,82
563	312 335	8 614 485	12,00	3,02	6,03	7,23
564	312 276	8 614 563	12,00	4,16	10,07	7,22
565	312 234	8 614 638	17,00	3,54	4,85	6,58
566	312 355	8 614 563	17,00	3,55	9,97	6,35
567	312 253	8 614 625	17,00	3,25	4,34	6,57
569	312 450	8 614 639	18,00	2,86	4,28	6,45
570	312 561	8 614 637	17,00	3,37	11,40	6,48
571	310 909	8 614 440	14,00	5,07	4,86	7,30
572	312 364	8 614 420	17,00	3,12	5,74	6,70
573	312 602	8 614 573	15,00	2,92	9,38	6,50
574	312 656	8 614 552	14,00	3,10	9,26	6,35
576	331 528	8 627 993	595,00	9,32	0,80	7,74
579	330 593	8 628 091	549,00	13,02	0,68	8,29
580	330 316	8 628 105	535,00	13,52	0,81	7,80
581	330 149	8 628 069	531,00	11,08	0,71	7,13
583	329 950	8 628 304	527,00	10,27	0,92	7,14
585	329 770	8 627 961	515,00	7,58	0,76	7,42
586	329 645	8 627 773	508,00	11,22	0,72	7,20
587	329 335	8 627 310	484,00	7,66	0,78	7,50
588	329 383	8 627 463	493,00	8,71	0,82	7,83
589	329 246	8 627 334	489,00	9,76	0,76	7,82
590	329 140	8 627 439	489,00	13,86	0,64	7,15
593	328 134	8 626 390	434,00	14,67	0,70	7,68
594	326 279	8 624 499	358,00	18,40	0,70	7,68
595	324 798	8 623 593	309,00	51,22	0,64	7,85
597	312 585	8 614 507	15,00	3,07	8,64	6,45
599	312 340	8 614 995	19,00	11,31	2,60	7,28
600	312 089	8 615 150	28,00	14,08	3,41	7,27
601	312 164	8 615 307	27,00	16,23	4,62	7,28
602	310 801	8 615 744	25,00	14,01	5,08	7,40
603	310 640	8 617 628	38,00	27,05	5,96	7,48
606	310 710	8 617 199	33,00	23,05	5,20	7,44
609	310 393	8 617 742	26,00	19,10	5,15	7,51
612	313 360	8 613 987	16,00	14,78	12,24	7,54
613	313 169	8 614 402	21,00	13,87	12,58	7,46
615	312 993	8 614 838	27,00	10,26	3,08	7,57
616	313 010	8 614 816	23,00	10,25	3,25	7,46
617	312 536	8 615 095	21,00	13,46	3,63	6,86
623	312 770	8 614 860	18,00	9,50	5,64	8,26
624	312 840	8 615 453	32,00	18,07	13,30	8,34
625	312 232	8 616 349	38,00	31,29	6,50	7,45

«Continuación»

626	312 248	8 616 196	36,00	29,61	6,92	7,50
627	312 352	8 615 339	28,00	17,72	3,84	6,82
630	312 521	8 617 180	53,00	43,93	2,61	7,52
632	312 880	8 618 192	65,00	70,00	2,30	7,70
634	312 902	8 618 518	65,00	33,34	2,41	7,73
636	311 856	8 618 615	54,00	32,20	5,98	7,62
637	311 303	8 617 907	52,00	34,89	10,00	7,63
638	310 929	8 617 644	43,00	30,15	3,05	7,60
640	310 386	8 618 393	51,00	29,48	6,40	6,91
641	310 122	8 618 222	38,00	25,61	0,70	7,63
643	312 972	8 615 564	35,00	21,22	10,32	7,35
644	309 024	8 618 397	31,00	14,44	9,74	9,02
647	308 160	8 618 302	11,00	8,97	10,20	7,91
648	308 805	8 617 383	21,00	12,45	13,56	8,05
653	308 039	8 618 532	20,00	8,92	11,88	7,38
657	308 658	8 618 069	23,00	11,72	11,29	7,95
658	308 339	8 618 182	24,00	9,36	11,90	7,52
659	308 286	8 618 143	20,00	9,31	11,52	7,51
661	308 953	8 618 578	23,00	13,44	9,47	7,54
662	308 677	8 618 801	20,00	11,59	8,60	7,30
663	308 279	8 618 995	21,00	10,87	4,82	7,76
667	311 628	8 615 235	24,00	13,46	2,06	7,72
669	317 924	8 621 128	143,00	57,23	0,66	8,65
670	314 379	8 619 782	108,00	86,30	1,06	8,29
671	313 956	8 619 401	85,00	83,32	1,14	8,38
672	313 772	8 618 812	77,00	71,38	1,98	8,23
673	313 897	8 618 958	73,00	71,43	1,26	7,26
674	310 487	8 614 418	15,00	4,80	6,64	7,60
676	308 699	8 617 138	24,00	9,97	14,62	6,61
677	310 085	8 616 217	24,00	14,10	19,16	6,79
679	316 933	8 620 552	131,00	87,30	0,92	8,01
681	315 684	8 620 050	113,00	83,59	0,90	8,48
683	311 294	8 614 961	17,00	4,52	6,00	7,03
684	321 107	8 621 920	214,00	60,00	0,71	8,56
685	312 515	8 618 115	80,00	47,30	3,86	7,31
686	312 734	8 613 292	15,00	1,36	5,41	7,61
687	312 347	8 613 301	14,00	1,35	3,04	7,64
688	312 288	8 613 342	12,00	3,55	2,39	7,64
690	312 357	8 614 330	16,00	4,06	3,06	6,91
692	312 060	8 614 092	14,00	2,74	2,00	7,20
693	312 033	8 614 022	13,00	1,87	1,50	7,25
694	312 616	8 614 303	16,00	3,86	2,18	6,58

## «Continuación»

---

695	312 703	8 614 335	16,00	2,70	3,18	6,69
696	312 671	8 614 450	18,00	5,65	6,80	6,42
698	312 596	8 614 347	18,00	2,92	2,93	6,92
699	312 669	8 614 485	12,00	3,37	9,14	6,52
700	312 316	8 614 630	17,00	3,26	10,49	6,62
701	311 552	8 614 605	14,00	2,94	14,02	6,94
702	311 627	8 614 630	16,00	2,44	7,94	7,46
703	311 667	8 614 609	14,00	2,94	6,02	7,48
704	311 691	8 614 862	20,00	8,28	3,74	7,78
705	311 124	8 614 520	18,00	4,40	5,68	7,88
706	311 852	8 614 467	14,00	3,81	4,16	7,69
707	311 312	8 614 868	13,00	5,20	7,64	7,10
708	311 264	8 614 897	19,00	4,67	6,31	7,40
709	311 257	8 614 800	19,00	4,75	13,62	7,34
710	310 723	8 615 199	19,00	7,94	7,76	7,50
711	311 374	8 614 174	11,00	3,33	1,59	7,42
712	311 230	8 614 353	12,00	2,29	5,32	7,44
713	311 195	8 614 140	11,00	3,79	4,88	7,55
714	310 667	8 614 333	15,00	4,46	4,86	7,78
715	310 252	8 614 468	14,00	6,08	8,90	7,53
716	309 124	8 614 765	14,00	2,27	6,16	7,70
717	309 190	8 614 540	13,00	2,03	1,46	7,74
718	309 856	8 614 171	12,00	4,54	7,36	7,32
720	311 119	8 614 639	12,00	6,78	10,80	7,29
722	310 545	8 614 690	23,00	7,62	8,12	7,40
723	310 364	8 614 359	16,00	4,17	5,86	8,00
724	324 827	8 624 063	315,00	52,85	0,69	8,30
725	310 116	8 614 673	23,00	5,65	5,70	7,10
726	309 496	8 614 893	14,00	2,74	9,44	6,70
728	309 460	8 615 263	16,00	0,49	6,46	7,08
729	309 503	8 615 370	11,00	1,80	5,19	8,23
730	309 467	8 615 450	14,00	4,36	5,86	7,27
731	308 904	8 615 133	13,00	1,57	6,14	7,52
732	308 914	8 615 287	13,00	1,66	5,80	7,64
733	309 245	8 614 494	19,00	2,18	2,46	7,80
734	310 381	8 615 271	15,00	8,25	4,56	7,49
735	310 555	8 615 614	33,00	11,83	11,08	7,00
736	310 155	8 615 707	21,00	8,99	6,84	7,63
737	309 874	8 615 280	13,00	3,89	4,70	8,92
738	314 165	8 619 731	82,00	83,33	1,12	8,29
739	308 223	8 617 499	18,00	7,96	17,34	7,29
740	309 984	8 619 794	46,00	26,58	16,86	7,52

---

## «Continuación»

---

741	309 475	8 615 536	13,00	2,13	7,38	7,27
743	307 317	8 617 413	17,00	5,76	16,86	8,07
744	310 847	8 617 569	39,00	29,20	7,50	7,14
745	307 570	8 617 443	14,00	6,24	20,00	6,90
746	308 091	8 617 806	19,00	8,09	9,60	7,80
747	307 882	8 617 417	18,00	6,50	8,70	7,65
749	312 393	8 613 139	14,00	1,12	11,16	9,10
750	311 232	8 612 475	10,00	1,93	20,00	7,83
751	334 629	8 628 037	779,00	6,09	0,70	7,10
754	335 971	8 628 403	861,00	4,07	1,23	6,97
755	336 163	8 628 477	855,00	3,55	0,69	7,58
757	331 176	8 630 508	636,00	10,76	0,76	7,25
758	331 621	8 630 621	663,00	9,28	0,90	7,50
759	331 662	8 631 261	678,00	12,49	0,72	8,45
760	332 102	8 632 575	748,00	17,85	0,77	7,48
761	332 924	8 633 924	825,00	17,30	1,03	7,23
762	333 300	8 634 329	851,00	17,79	0,82	7,30
763	333 520	8 634 528	870,00	10,08	0,87	7,30
764	333 412	8 634 503	864,00	16,60	0,83	7,34
765	331 710	8 631 109	676,00	14,71	0,79	7,65
766	309 660	8 618 665	28,00	20,72	8,08	7,48
767	309 329	8 618 621	25,00	17,15	7,94	7,45
768	310 371	8 618 072	38,00	26,66	4,30	8,86
769	309 389	8 618 722	29,00	18,03	9,08	9,80
770	308 680	8 616 196	22,00	8,20	14,96	7,80
771	308 869	8 616 172	20,00	7,33	2,20	7,72
772	318 955	8 621 654	172,00	58,65	0,68	8,32
773	312 218	8 614 757	19,00	7,96	5,16	7,37
774	313 174	8 612 908	13,00	2,14	4,82	7,60
775	313 165	8 612 910	16,00	2,23	5,69	7,50
776	310 060	8 619 312	31,00	32,86	13,90	8,17
777	309 974	8 619 656	27,00	26,09	11,72	8,43
778	320 183	8 621 957	201,00	51,49	0,68	9,00
780	315 872	8 620 241	115,00	83,34	0,74	8,14
781	310 798	8 615 866	26,00	15,11	5,44	6,85
782	310 556	8 616 349	27,00	16,80	9,60	7,35
783	310 419	8 616 200	26,00	15,38	9,30	7,38
785	312 610	8 618 894	72,00	61,19	1,05	7,87
786	317 294	8 620 474	123,00	86,55	0,64	9,06
787	316 967	8 620 326	128,00	86,95	0,70	7,00
788	312 172	8 614 015	13,00	2,37	2,06	7,00
789	313 740	8 613 193	21,00	7,22	2,40	8,26

---

«Continuación»

790	313 568	8 613 029	15,00	3,08	2,54	8,10
791	313 725	8 612 890	18,00	2,51	2,10	7,94
792	323 866	8 623 577	284,00	45,86	0,58	7,47
793	327 643	8 625 847	428,00	6,62	0,56	7,00
794	313 251	8 618 582	67,00	61,79	3,16	9,60
795	309 599	8 614 236	14,00	3,12	3,04	7,80
796	310 163	8 618 128	37,00	26,22	3,62	7,40
797	310 430	8 618 040	36,00	27,15	4,04	7,21
799	309 378	8 618485	26,00	17,76	7,70	7,50
800	310 007	8 619 836	34,00	26,40	10,64	7,53

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 25: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Pucusana (2019)**

Código IRHS	Este	Norte	Cota (m.s.n.m.)	Nivel estático (m)	CE (mmhos/cm)	pH
005	307 628	8 619 702	25,00	10,66	15,65	7,30

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 26: Monitoreo piezométrico e hidrogeoquímico – distrito Santo Domingo de Los Olleros (2019)**

Código IRHS	Este	Norte	Cota (m.s.n.m.)	Nivel estático (m)	CE (mmhos/cm)	pH
001	341 353	8 646 759	2174,00	13,70	0,45	7,64
002	341 227	8 646 676	2149,00	12,82	0,25	7,50
003	341 196	8 646 632	2131,00	9,08	0,33	7,36
004	341 105	8 646 580	2111,00	20,22	0,34	7,25
007	340 876	8 646 158	2044,00	18,50	0,43	7,35
009	341 063	8 646 447	2097,00	16,90	0,31	7,88
011	341 610	8 645 872	2139,00	6,11	0,44	7,41
013	340 918	8 645 912	2021,00	44,10	0,49	7,22
014	340 779	8 645 818	2004,00	34,33	0,39	7,47
015	340 786	8 645 764	2013,00	45,22	0,45	7,50
016	340 654	8 645 635	1981,00	38,97	0,42	7,94
017	340 653	8 645 733	1990,00	39,30	0,34	7,92
018	340 579	8 645 871	1985,00	21,38	0,36	7,64
019	340 559	8 645 715	1962,00	22,29	0,34	7,51
020	340 561	8 645 603	1950,00	27,24	0,37	7,51
022	340 480	8 645 542	1941,00	18,88	0,32	7,33
027	340 237	8 645 279	1890,00	24,57	0,34	7,40
031	339 982	8 644 910	1829,00	16,08	0,48	7,70

«Continuación»

