

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO CASMA -  
SECTOR SAN RAFAEL”**

Presentado por:

**KARIN LISBETH CARBAJO DE LA CRUZ**

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

Lima - PERÚ

2015

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo con eterna gratitud a mi Dios quien supo guiar mi camino y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres **Janet De La Cruz y José Carbajo**, por su apoyo incondicional, consejo, comprensión y amor a lo largo de toda mi vida

A mis hermanas **Danitza y Valery** por todos los momentos de alegría que pasamos juntas.

A mis abuelos **Augusto, Luz, Amparo y Hugo**, porque me inculcaron el amor, respeto y orgullo a la labor que realizan.

.A mi tío **Bernardo De La Cruz** por su apoyo y porque con su ejemplo me enseñó que todo se puede lograr en esta vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera han contribuido con el desarrollo y publicación del presente trabajo, en especial a:

- Ing. MSc. Guillermo Aguilar Giraldo, en calidad de patrocinador, por sus acertado consejos y gestor de la presente investigación
- Agrícola Chapi S.A. por haber prestado todas las facilidades del caso en el desarrollo de la investigación.
- A mi familia que con su ejemplo me ha incentivado a seguir adelante y a persistir en mis sueños.
- A mis amigos de la facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM, Katherine Rojas Delgado, Lizbeth Fernández Valverde, Liz Rivera Serna, Anthony Camones Cano, Steven Ibarra Vera y Jhosep Ochoa Gamarra, por los momentos inolvidables que compartimos en nuestra alma mater y por el apoyo incondicional que me brindaron.

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. GENERALIDADES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	3
2.1. HIDROGEOLOGÍA .....	3
2.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	3
2.2.1. Importancia de las aguas subterráneas.....	3
2.3. ACUÍFEROS .....	4
2.4. PROPIEDADES HIDRÁULICAS .....	5
2.4.1. Permeabilidad .....	5
2.4.2. Coeficiente de almacenamiento.....	7
2.4.3. Transmisividad .....	7
2.5. BALANCE HÍDRICO.....	7
2.6. RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	8
2.7. SOBREEXPLOTACIÓN .....	8
2.7.1. Consecuencias de la sobreexplotación.....	9
2.7.2. Medidas de prevención de la sobreexplotación.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. MATERIALES .....	11
3.1.1. Materiales, equipos y programas de cómputo .....	11
3.1.2. Características generales del área de estudio.....	11
3.1.3. Información climatológica.....	14
3.1.4. Información hidrológica .....	15
3.1.5. Información geomorfológica .....	16



3.1.6. Información geológica .....	18
3.2. MÉTODOS .....	21
3.2.1. Análisis de la información hidrológica.....	21
3.2.2. Análisis de la información climatológica .....	23
3.2.3. Análisis de la información geofísica.....	24
3.2.4. Análisis de las características físicas del reservorio acuífero .....	25
3.2.5. Actualización del inventario de fuentes de agua subterránea.....	25
3.2.6. Análisis de la napa freática .....	26
3.2.7. Calidad del agua subterránea.....	27
3.2.8. Hidrodinámica subterránea.....	29
3.2.9. Balance hídrico .....	33
3.2.10. Cálculo de la reserva total, aprovechable y renovable .....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA .....	35
4.1.1. Generación sintética de caudales mensuales para el periodo 2003- 2014 .....	35
4.1.2. Análisis de persistencia de las descargas medias mensuales (periodo 1973- 2014).....	37
4.1.3. Análisis de tendencia de las descargas medias mensuales para el periodo 1973 – 2014 .....	39
4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA .....	40
4.2.1. Análisis de las variables climatológicas .....	40
4.2.2. Determinación de la evapotranspiración (ET <sub>o</sub> ).....	40
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA .....	42
4.3.1. Prospección geofísica .....	42
4.4. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RESERVORIO ACUÍFERO .....	45
4.4.1. Geometría del acuífero.....	45
4.4.2. El medio poroso .....	45