034	339 819	8 644 821	1805,00	15,26	0,46	7,50
036	339 588	8 644 681	1779,00	26,35	0,42	7,54
037	339 289	8 644 257	1728,00	33,35	0,54	7,73
039	338 109	8 643 411	1575,00	22,10	1,44	6,95
040	338 081	8 643 297	1565,00	29,57	0,44	7,22
041	338 463	8 643 353	1613,00	57,76	0,42	7,58
044	337 983	8 642 958	1537,00	29,14	0,76	6,88
046	337 865	8 642 813	1522,00	18,41	0,36	7,36
047	337 871	8 642 724	1511,00	17,02	0,34	7,31
048	337 754	8 642 504	1490,00	10,71	0,44	7,21
049	335 813	8 639 010	1175,00	11,45	0,46	6,93
050	335 853	8 639 190	1188,00	12,08	0,60	6,76
051	336 020	8 639 779	1222,00	6,28	0,53	7,20
052	336 433	8 639 854	1238,00	1,89	0,11	7,48
053	336 160	8 639 848	1236,00	3,36	0,60	7,29
054	336 204	8 639 905	1240,00	2,42	0,58	7,35
055	336 236	8 640 049	1254,00	5,62	0,44	7,02
057	336 616	8 640 156	1275,00	6,33	0,50	7,45
058	336 826	8 640 312	1298,00	7,06	0,38	7,13
059	336 940	8 640 285	1301,00	4,58	0,48	7,06
060	337 183	8 640 631	1330,00	7,50	0,38	6,99
061	337 218	8 640 903	1358,00	15,36	0,38	6,84
062	337 132	8 640 694	1336,00	10,82	0,36	7,01
064	336 719	8 640 156	1282,00	5,10	0,51	7,44
065	337 275	8 641 151	1374,00	16,38	0,38	6,94
066	337 318	8 641 357	1387,00	11,28	0,38	7,05
067	337 328	8 641 424	1391,00	11,07	0,36	7,21
068	337 324	8 641 642	1409,00	15,51	0,40	7,24
069	337 324	8 641 778	1421,00	19,65	0,44	7,50
076	337 229	8 645 864	1857,00	17,07	0,64	7,26
077	337 187	8 645 450	1809,00	16,29	0,46	7,26
078	337 211	8 645 270	1792,00	12,75	0,52	6,98
079	337 224	8 645 162	1773,00	3,09	0,36	7,00
080	337 260	8 645 110	1758,00	2,99	0,48	6,71
081	337 303	8 645 016	1747,00	1,12	0,48	7,17
082	337 858	8 643 305	1566,00	21,39	0,76	7,15
083	337 829	8 642 932	1525,00	25,21	0,68	7,07
084	337 774	8 642 707	1507,00	16,96	0,42	7,31
085	337 612	8 642 350	1470,00	18,66	0,48	7,30
086	337 479	8 642 042	1446,00	16,76	0,46	7,18
087	337 139	8 641 024	1360,00	13,18	0,32	7,18
088	335 721	8 638 961	1177,00	11,23	0,54	6,78

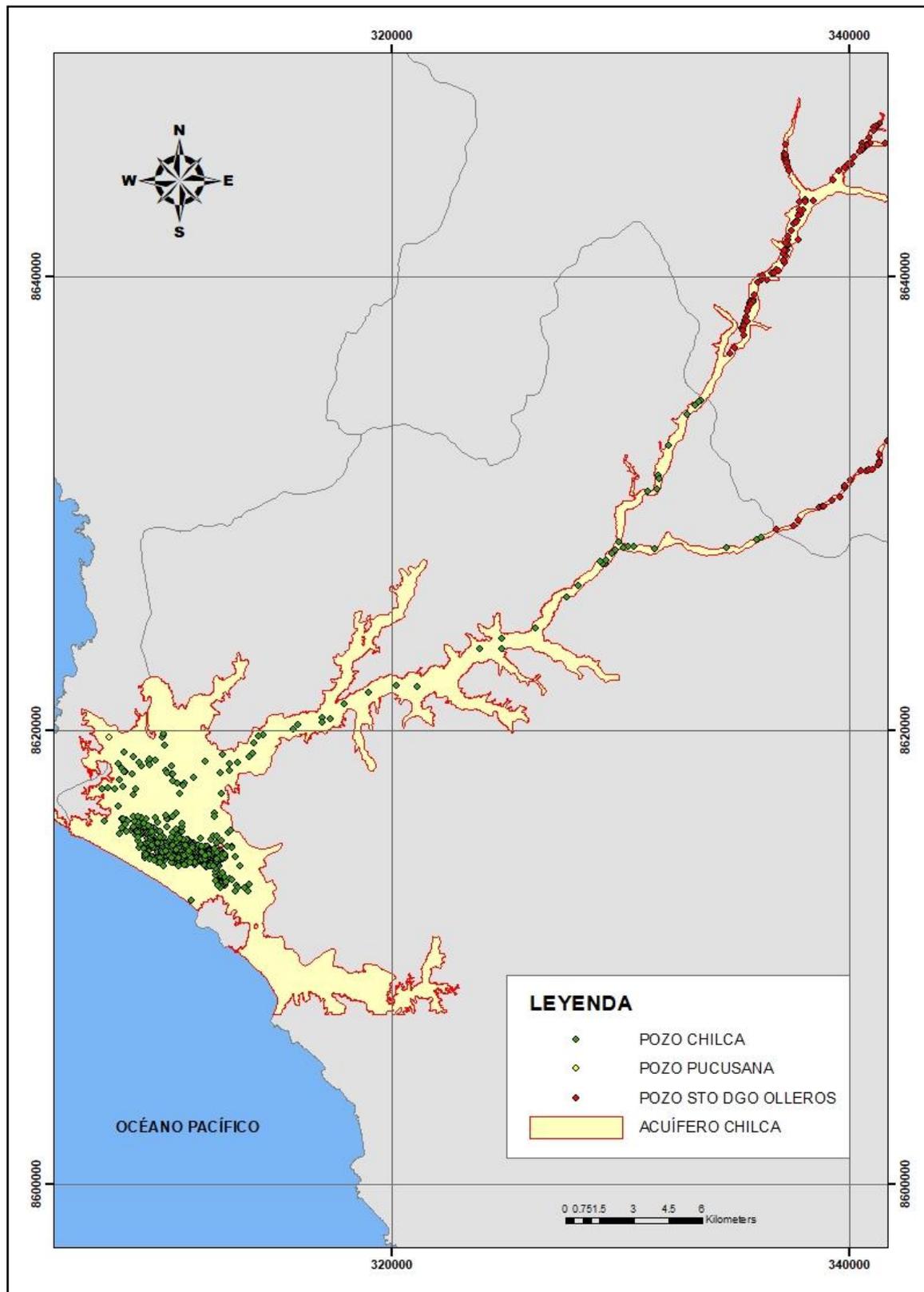
«Continuación»

089	335 644	8 638 850	1164,00	10,50	0,62	6,94
090	335 700	8 638 869	1164,00	9,98	0,50	6,91
091	335 361	8 637 802	1104,00	3,86	0,56	7,01
092	335 350	8 637 760	1108,00	3,83	0,56	7,06
093	335 312	8 637 709	1094,00	3,27	0,59	7,02
095	335 020	8 636 845	1023,00	7,44	0,66	6,97
097	336 823	8 628 849	908,00	4,55	0,71	7,60
100	337 570	8 629 032	960,00	2,56	0,60	7,22
101	337 781	8 629 275	986,00	6,46	0,67	7,37
103	338 722	8 629 826	1063,00	4,16	0,73	7,32
104	338 865	8 629 894	1063,00	2,10	0,71	7,30
105	338 898	8 629 849	1062,00	3,26	0,85	7,41
107	339 276	8 630 129	1093,00	5,40	0,63	7,14
109	339 598	8 630 294	1123,00	5,86	0,68	7,24
110	339 811	8 630 691	1154,00	3,05	0,37	6,94
112	335 791	8 638 888	1175,00	15,14	0,46	6,97
113	335 708	8 638 807	1165,00	11,97	0,46	6,96
115	335 608	8 638 624	1153,00	8,01	0,58	6,86
116	335 583	8 638 491	1144,00	8,73	0,60	7,10
117	335 501	8 638 222	1124,00	11,34	0,60	6,95
118	335 435	8 638 072	1114,00	6,52	0,68	7,08
119	335 414	8 637 954	1112,00	4,76	0,52	6,97
120	335 572	8 638 042	1118,00	8,47	0,66	7,60
121	335 347	8 637 659	1095,00	4,60	0,56	6,88
122	335 396	8 637 827	1104,00	1,68	0,60	7,04
123	335 362	8 637 618	1091,00	2,65	0,56	7,04
124	335 394	8 637 442	1075,00	8,58	0,56	6,86
126	334 812	8 636 615	1009,00	7,54	0,40	7,04
127	339 824	8 630 767	1164,00	6,79	0,72	6,97
129	340 093	8 631 014	1189,00	2,21	0,62	7,33
131	340 528	8 631 445	1238,00	2,56	0,57	7,20
132	340 757	8 631 424	1258,00	1,28	0,50	7,26
133	340 872	8 631 479	1265,00	2,50	0,57	7,15
134	341 022	8 631 511	1267,00	3,27	0,56	7,13
136	341 277	8 631 687	1280,00	6,61	0,31	7,00
137	341 335	8 631 870	1312,00	3,60	0,25	6,74
138	341 363	8 632 149	1337,00	5,40	0,36	6,68
141	341 683	8 632 742	1392,00	7,73	0,30	6,69
145	341 363	8 631 814	1305,00	3,64	0,28	6,69
149	337 189	8 641 188	1373,00	15,72	0,38	7,11
150	340 100	8 644 988	1859,00	37,14	0,55	7,60
153	337 223	8 641 455	1399,00	16,98	0,42	7,09

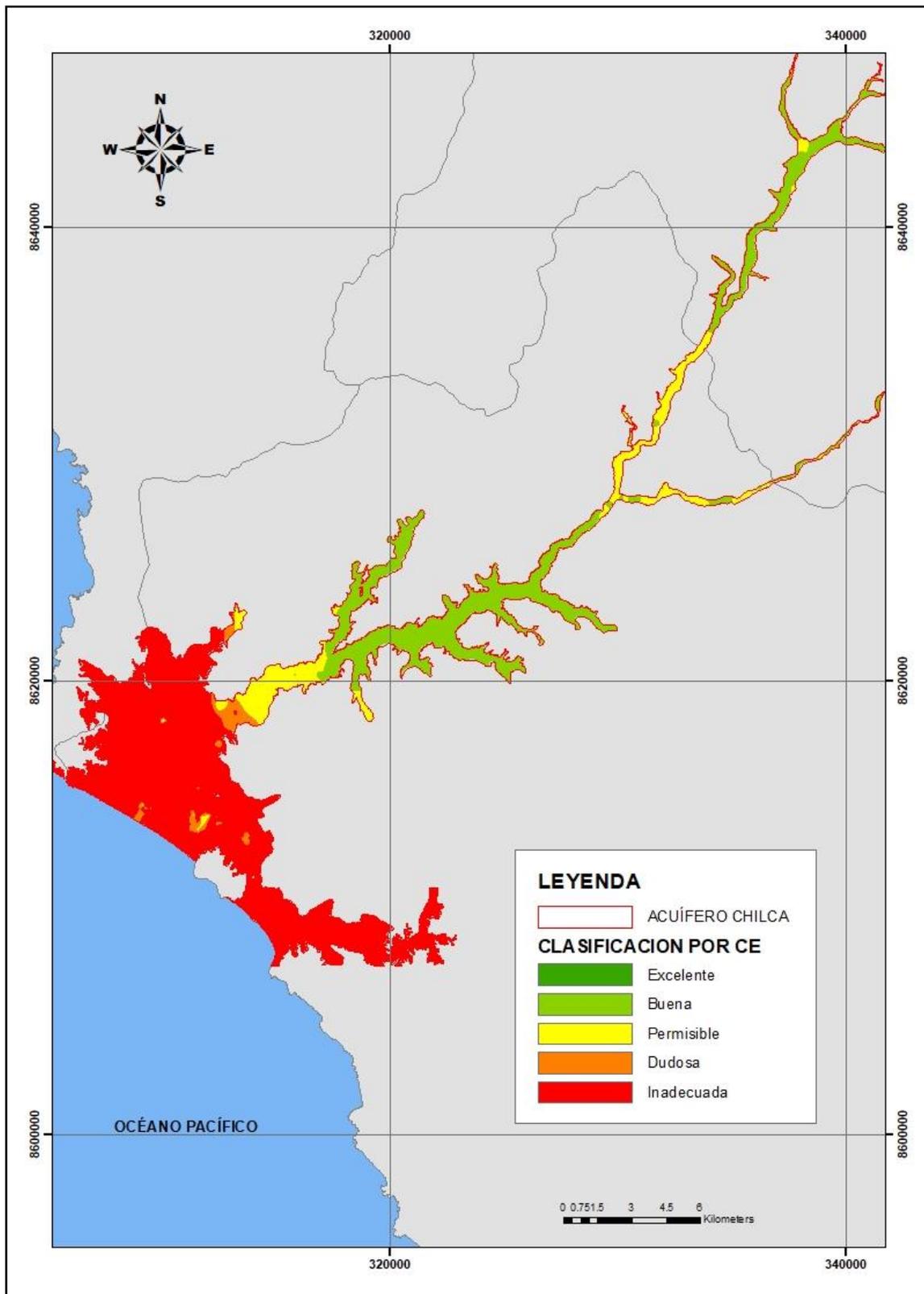
«Continuación»

154	337 302	8 645 047	1752,00	0,88	0,50	7,09
156	337 356	8 644 833	1726,00	4,99	0,50	6,97
157	337 392	8 644 690	1721,00	2,41	0,54	6,86
159	337 787	8 641 612	1429,00	25,86	1,76	7,20
160	337 226	8 645 381	1794,00	13,25	0,56	7,20
161	337 697	8 642 409	1473,00	17,65	0,36	7,30
162	339 984	8 644 981	1839,00	16,72	0,42	7,50

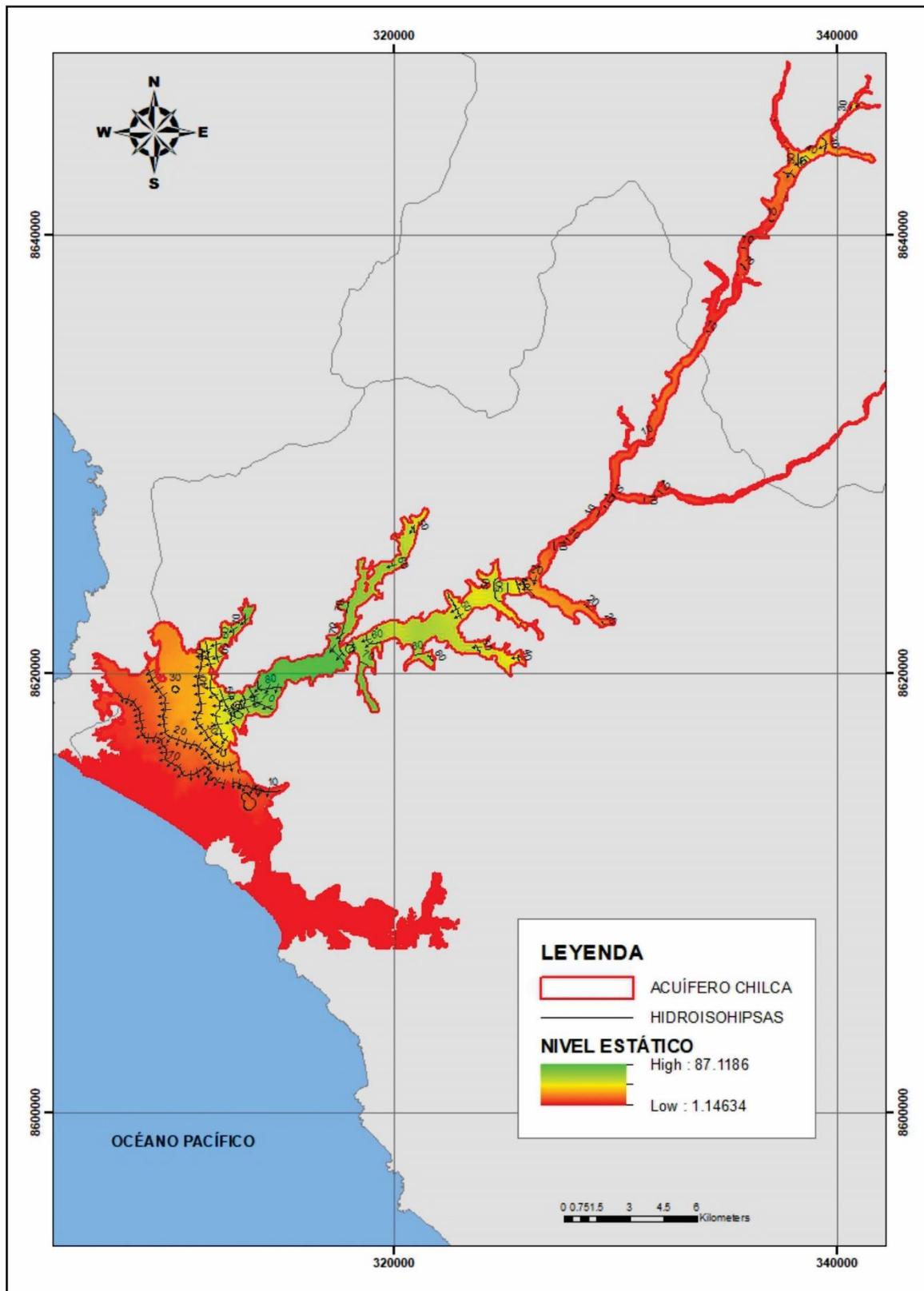
FUENTE: ANA, 2019.



**Figura 47:** Ubicación de pozos de observación (red piezométrica e hidrogeoquímica)



**Figura 48:** Clasificación del agua para riego por su CE según Wilcox

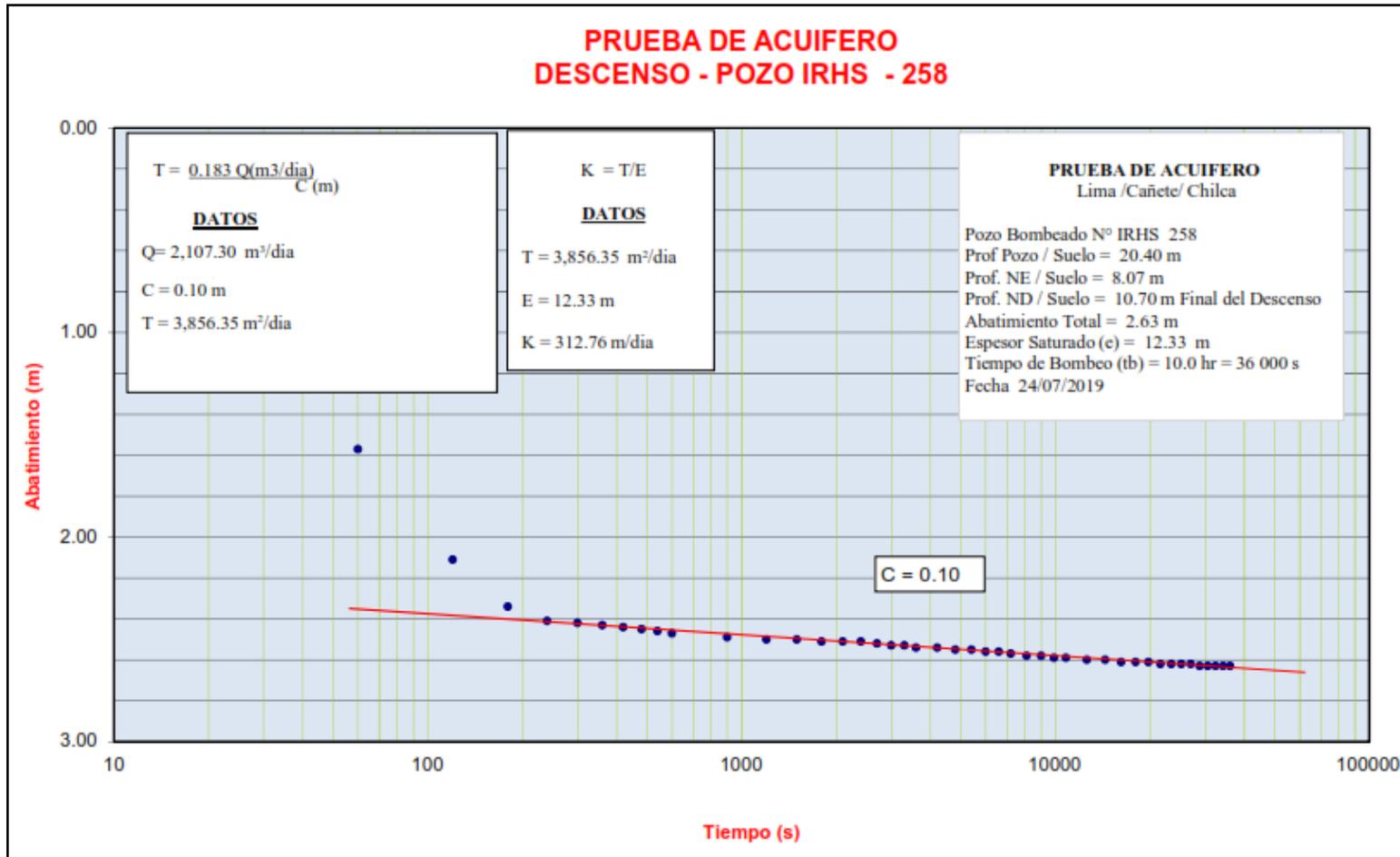


**Figura 49: Hidroisohipsas del acuífero Chilca**

**Tabla 27: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Descenso**

Fecha	TIEMPO DE DESCENSO ( Td )			DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA			CAUDAL
	Hora	Min	Seg	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento (m)	Q (l/s)
24/07/2019		0	0	8,07	8,07	0,00	24,39
	08:01	1,00	60	9,64	9,64	1,57	
	08:02	2,00	120	10,18	10,18	2,11	
	08:03	3,00	180	10,41	10,41	2,34	
	08:04	4,00	240	10,48	10,48	2,41	
	08:05	5,00	300	10,49	10,49	2,42	
	08:06	6,00	360	10,50	10,50	2,43	
	08:07	7,00	420	10,51	10,51	2,44	
	08:08	8,00	480	10,52	10,52	2,45	
	08:09	9,00	540	10,53	10,53	2,46	
	08:10	10,00	600	10,54	10,54	2,47	
	08:15	15,00	900	10,56	10,56	2,49	
	08:20	20,00	1 200	10,57	10,57	2,50	
	08:25	25,00	1 500	10,57	10,57	2,50	
	08:30	30,00	1 800	10,58	10,58	2,51	
	08:35	35,00	2 100	10,58	10,58	2,51	
	08:40	40,00	2 400	10,58	10,58	2,51	
	08:45	45,00	2 700	10,59	10,59	2,52	
	08:50	50,00	3 000	10,60	10,60	2,53	
	08:55	55,00	3 300	10,60	10,60	2,53	
1	09:00	60,00	3 600	10,61	10,61	2,54	
	09:10	70,00	4 200	10,61	10,61	2,54	
	09:20	80,00	4 800	10,62	10,62	2,55	
	09:30	90,00	5 400	10,62	10,62	2,55	
	09:40	100,00	6 000	10,63	10,63	2,56	
	09:50	110,00	6 600	10,63	10,63	2,56	
2	10:00	120,00	7 200	10,64	10,64	2,57	
	10:15	135,00	8 100	10,65	10,65	2,58	
	10:30	150,00	9 000	10,65	10,65	2,58	
	10:45	165,00	9 900	10,66	10,66	2,59	
3	11:00	180,00	10 800	10,66	10,66	2,59	
	11:30	210,00	12 600	10,67	10,67	2,60	
4	12:00	240,00	14 400	10,67	10,67	2,60	
	12:30	270,00	16 200	10,68	10,68	2,61	
5	13:00	300,00	18 000	10,68	10,68	2,61	
	13:30	330,00	19 800	10,68	10,68	2,61	
6	14:00	360,00	21 600	10,69	10,69	2,62	
	14:30	390,00	23 400	10,69	10,69	2,62	
7	15:00	420,00	25 200	10,69	10,69	2,62	
	15:30	450,00	27 000	10,69	10,69	2,62	
8	16:00	480,00	28 800	10,70	10,70	2,63	
	16:30	510,00	30 600	10,70	10,70	2,63	
9	17:00	540,00	32 400	10,70	10,70	2,63	
	17:30	570,00	34 200	10,70	10,70	2,63	
10	18:00	600,00	36 000	10,70	10,70	2,63	

FUENTE: ANA, 2019.



*Figura 50: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Descenso*

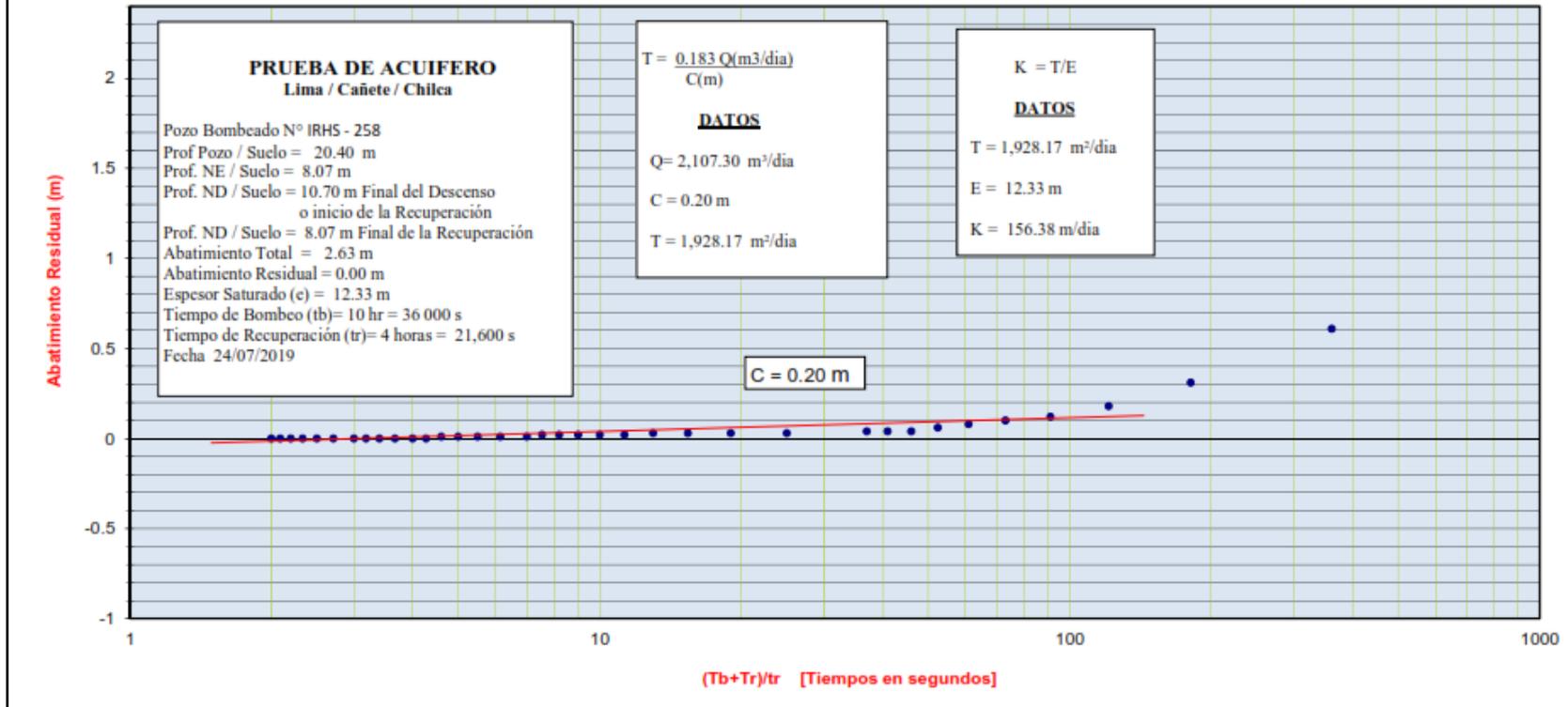
FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 28: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Recuperación**

Fecha	TIEMPO DE RECUPERACION ( Tr )			(Tb / Tr ) + 1	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
	Hora	Min	Seg		Adim.	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)
24/07/2019		0	0	Infinito	10,70	10,70	2,63
	18:01	1	60	361,00	8,68	8,68	0,61
	18:02	2	120	181,00	8,38	8,38	0,31
	18:03	3	180	121,00	8,25	8,25	0,18
	18:04	4	240	91,00	8,19	8,19	0,12
	18:05	5	300	73,00	8,17	8,17	0,10
	18:06	6	360	61,00	8,15	8,15	0,08
	18:07	7	420	52,43	8,13	8,13	0,06
	18:08	8	480	46,00	8,11	8,11	0,04
	18:09	9	540	41,00	8,11	8,11	0,04
	18:10	10	600	37,00	8,11	8,11	0,04
	18:15	15	900	25,00	8,10	8,10	0,03
	18:20	20	1 200	19,00	8,10	8,10	0,03
	18:25	25	1 500	15,40	8,10	8,10	0,03
	18:30	30	1 800	13,00	8,10	8,10	0,03
	18:35	35	2 100	11,29	8,09	8,09	0,02
	18:40	40	2 400	10,00	8,09	8,09	0,02
	18:45	45	2 700	9,00	8,09	8,09	0,02
	18:50	50	3 000	8,20	8,09	8,09	0,02
	18:55	55	3 300	7,55	8,09	8,09	0,02
1	19:00	60	3 600	7,00	8,08	8,08	0,01
	19:10	70	4 200	6,14	8,08	8,08	0,01
	19:20	80	4 800	5,50	8,08	8,08	0,01
	19:30	90	5 400	5,00	8,08	8,08	0,01
	19:40	100	6 000	4,60	8,08	8,08	0,01
	19:50	110	6 600	4,27	8,08	8,08	0,00
2	20:00	120	7 200	4,00	8,07	8,07	0,00
	20:15	135	8 100	3,67	8,07	8,07	0,00
	20:30	150	9 000	3,40	8,07	8,07	0,00
	20:45	165	9 900	3,18	8,07	8,07	0,00
3	21:00	180	10 800	3,00	8,07	8,07	0,00
	21:30	210	12 600	2,71	8,07	8,07	0,00
4	22:00	240	14 400	2,50	8,07	8,07	0,00
	22:30	270	16 200	2,33	8,07	8,07	0,00
5	23:00	300	18 000	2,20	8,07	8,07	0,00
	23:30	330	19 800	2,09	8,07	8,07	0,00
6	00:00	360	21 600	2,00	8,07	8,07	0,00

FUENTE: ANA, 2019.