4.5. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	46
4.5.1. Tipo de pozos inventariados.....	46
4.5.2. Estado de los pozos inventariados.....	47
4.5.3. Uso de los pozos.....	50
4.5.4. Rendimiento de los pozos.....	50
4.5.5. Características técnicas de los pozos.....	51
4.6. ANÁLISIS DE LA NAPA FREÁTICA.....	51
4.6.1. Análisis morfológico de la napa.....	51
4.6.2. Análisis de profundidad de la napa freática.....	53
4.6.3. Análisis de la fluctuación de cargas hidráulicas.....	54
4.7. CALIDAD DEL AGUA.....	57
4.7.1. Análisis de la conductividad eléctrica.....	57
4.7.2. Análisis del pH.....	59
4.7.3. Interpretación de los datos del análisis químico.....	60
4.7.4. Clasificación del agua.....	62
4.8. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA.....	65
4.8.1. Interpretación de la transmisividad y conductividad hidráulica.....	65
4.8.2. Rendimiento específico (Sy).....	67
4.8.3. Radios de influencia.....	71
4.9. BALANCE HÍDRICO.....	73
4.9.1. Recarga del acuífero.....	73
4.9.2. Descarga del acuífero.....	74
4.9.3. Balance.....	75
4.10. CÁLCULO DE LA RESERVA TOTAL, APROVECHABLE Y RENOVABLE ....	76
4.10.1. Reserva total de agua subterránea.....	76
4.10.2. Reserva aprovechable de agua subterránea.....	76

4.10.3. Reserva renovable de agua Subterránea .....	77
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES .....	80
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	81

## RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 2.1: Clasificación de terrenos por la permeabilidad según Johnson (1967), Schoeller (1962) y Ward (1967) .....	6
Cuadro 3.1: Población total según sexo y tipo de población – Distrito Casma 2007.....	13
Cuadro 3.2: Cultivos instalados en el sector San Rafael .....	14
Cuadro 3.3: Características de la estación Buenavista .....	15
Cuadro 3.4: Información climatológica de la estación Buenavista .....	15
Cuadro 3.5: Descarga media mensual histórica, período 1973 – 2002 (m <sup>3</sup> /s).....	16
Cuadro 3.6: Resistividades de algunos materiales (Ohmios-metro).....	25
Cuadro 3.7: Clasificación de agua para riego según Wilcox.....	28
Cuadro 4.1: Comparación de índices estadísticos entre la serie generada y la serie histórica.....	36
Cuadro 4.2: Descarga media mensual generada para el periodo 2003 – 2014 (m <sup>3</sup> /s) .....	37
Cuadro 4.3: Índices estadísticos descarga histórica, período 1973 – 2014 (m <sup>3</sup> /s).....	38
Cuadro 4.4: Descarga media mensual para una persistencia de ocurrencia del 50, 75 y 90 por ciento (m <sup>3</sup> /s y MMC) .....	38
Cuadro 4.5: Análisis de tendencia por el método de Mann- Kendall.....	39
Cuadro 4.6: Cálculo de la evapotranspiración (ET <sub>o</sub> ) – Estación Buenavista.....	41
Cuadro 4.7: Resumen de horizontes, resistividades, espesores de los SEV – San Rafael ..	43
Cuadro 4.8: Estadísticos de las isobatas – San Rafael.....	44
Cuadro 4.9: Estadísticos de las isópacas – San Rafael .....	45
Cuadro 4.10: Distribución de los pozos por sector político de la zona de estudio .....	46
Cuadro 4.11: Distribución de los pozos según su tipo .....	47
Cuadro 4.12: Distribución de los pozos según su estado .....	48
Cuadro 4.13: Distribución de los pozos según su estado, por sectores .....	48
Cuadro 4.14: Distribución de los pozos utilizados según su tipo, por sectores.....	49
Cuadro 4.15: Distribución de los pozos utilizables según su tipo, por sectores.....	49
Cuadro 4.16: Distribución de los pozos según su uso .....	50
Cuadro 4.17: Variación de la carga hidráulica en época de avenidas y estiaje (Zona I) .....	55
Cuadro 4.18: Variación de la carga hidráulica en época de avenidas y estiaje (Zona II)....	56

Cuadro 4.19: Variación de la carga hidráulicas en época de avenidas y estiaje (Zona III).	57
Cuadro 4.20: Conductividad eléctrica – San Rafael.....	58
Cuadro 4.21: pH – San Rafael.....	59
Cuadro 4.22: Análisis químico– San Rafael.....	60
Cuadro 4.23: Clasificación de las aguas subterráneas – San Rafael .....	61
Cuadro 4.24: Clasificación del agua según la conductividad hidráulica – San Rafael .....	63
Cuadro 4.25: Propiedades hidrodinámicas– San Rafael.....	67
Cuadro 4.26: Rendimiento específico (Sy) – San Rafael .....	68
Cuadro 4.27: Estadísticos del rendimiento específico (Sy) – San Rafael .....	68
Cuadro 4.28: Propiedades hidrodinámicas – Zona I.....	69
Cuadro 4.29: Propiedades hidrodinámicas – Zona II .....	69
Cuadro 4.30: Propiedades hidrodinámicas – Zona III.....	70
Cuadro 4.31: Propiedades hidrodinámicas – Zona IV.....	70
Cuadro 4.32: Radio de influencia – Zona I .....	71
Cuadro 4.33: Radio de influencia – Zona II .....	72
Cuadro 4.34: Radio de influencia – Zona III.....	72
Cuadro 4.35: Radio de influencia – Zona IV.....	73
Cuadro 4.36: Estimación de la recarga en el acuífero Casma – Sector San Rafael.....	73
Cuadro 4.37: Recarga en el acuífero Casma –Sector San Rafael.....	74
Cuadro 4.38: Estimación de la descarga en el acuífero.....	75
Cuadro 4.39: Descarga en el acuífero.....	75
Cuadro 4.40: Balance hídrico en el acuífero .....	76