## PRUEBA DE ACUIFERO RECUPERACION - POZO IRHS - 258



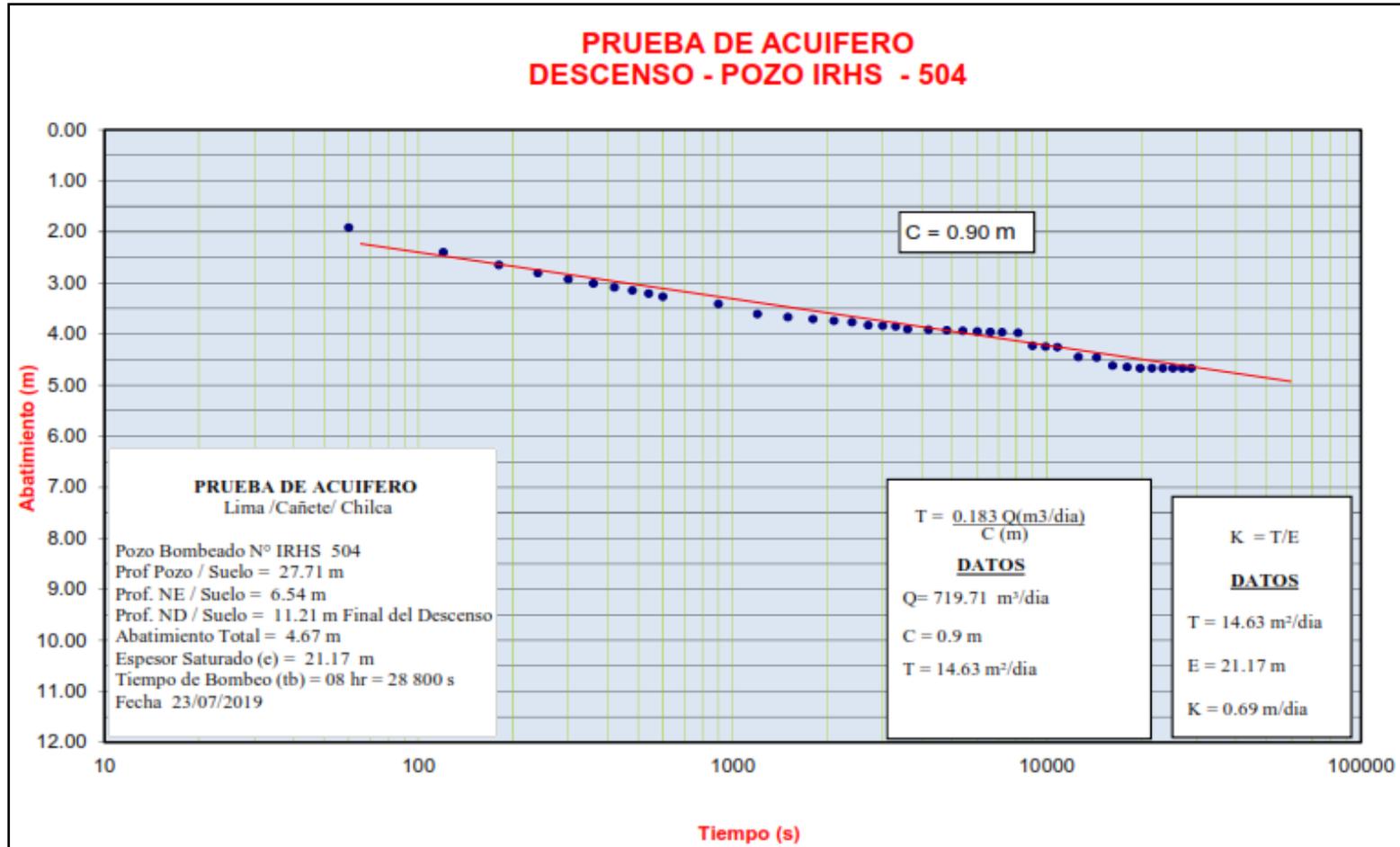
**Figura 51: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 258 – Recuperación**

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 29: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Descenso**

Fecha	TIEMPO DE DESCENSO ( Td)			DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA			CAUDAL
	Hora	Min	Seg	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento (m)	Q (l/s)
23/07/2019		0	0	6,83	6,54	0,00	8,33
	08:01	1,00	60	8,75	8,46	1,92	
	08:02	2,00	120	9,23	8,94	2,4	
	08:03	3,00	180	9,48	9,19	2,65	
	08:04	4,00	240	9,64	9,35	2,81	
	08:05	5,00	300	9,76	9,47	2,93	
	08:06	6,00	360	9,84	9,55	3,01	
	08:07	7,00	420	9,92	9,63	3,09	
	08:08	8,00	480	9,98	9,69	3,15	
	08:09	9,00	540	10,04	9,75	3,21	
	08:10	10,00	600	10,10	9,81	3,27	
	08:15	15,00	900	10,24	9,95	3,41	
	08:20	20,00	1 200	10,36	10,15	3,61	
	08:25	25,00	1 500	10,44	10,21	3,67	
	08:30	30,00	1 800	10,50	10,25	3,71	
	08:35	35,00	2 100	10,54	10,28	3,74	
	08:40	40,00	2 400	10,57	10,31	3,77	
	08:45	45,00	2 700	10,60	10,37	3,83	
	08:50	50,00	3 000	10,66	10,38	3,84	
	08:55	55,00	3 300	10,67	10,39	3,85	
1	09:00	60,00	3 600	10,68	10,45	3,91	
	09:10	70,00	4 200	10,74	10,46	3,92	
	09:20	80,00	4 800	10,75	10,47	3,93	
	09:30	90,00	5 400	10,76	10,48	3,94	
	09:40	100,00	6 000	10,77	10,49	3,95	
	09:50	110,00	6 600	10,78	10,50	3,96	
2	10:00	120,00	7 200	10,79	10,51	3,97	
	10:15	135,00	8 100	10,80	10,52	3,98	
	10:30	150,00	9 000	10,81	10,77	4,23	
	10:45	165,00	9 900	11,06	10,79	4,25	
3	11:00	180,00	10 800	11,08	10,80	4,26	
	11:30	210,00	12 600	11,09	10,99	4,45	
4	12:00	240,00	14 400	11,28	11,00	4,46	
	12:30	270,00	16 200	11,29	11,16	4,62	
5	13:00	300,00	18 000	11,45	11,19	4,65	
	13:30	330,00	19 800	11,48	11,21	4,67	
6	14:00	360,00	21 600	11,50	11,21	4,67	
	14:30	390,00	23 400	11,50	11,21	4,67	
7	15:00	420,00	25 200	11,50	11,21	4,67	
	15:30	450,00	27 000	11,50	11,21	4,67	
8	16:00	480,00	28 800	11,50	11,21	4,67	

FUENTE: ANA, 2019.



**Figura 52: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Descenso**

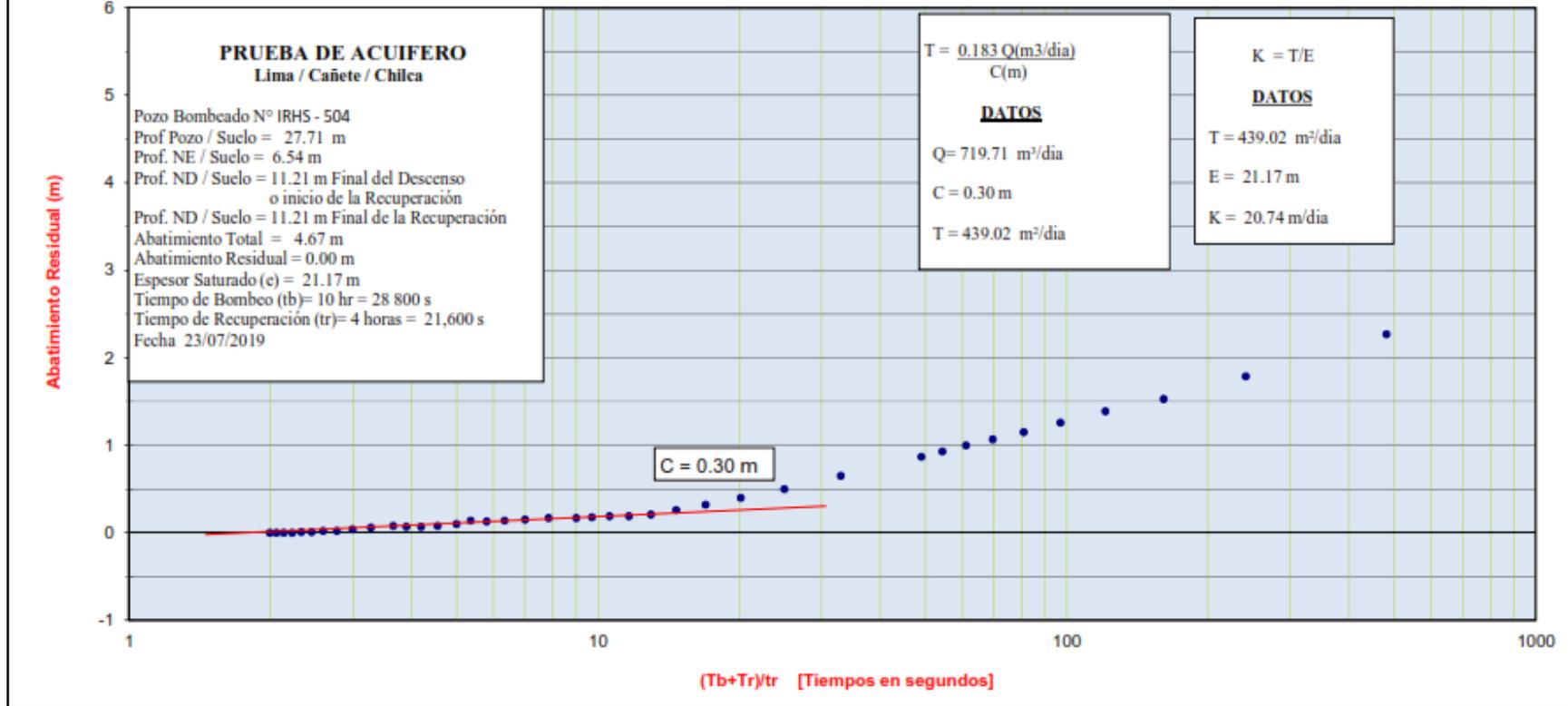
FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 30: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Recuperación**

Fecha	TIEMPO DE RECUPERACION ( Tr )			(Tb / Tr ) + 1	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
	Hora	Min	Seg		Adim.	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)
23/07/2019		0	0	Infinito	11,50	11,21	4,67
	16:01	1	60	481,00	9,10	8,81	2,27
	16:02	2	120	241,00	8,62	8,33	1,79
	16:03	3	180	161,00	8,36	8,07	1,53
	16:04	4	240	121,00	8,22	7,93	1,39
	16:05	5	300	97,00	8,09	7,80	1,26
	16:06	6	360	81,00	7,98	7,69	1,15
	16:07	7	420	69,57	7,90	7,61	1,07
	16:08	8	480	61,00	7,83	7,54	1,00
	16:09	9	540	54,33	7,76	7,47	0,93
	16:10	10	600	49,00	7,70	7,41	0,87
	16:15	15	900	33,00	7,48	7,19	0,65
	16:20	20	1 200	25,00	7,33	7,04	0,50
	16:25	25	1 500	20,20	7,23	6,94	0,40
	16:30	30	1 800	17,00	7,15	6,86	0,32
	16:35	35	2 100	14,71	7,09	6,80	0,26
	16:40	40	2 400	13,00	7,04	6,75	0,21
	16:45	45	2 700	11,67	7,02	6,73	0,19
	16:50	50	3 000	10,60	7,02	6,73	0,19
	16:55	55	3 300	9,73	7,01	6,72	0,18
1	17:00	60	3 600	9,00	7,00	6,71	0,17
	17:10	70	4 200	7,86	7,00	6,71	0,17
	17:20	80	4 800	7,00	6,98	6,69	0,15
	17:30	90	5 400	6,33	6,98	6,69	0,14
	17:40	100	6 000	5,80	6,97	6,67	0,13
	17:50	110	6 600	5,36	6,96	6,68	0,14
2	18:00	120	7 200	5,00	6,97	6,64	0,10
	18:15	135	8 100	4,56	6,93	6,62	0,08
	18:30	150	9 000	4,20	6,91	6,61	0,07
	18:45	165	9 900	3,91	6,90	6,61	0,07
3	19:00	180	10 800	3,67	6,91	6,62	0,08
	19:30	210	12 600	3,29	6,89	6,60	0,06
4	20:00	240	14 400	3,00	6,87	6,58	0,04
	20:30	270	16 200	2,78	6,85	6,56	0,02
5	21:00	300	18 000	2,60	6,85	6,56	0,02
	21:30	330	19 800	2,45	6,84	6,55	0,01
6	22:00	360	21 600	2,33	6,84	6,55	0,01
	22:30	390	23 400	2,23	6,83	6,54	0,00
7	23:00	420	25 200	2,14	6,83	6,54	0,00
	23:30	450	27 000	2,07	6,83	6,54	0,00
8	00:00	480	28 800	2,00	6,83	6,54	0,00

FUENTE: ANA, 2019.

**PRUEBA DE ACUIFERO  
RECUPERACION - POZO IRHS - 504**



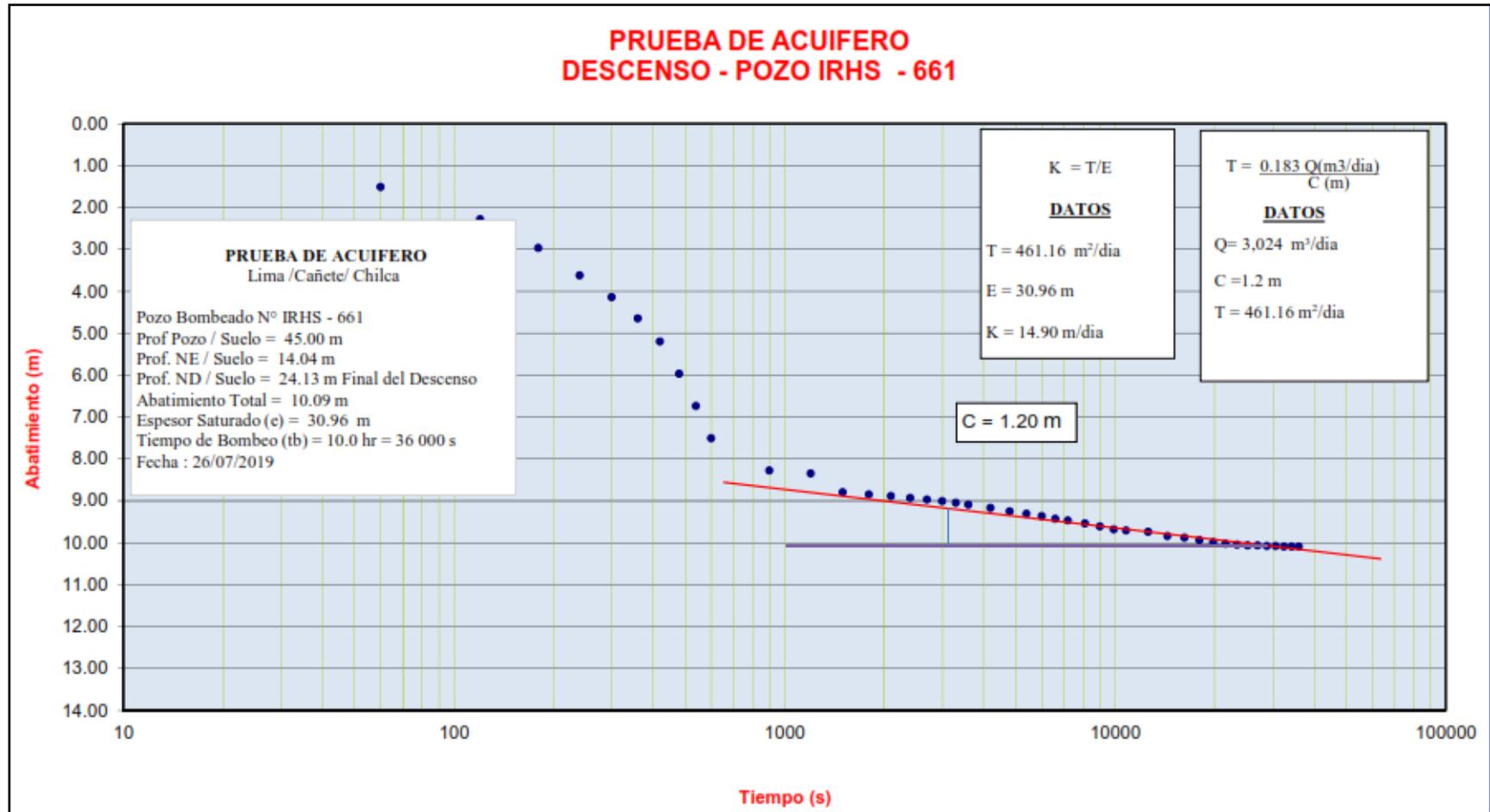
**Figura 53: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 504 – Recuperación**

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 31: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Descenso**

Fecha	TIEMPO DE DESCENSO (Td)			DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA			CAUDAL
	Hora	Min	Seg	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento (m)	Q (l/s)
26/07/2019		0	0	14,04	14,04	0,00	35,00
	08:01	1,00	60	15,55	15,55	1,51	
	08:02	2,00	120	16,32	16,32	2,28	
	08:03	3,00	180	17,01	17,01	2,97	
	08:04	4,00	240	17,66	17,66	3,62	
	08:05	5,00	300	18,18	18,18	4,14	
	08:06	6,00	360	18,69	18,69	4,65	
	08:07	7,00	420	19,24	19,24	5,20	
	08:08	8,00	480	20,01	20,01	5,97	
	08:09	9,00	540	20,78	20,78	6,74	
	08:10	10,00	600	21,55	21,55	7,51	
	08:15	15,00	900	22,32	22,32	8,28	
	08:20	20,00	1 200	22,39	22,39	8,35	
	08:25	25,00	1 500	22,84	22,84	8,80	
	08:30	30,00	1 800	22,89	22,89	8,85	
	08:35	35,00	2 100	22,93	22,93	8,89	
	08:40	40,00	2 400	22,97	22,97	8,93	
	08:45	45,00	2 700	23,01	23,01	8,97	
	08:50	50,00	3 000	23,05	23,05	9,01	
	08:55	55,00	3 300	23,09	23,09	9,05	
1	09:00	60,00	3 600	23,13	23,13	9,09	
	09:10	70,00	4 200	23,21	23,21	9,17	
	09:20	80,00	4 800	23,29	23,29	9,25	
	09:30	90,00	5 400	23,35	23,35	9,31	
	09:40	100,00	6 000	23,41	23,41	9,37	
	09:50	110,00	6 600	23,47	23,47	9,43	
2	10:00	120,00	7 200	23,51	23,51	9,47	
	10:15	135,00	8 100	23,58	23,58	9,54	
	10:30	150,00	9 000	23,65	23,65	9,61	
	10:45	165,00	9 900	23,72	23,72	9,68	
3	11:00	180,00	10 800	23,75	23,75	9,71	
	11:30	210,00	12 600	23,78	23,78	9,74	
4	12:00	240,00	14 400	23,88	23,88	9,84	
	12:30	270,00	16 200	23,92	23,92	9,88	
5	13:00	300,00	18 000	23,98	23,98	9,94	
	13:30	330,00	19 800	24,03	24,03	9,99	
6	14:00	360,00	21 600	24,07	24,07	10,03	
	14:30	390,00	23 400	24,09	24,09	10,05	
7	15:00	420,00	25 200	24,11	24,11	10,07	
	15:30	450,00	27 000	24,11	24,11	10,07	
8	16:00	480,00	28 800	24,12	24,12	10,08	
	16:30	510,00	30 600	24,12	24,12	10,08	
9	17:00	540,00	32 400	24,13	24,13	10,09	
	17:30	570,00	34 200	24,13	24,13	10,09	
10	18:00	600,00	36 000	24,13	24,13	10,09	

FUENTE: ANA, 2019.



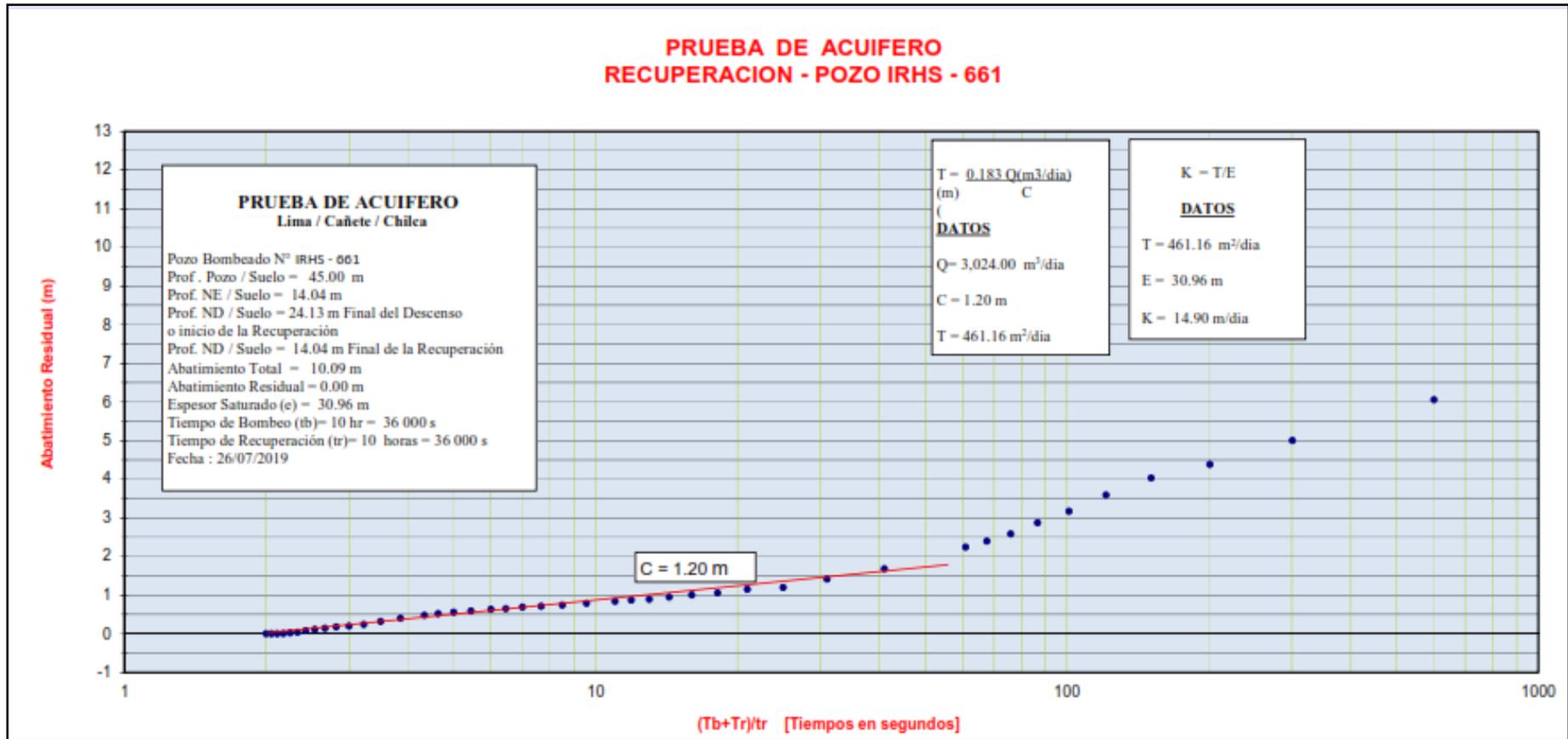
**Figura 54:** Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Descenso

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 32: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Recuperación**

Fecha	TIEMPO DE RECUPERACION ( Tr )			(Tb / Tr) + 1	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
	Hora	Min	Seg		Adim.	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)
26/07/2019		0	0	Infinito	24,13	24,13	10,09
	18:01	1	60	601,00	20,09	20,09	6,05
	18:02	2	120	301,00	19,04	19,04	5,00
	18:03	3	180	201,00	18,42	18,42	4,38
	18:04	4	240	151,00	18,07	18,07	4,03
	18:05	5	300	121,00	17,63	17,63	3,59
	18:06	6	360	101,00	17,21	17,21	3,17
	18:07	7	420	86,71	16,91	16,91	2,87
	18:08	8	480	76,00	16,62	16,62	2,58
	18:09	9	540	67,67	16,43	16,43	2,39
	18:10	10	600	61,00	16,28	16,28	2,24
	18:15	15	900	41,00	15,72	15,72	1,68
	18:20	20	1 200	31,00	15,45	15,45	1,41
	18:25	25	1 500	25,00	15,24	15,24	1,20
	18:30	30	1 800	21,00	15,19	15,19	1,15
	18:35	35	2 100	18,14	15,10	15,10	1,06
	18:40	40	2 400	16,00	15,04	15,04	1,00
	18:45	45	2 700	14,33	14,99	14,99	0,95
	18:50	50	3 000	13,00	14,93	14,93	0,89
	18:55	55	3 300	11,91	14,91	14,91	0,87
1	19:00	60	3 600	11,00	14,88	14,88	0,84
	19:10	70	4 200	9,57	14,83	14,83	0,79
	19:20	80	4 800	8,50	14,78	14,78	0,74
	19:30	90	5 400	7,67	14,75	14,75	0,71
	19:40	100	6 000	7,00	14,73	14,73	0,69
	19:50	110	6 600	6,45	14,69	14,69	0,65
2	20:00	120	7 200	6,00	14,67	14,67	0,63
	20:15	135	8 100	5,44	14,63	14,63	0,59
	20:30	150	9 000	5,00	14,60	14,60	0,56
	20:45	165	9 900	4,64	14,56	14,56	0,52
3	21:00	180	10 800	4,33	14,52	14,52	0,48
	21:30	210	12 600	3,86	14,44	14,44	0,40
4	22:00	240	14 400	3,50	14,36	14,36	0,32
	22:30	270	16 200	3,22	14,28	14,28	0,24
5	23:00	300	18 000	3,00	14,24	14,24	0,20
	23:30	330	19 800	2,82	14,22	14,22	0,18
6	00:00	360	21 600	2,67	14,18	14,18	0,14
	00:30	390	23 400	2,54	14,15	14,15	0,11
7	01:00	420	25 200	2,43	14,12	14,12	0,08
	01:30	450	27 000	2,33	14,08	14,08	0,04
8	02:00	480	28 800	2,25	14,06	14,06	0,02
	02:30	510	30 600	2,18	14,05	14,05	0,01
9	03:00	540	32 400	2,11	14,04	14,04	0,00
	03:30	570	34 200	2,05	14,04	14,04	0,00
10	04:00	600	36 000	2,00	14,04	14,04	0,00

FUENTE: ANA, 2019.



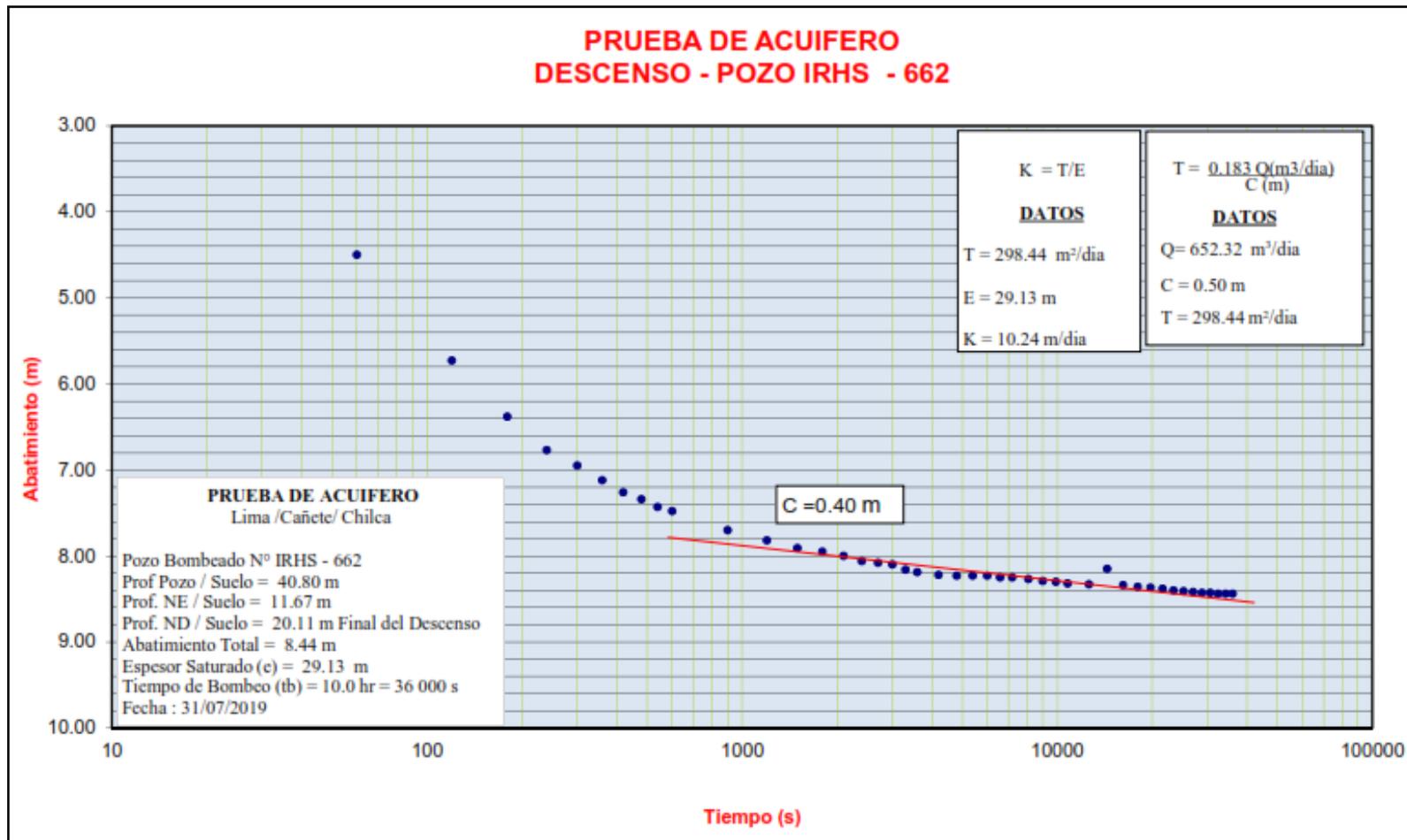
**Figura 55: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 661 – Recuperación**

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 33: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Descenso**

Fecha	TIEMPO DE DESCENSO ( Td)			DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA			CAUDAL
	Hora	Min	Seg	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento (m)	Q (l/s)
31/07/2019		0	0	11,67	11,67	0,00	7,55
	08:01	1,00	60	16,17	16,17	4,50	
	08:02	2,00	120	17,40	17,40	5,73	
	08:03	3,00	180	18,05	18,05	6,38	
	08:04	4,00	240	18,44	18,44	6,77	
	08:05	5,00	300	18,62	18,62	6,95	
	08:06	6,00	360	18,79	18,79	7,12	
	08:07	7,00	420	18,93	18,93	7,26	
	08:08	8,00	480	19,01	19,01	7,34	
	08:09	9,00	540	19,10	19,10	7,43	
	08:10	10,00	600	19,15	19,15	7,48	
	08:15	15,00	900	19,37	19,37	7,70	
	08:20	20,00	1 200	19,49	19,49	7,82	
	08:25	25,00	1 500	19,58	19,58	7,91	
	08:30	30,00	1 800	19,62	19,62	7,95	
	08:35	35,00	2 100	19,67	19,67	8,00	
	08:40	40,00	2 400	19,73	19,73	8,06	
	08:45	45,00	2 700	19,75	19,75	8,08	
	08:50	50,00	3 000	19,77	19,77	8,10	
	08:55	55,00	3 300	19,83	19,83	8,16	
1	09:00	60,00	3 600	19,86	19,86	8,19	
	09:10	70,00	4 200	19,89	19,89	8,22	
	09:20	80,00	4 800	19,90	19,90	8,23	
	09:30	90,00	5 400	19,90	19,90	8,23	
	09:40	100,00	6 000	19,90	19,90	8,23	
	09:50	110,00	6 600	19,92	19,92	8,25	
2	10:00	120,00	7 200	19,92	19,92	8,25	
	10:15	135,00	8 100	19,94	19,94	8,27	
	10:30	150,00	9 000	19,96	19,96	8,29	
	10:45	165,00	9 900	19,97	19,97	8,30	
3	11:00	180,00	10 800	19,99	19,99	8,32	
	11:30	210,00	12 600	20,00	20,00	8,33	
4	12:00	240,00	14 400	19,82	19,82	8,15	
	12:30	270,00	16 200	20,01	20,01	8,34	
5	13:00	300,00	18 000	20,03	20,03	8,36	
	13:30	330,00	19 800	20,04	20,04	8,37	
6	14:00	360,00	21 600	20,05	20,05	8,38	
	14:30	390,00	23 400	20,07	20,07	8,40	
7	15:00	420,00	25 200	20,08	20,08	8,41	
	15:30	450,00	27 000	20,09	20,09	8,42	
8	16:00	480,00	28 800	20,10	20,10	8,43	
	16:30	510,00	30 600	20,10	20,10	8,43	
9	17:00	540,00	32 400	20,11	20,11	8,44	
	17:30	570,00	34 200	20,11	20,11	8,44	
10	18:00	600,00	36 000	20,11	20,11	8,44	

FUENTE: ANA, 2019.



**Figura 56: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Descenso**

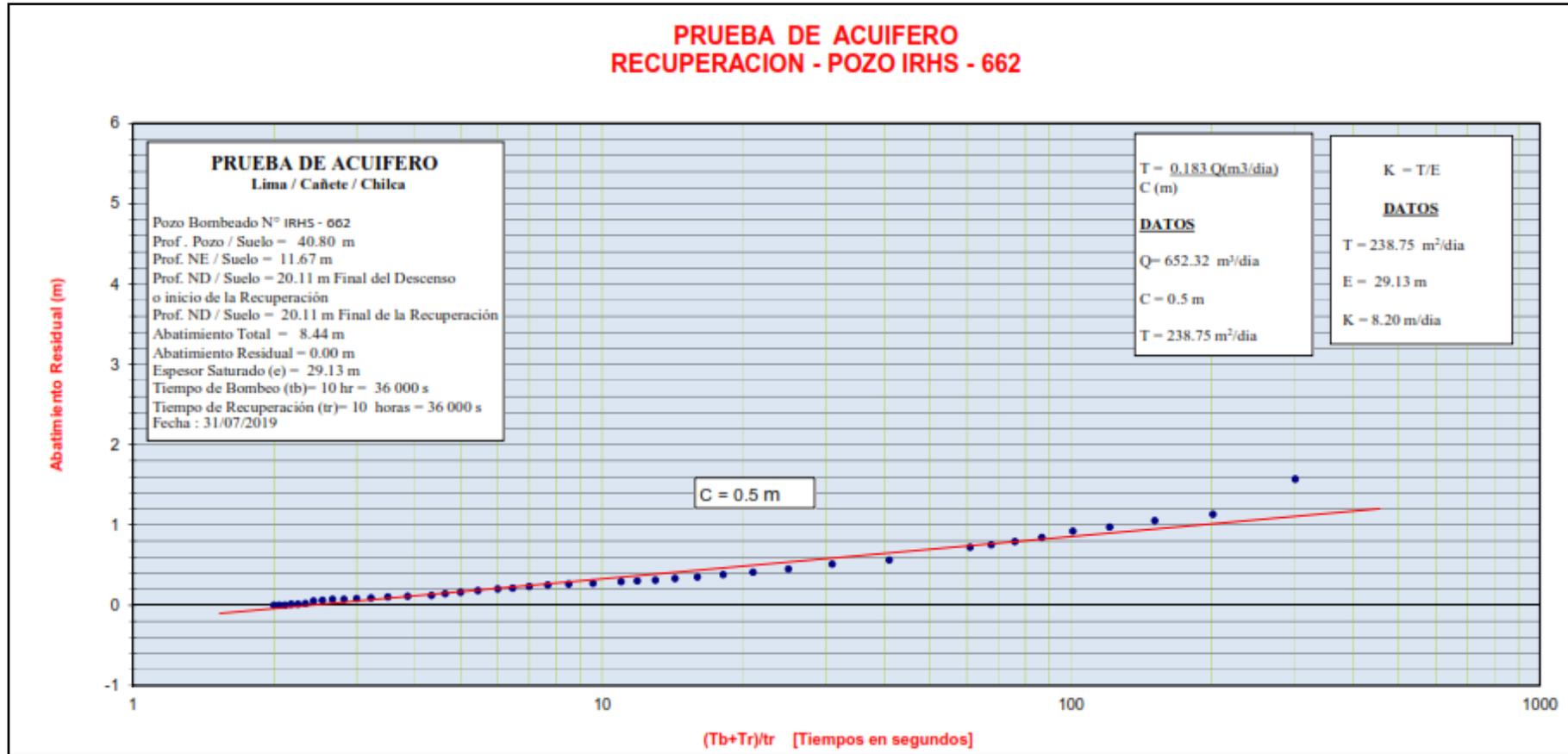
FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 34: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Recuperación**

Fecha	TIEMPO DE RECUPERACION ( Tr )			(Tb/ Tr ) + 1	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
	Hora	Min	Seg		Adim.	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)
31/07/2019	18:00	0	0	Infinito	20,11	20,11	8,44
	18:01	1	60	601,00	15,44	15,44	3,77
	18:02	2	120	301,00	13,24	13,24	1,57
	18:03	3	180	201,00	12,80	12,80	1,13
	18:04	4	240	151,00	12,72	12,72	1,05
	18:05	5	300	121,00	12,67	12,67	0,97
	18:06	6	360	101,00	12,59	12,59	0,92
	18:07	7	420	86,71	12,51	12,51	0,84
	18:08	8	480	76,00	12,46	12,46	0,79
	18:09	9	540	67,67	12,42	12,42	0,75
	18:10	10	600	61,00	12,39	12,39	0,72
	18:15	15	900	41,00	12,23	12,23	0,56
	18:20	20	1 200	31,00	12,18	12,18	0,51
	18:25	25	1 500	25,00	12,12	12,12	0,45
	18:30	30	1 800	21,00	12,08	12,08	0,41
	18:35	35	2 100	18,14	12,05	12,05	0,38
	18:40	40	2 400	16,00	12,02	12,02	0,35
	18:45	45	2 700	14,33	12,00	12,00	0,33
	18:50	50	3 000	13,00	11,98	11,98	0,31
	18:55	55	3 300	11,91	11,97	11,97	0,30
1	19:00	60	3 600	11,00	11,96	11,96	0,29
	19:10	70	4 200	9,57	11,94	11,94	0,27
	19:20	80	4 800	8,50	11,93	11,93	0,26
	19:30	90	5 400	7,67	11,92	11,92	0,25
	19:40	100	6 000	7,00	11,90	11,90	0,23
2	19:50	110	6 600	6,45	11,88	11,88	0,21
	20:00	120	7 200	6,00	11,87	11,87	0,20
	20:15	135	8 100	5,44	11,85	11,85	0,18
	20:30	150	9 000	5,00	11,83	11,83	0,16
3	20:45	165	9 900	4,64	11,81	11,81	0,14
	21:00	180	10 800	4,33	11,79	11,79	0,12
4	21:30	210	12 600	3,86	11,78	11,78	0,11
	22:00	240	14 400	3,50	11,77	11,77	0,10
5	22:30	270	16 200	3,22	11,76	11,76	0,09
	23:00	300	18 000	3,00	11,75	11,75	0,08
6	23:30	330	19 800	2,82	11,74	11,74	0,07
	00:00	360	21 600	2,67	11,74	11,74	0,07
7	00:30	390	23 400	2,54	11,73	11,73	0,06
	01:00	420	25 200	2,43	11,72	11,72	0,05
8	01:30	450	27 000	2,33	11,69	11,69	0,02
	02:00	480	28 800	2,25	11,68	11,68	0,01
9	02:30	510	30 600	2,18	11,68	11,68	0,01
	03:00	540	32 400	2,11	11,67	11,67	0,00
10	03:30	570	34 200	2,05	11,67	11,67	0,00
	04:00	600	36 000	2,00	11,67	11,67	0,00

FUENTE: ANA, 2019.

**PRUEBA DE ACUIFERO  
RECUPERACION - POZO IRHS - 662**



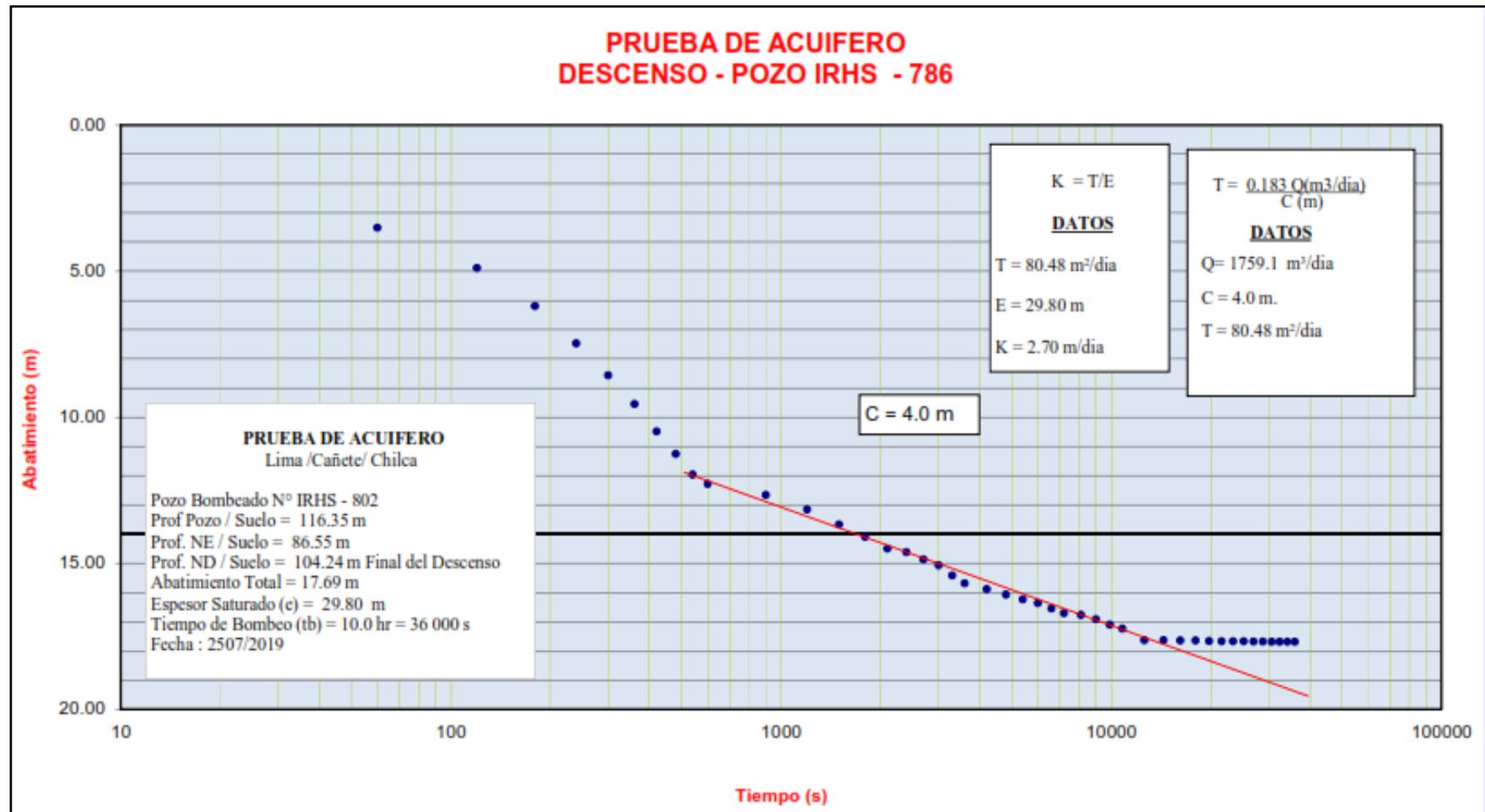
**Figura 57: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 662 – Recuperación**

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 35: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Descenso**

Fecha	TIEMPO DE DESCENSO ( Td)			DESCENSO DEL NIVEL DEL AGUA			CAUDAL
	Hora	Min	Seg	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)	Abatimiento (m)	Q (l/s)
25/07/2019		0	0	86,55	86,55	0,15	20,36
	08:01	1,00	60	90,06	89,91	3,51	
	08:02	2,00	120	91,44	91,29	4,89	
	08:03	3,00	180	92,75	92,60	6,20	
	08:04	4,00	240	94,02	93,87	7,47	
	08:05	5,00	300	95,12	94,97	8,57	
	08:06	6,00	360	96,10	95,95	9,55	
	08:07	7,00	420	97,04	96,89	10,49	
	08:08	8,00	480	97,81	97,66	11,26	
	08:09	9,00	540	98,52	98,37	11,97	
	08:10	10,00	600	98,84	98,69	12,29	
	08:15	15,00	900	99,22	99,07	12,67	
	08:20	20,00	1 200	99,71	99,56	13,16	
	08:25	25,00	1 500	100,23	100,08	13,68	
	08:30	30,00	1 800	100,65	100,50	14,10	
	08:35	35,00	2 100	101,05	100,90	14,50	
	08:40	40,00	2 400	101,17	101,02	14,62	
	08:45	45,00	2 700	101,42	101,27	14,87	
	08:50	50,00	3 000	101,62	101,47	15,07	
	08:55	55,00	3 300	101,97	101,82	15,42	
1	09:00	60,00	3 600	102,24	102,09	15,69	
	09:10	70,00	4 200	102,44	102,29	15,89	
	09:20	80,00	4 800	102,62	102,47	16,07	
	09:30	90,00	5 400	102,79	102,64	16,24	
	09:40	100,00	6 000	102,92	102,77	16,37	
	09:50	110,00	6 600	103,10	102,95	16,55	
2	10:00	120,00	7 200	103,26	103,11	16,71	
	10:15	135,00	8 100	103,32	103,17	16,77	
	10:30	150,00	9 000	103,47	103,32	16,92	
	10:45	165,00	9 900	103,65	103,50	17,10	
3	11:00	180,00	10 800	103,79	103,64	17,24	
	11:30	210,00	12 600	104,19	104,04	17,64	
4	12:00	240,00	14 400	104,19	104,04	17,64	
	12:30	270,00	16 200	104,20	104,05	17,65	
5	13:00	300,00	18 000	104,20	104,05	17,65	
	13:30	330,00	19 800	104,21	104,06	17,66	
6	14:00	360,00	21 600	104,22	104,07	17,67	
	14:30	390,00	23 400	104,22	104,07	17,67	
7	15:00	420,00	25 200	104,22	104,07	17,67	
	15:30	450,00	27 000	104,23	104,08	17,68	
8	16:00	480,00	28 800	104,23	104,08	17,68	
	16:30	510,00	30 600	104,24	104,09	17,69	
9	17:00	540,00	32 400	104,24	104,09	17,69	
	17:30	570,00	34 200	104,24	104,09	17,69	
10	18:00	600,00	36 000	104,24	104,09	17,69	

FUENTE: ANA, 2019.



**Figura 58: Prueba de bombeo en el pozo IRHS Nº 786 – Descenso**

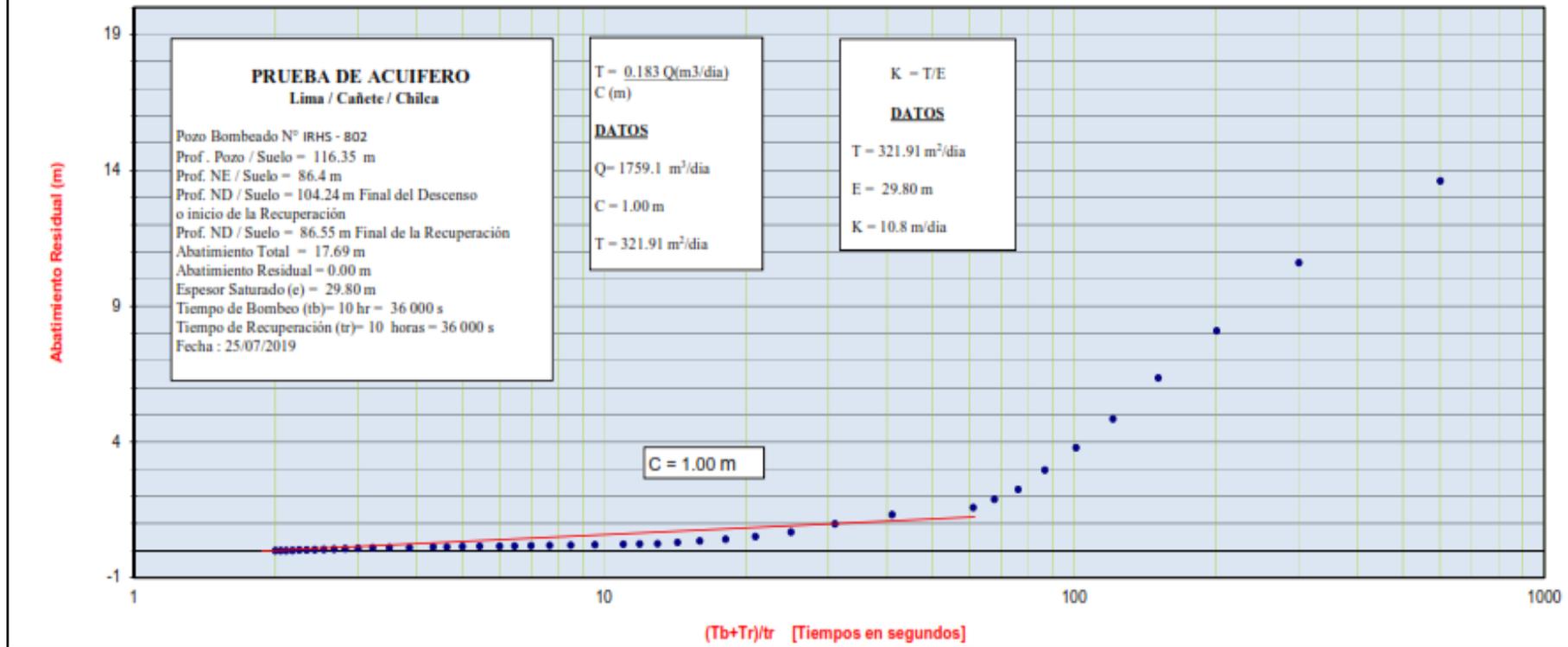
FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 36: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Recuperación**

Fecha	TIEMPO DE RECUPERACION ( Tr )			(Tb / Tr ) + 1	RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA		
	Hora	Min	Seg		Adim.	Prof ND/ PR (m)	Prof ND/Suelo (m)
25/07/2019	18:00	0	0	Infinito	104,24	104,09	17,69
	18:01	1	60	601,00	100,16	100,01	13,61
	18:02	2	120	301,00	97,14	96,99	10,59
	18:03	3	180	201,00	94,64	94,49	8,09
	18:04	4	240	151,00	92,90	92,75	6,35
	18:05	5	300	121,00	91,40	91,25	4,85
	18:06	6	360	101,00	90,34	90,19	3,79
	18:07	7	420	86,71	89,52	89,37	2,97
	18:08	8	480	76,00	88,80	88,65	2,25
	18:09	9	540	67,67	88,44	88,29	1,89
	18:10	10	600	61,00	88,14	87,99	1,59
	18:15	15	900	41,00	87,87	87,72	1,32
	18:20	20	1 200	31,00	87,53	87,38	0,98
	18:25	25	1 500	25,00	87,23	87,08	0,68
	18:30	30	1 800	21,00	87,07	86,92	0,52
	18:35	35	2 100	18,14	86,97	86,82	0,42
	18:40	40	2 400	16,00	86,90	86,75	0,35
	18:45	45	2 700	14,33	86,85	86,70	0,30
	18:50	50	3 000	13,00	86,80	86,65	0,25
	18:55	55	3 300	11,91	86,79	86,64	0,24
1	19:00	60	3 600	11,00	86,78	86,63	0,23
	19:10	70	4 200	9,57	86,77	86,62	0,22
	19:20	80	4 800	8,50	86,75	86,60	0,20
	19:30	90	5 400	7,67	86,74	86,59	0,19
	19:40	100	6 000	7,00	86,73	86,58	0,18
2	19:50	110	6 600	6,45	86,72	86,57	0,17
	20:00	120	7 200	6,00	86,71	86,56	0,16
	20:15	135	8 100	5,44	86,71	86,56	0,16
	20:30	150	9 000	5,00	86,70	86,55	0,15
3	20:45	165	9 900	4,64	86,68	86,53	0,13
	21:00	180	10 800	4,33	86,68	86,53	0,13
	21:30	210	12 600	3,86	86,66	86,51	0,11
4	22:00	240	14 400	3,50	86,67	86,52	0,12
	22:30	270	16 200	3,22	86,66	86,51	0,11
5	23:00	300	18 000	3,00	86,63	86,48	0,08
	23:30	330	19 800	2,82	86,62	86,47	0,07
6	00:00	360	21 600	2,67	86,60	86,45	0,05
	00:30	390	23 400	2,54	86,59	86,44	0,04
7	01:00	420	25 200	2,43	86,58	86,43	0,03
	01:30	450	27 000	2,33	86,57	86,42	0,02
8	02:00	480	28 800	2,25	86,57	86,42	0,02
	02:30	510	30 600	2,18	86,56	86,41	0,01
9	03:00	540	32 400	2,11	86,55	86,40	0,00
	03:30	570	34 200	2,05	86,55	86,40	0,00
10	04:00	600	36 000	2,00	86,55	86,40	0,00

FUENTE: ANA, 2019.

**PRUEBA DE ACUIFERO  
RECUPERACION - POZO IRHS - 786**



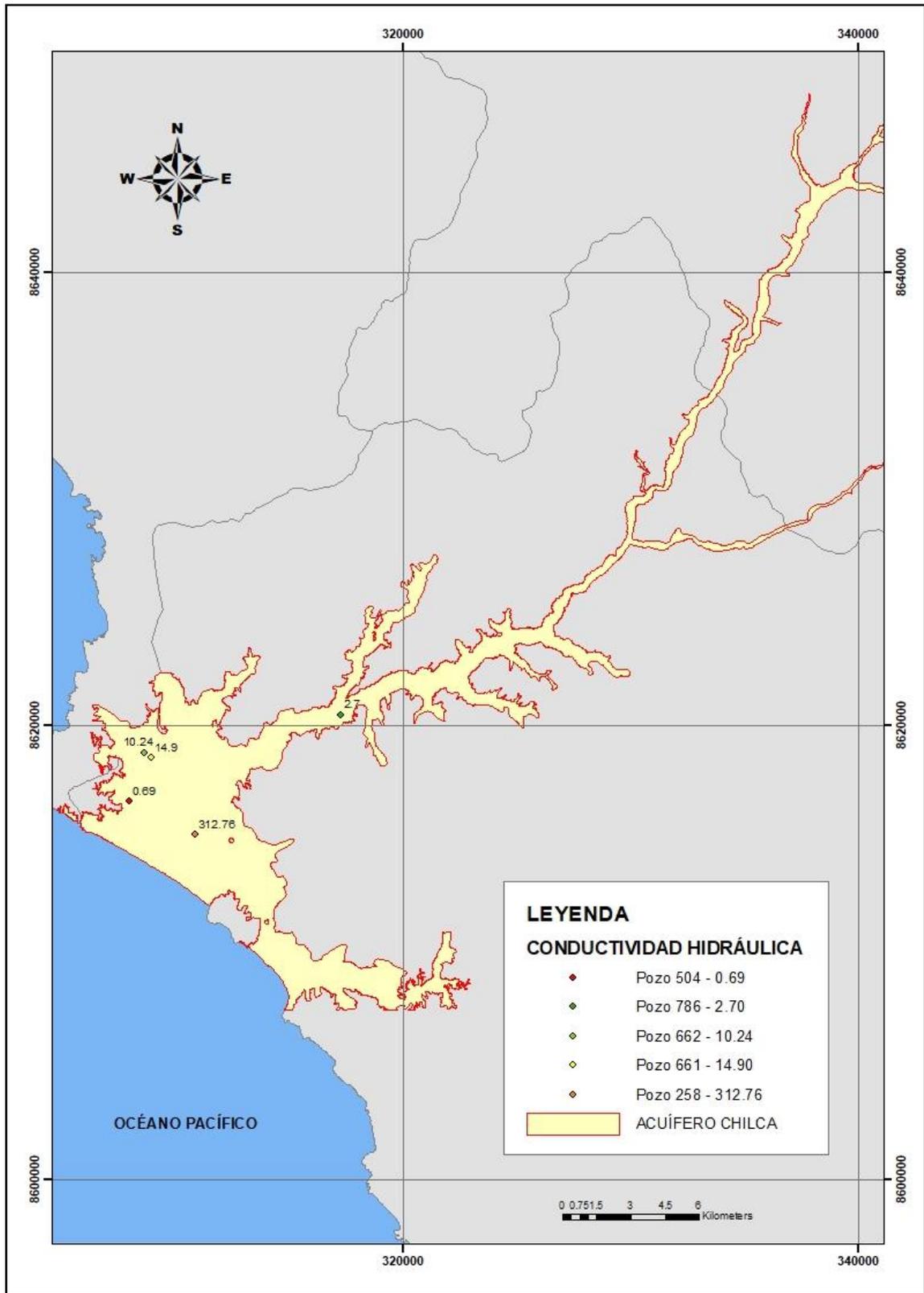
**Figura 59: Prueba de bombeo en el pozo IRHS N° 786 – Recuperación**

FUENTE: ANA, 2019.

**Tabla 37: Resumen de conductividad hidráulica en las pruebas de bombeo**

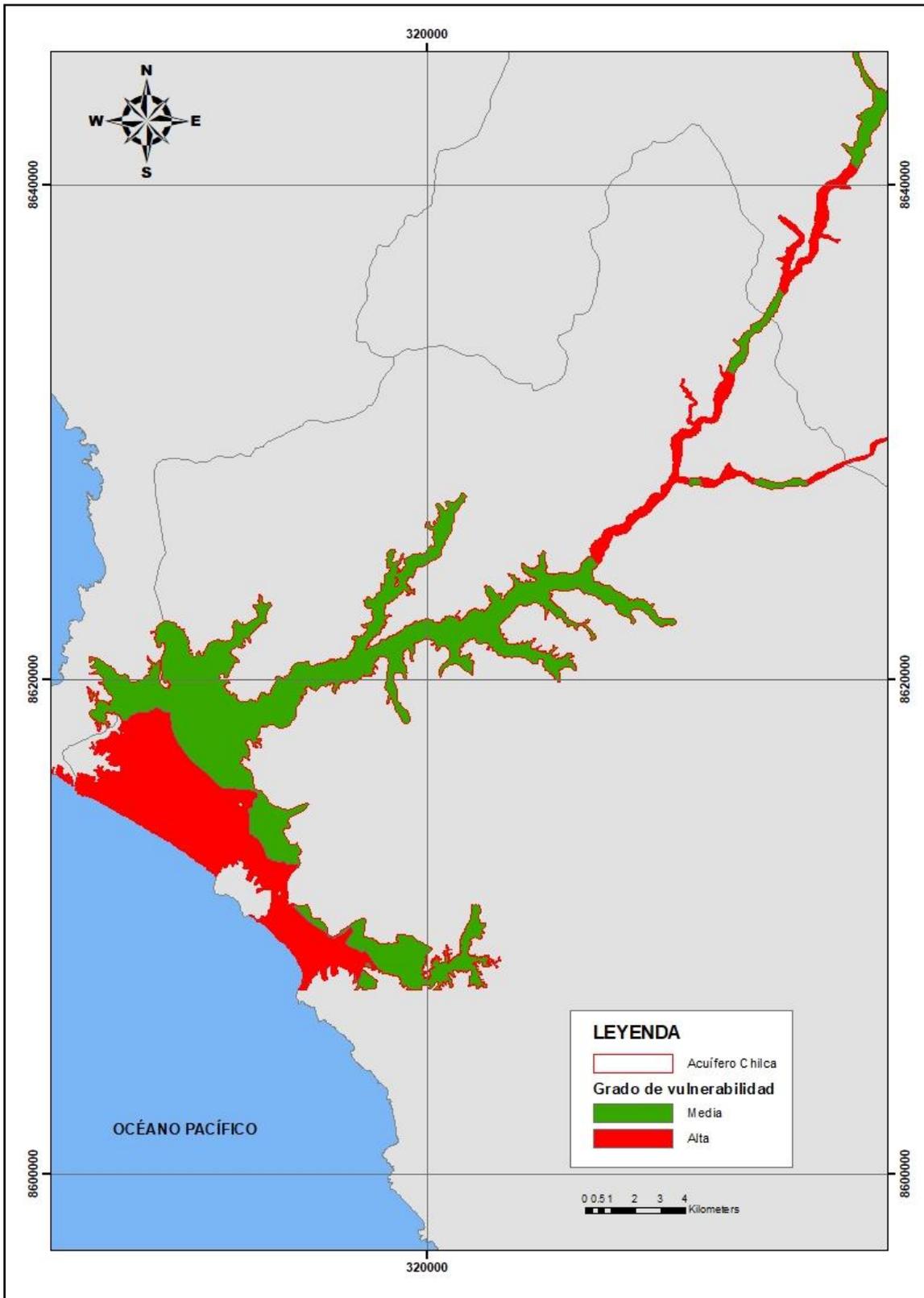
Código IRHS	Este	Norte	Conductividad hidráulica (m/d)	
			Descenso	Recuperación
258	310 876	8 615 177	312,76	156,38
504	308 012	8 616 653	0,69	20,74
661	308 953	8 618 578	14,90	14,90
662	308 677	8 618 801	10,24	8,20
786	317 294	8 620 474	2,70	10,80

FUENTE: ANA, 2019.

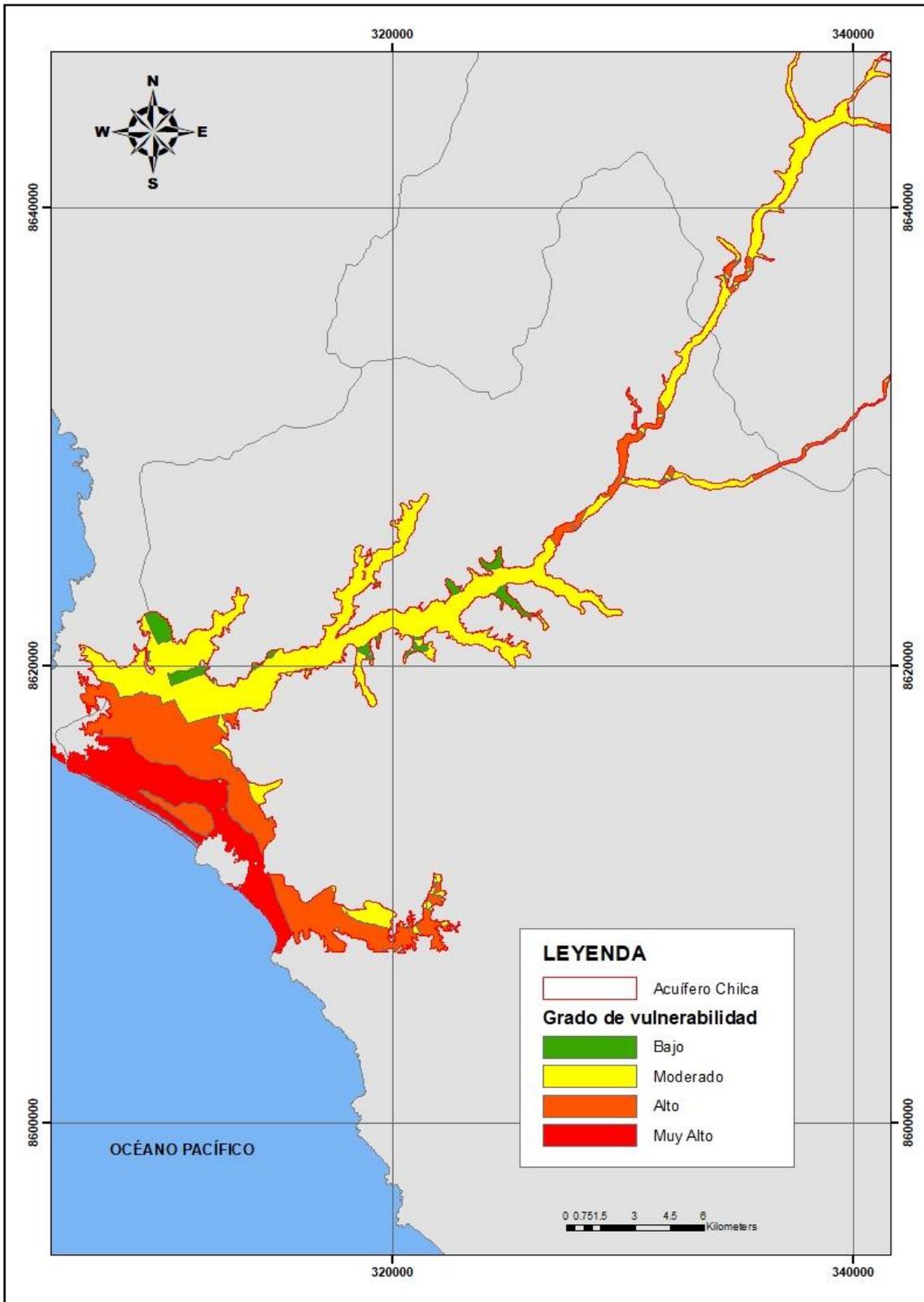


**Figura 60:** Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo

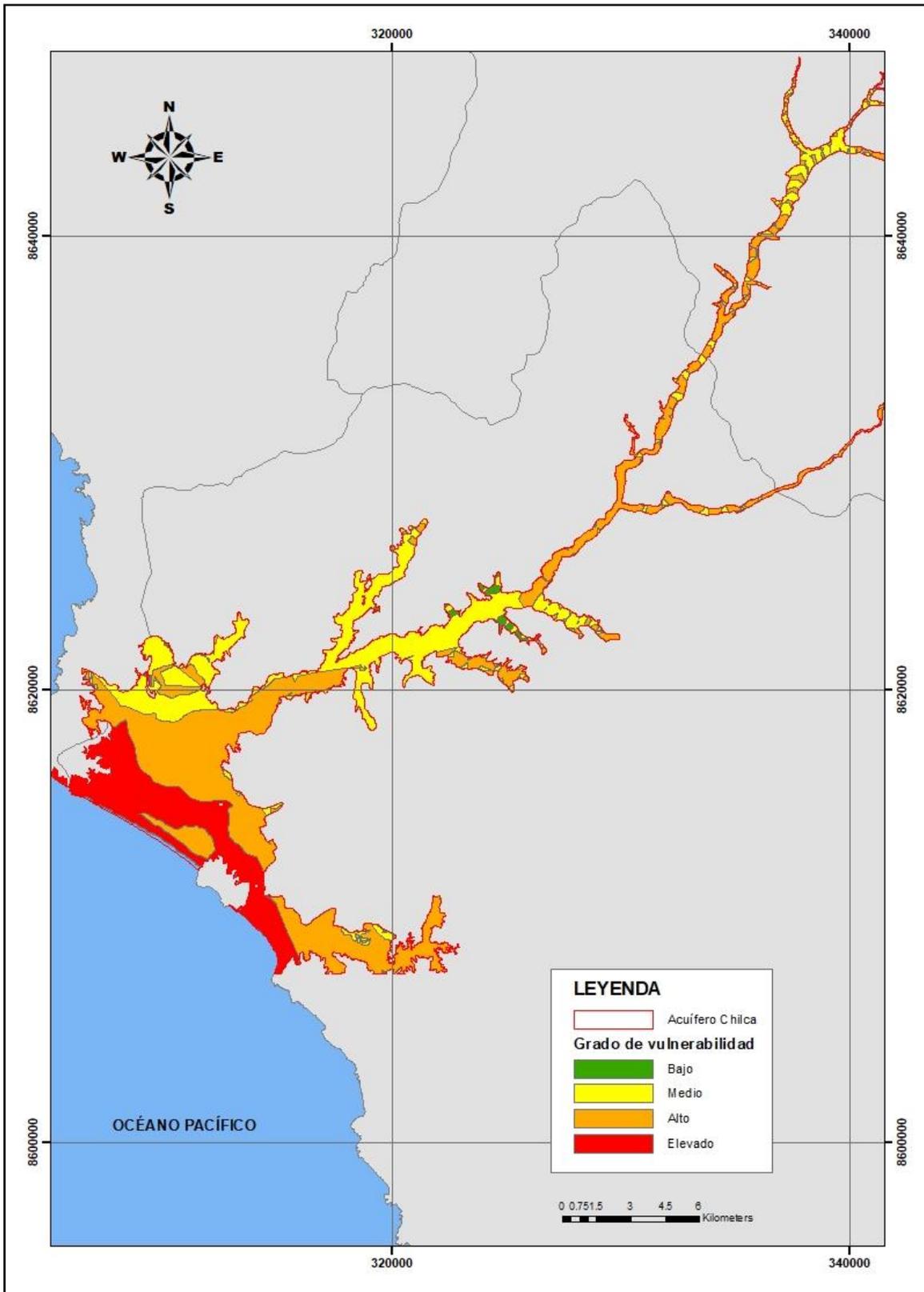
FUENTE: ANA, 2019.



**Figura 61: Grado de vulnerabilidad – método GOD (2015)**



*Figura 62: Grado de vulnerabilidad – método DRASTIC (2015)*



**Figura 63: Grado de vulnerabilidad – método SINTACS (2015)**

**Tabla 38: Áreas de los grados de vulnerabilidad (2015)**

<b>Grado de vulnerabilidad</b>	<b>Método GOD</b>		<b>Método DRASTIC</b>		<b>Método SINTACS</b>	
	<b>(Km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(Km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>
Bajo	0,00	0,00	3,19	2,96	1,75	1,62
Medio/moderado	40,84	37,88	52,89	49,06	32,85	30,47
Alto	66,97	62,12	34,08	31,61	53,39	49,52
Muy alto	0,00	0,00	17,65	16,37	19,82	18,38

**Anexo 2: Fotos**



***Figura 64: Cisterna con agua obtenida del pozo IRHS 684***



***Figura 65: Reservorio abastecido del pozo IRHS 684***



***Figura 66: Laguna de oxidación en mal estado***



***Figura 67: Laguna de oxidación***



**Figura 68: Toma de coordenadas de las lagunas de oxidación**



**Figura 69: Canal derivación de la laguna de oxidación hacia el mar sin mantenimiento**



***Figura 70: Canal de derivación con agua contaminada***



***Figura 71: Contaminación de pantanos naturales***



*Figura 72: Pozo IRHS 342*



*Figura 73: Midiendo nivel estático del pozo IRHS 342*



**Figura 74:** Tomando coordenadas del pozo IRHS 344



**Figura 75:** Medición del nivel estático del pozo IRHS 344



**Figura 76:** Medición del nivel estático del pozo IRHS 626



**Figura 77:** Pozo IRHS 684