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 4. 1: Comparación de la serie anual histórica con la generada .....	35
Figura 4. 2: Comparación de la serie estacional histórica con la generada .....	36
Figura 4.3: Variación mensual de la ETo (mm/día) .....	41
Figura 4. 4: Tipo de pozos – San Rafael.....	47
Figura 4.5: Estado de los pozos – San Rafael.....	48
Figura 4.6: Diagrama triangular de piper .....	61
Figura 4.7: Diagrama de análisis de agua tipo H. Schoeller.....	62
Figura 4.8: Diagrama de Wilcox .....	64

## ANEXOS

### **Anexo 1: Álbum fotográfico**

Foto 1: Depósitos cuaternarios de la primera terraza constituidos por clastos gruesos en su base

Foto 2: Afloramientos rocosos, límite lateral del acuífero en estudio.

Foto 3: Depósito fluvio – aluvial

Foto 4: Inventario de fuentes de agua subterránea

Foto 5: Monitoreo de niveles de agua pozo IRHS 28

Foto 6: Monitoreo de niveles de agua pozo IRHS 31

### **Anexo 2: Cuadros y Figuras**

Cuadro 2.1: Inventario de fuentes de agua subterránea

Cuadro 2.2: Monitoreo del nivel freático – abril 2008

Cuadro 2.3: Monitoreo del nivel freático – agosto 2012

Cuadro 2.4: Monitoreo del nivel freático – agosto 2013

Cuadro 2.5: Monitoreo del nivel freático – enero 2014

Cuadro 2.6: Monitoreo del nivel freático – agosto 2014

Cuadro 2.7: Prueba de bombeo pozo P-2 – recuperación

Cuadro 2.8: Prueba de bombeo pozo P-4 – recuperación

Cuadro 2.9: Prueba de bombeo pozo P-4 – pozo de obs. IRHS 27

Cuadro 2.10: Prueba de bombeo pozo P-4 – Pz-04

Figura 2.1: Hidrograma de descargas medias mensuales ( $m^3/s$ ) - Estación Tutuma, periodo (1973 – 2014)

Figura 2.2: Hidrograma de descargas máxima, mínima y media mensuales del río Casma

Figura 2.3: Persistencia de las descargas medias mensuales ( $m^3/s$ ) - Estación Tutuma, periodo (1973 – 2014)

Figura 2.4: Análisis de tendencia de los caudales medios mensuales - Estación Tutuma, periodo (1973 – 1997)

Figura 2.5: Análisis de tendencia de los caudales medios mensuales- Estación Tutuma, periodo (1998 – 2014)

Figura 2.6: Variación temporal de la profundidad (m) del agua subterránea - Zona I

Figura 2.7: Variación temporal de la profundidad (m) del agua subterránea - Zona II

Figura 2.8: Variación temporal de la profundidad (m) del agua subterránea - Zona III

Figura 2.9: Variación temporal de la profundidad (m) del agua subterránea - Zona IV

Figura 2.10: Perfil litológico del piezómetro Pz-2

Figura 2.11: Perfil litológico del piezómetro Pz-4

Figura 2.12: Análisis de la prueba de bombeo pozo P-2 – recuperación

Figura 2.13: Análisis de la prueba de bombeo pozo P-4 – recuperación

Figura 2.14: Análisis de la prueba de bombeo pozo P-4 – pozo de Obs. IRHS 27

Figura 2.15: Análisis de la prueba de bombeo pozo P-4 – Pz-04

### **Anexo 3: Mapas**

Mapa 1: Cuenca del río Casma

Mapa 2: Ubicación del área de estudio

Mapa 3: Geomorfológico

Mapa 4: Geológico

Mapa 5: Zonas I, II, III, IV del acuífero Casma- sector San Rafael

Mapa 6: Sección geoelectrica A-A'

Mapa 7: Sección geoelectrica B-B'

Mapa 8: Sección geoelectrica C-C'

Mapa 9: Ubicación de las secciones geoelectricas

Mapa 10: Isóbatas

Mapa 11: Isópacas

Mapa 12: Inventario de fuentes de agua subterránea

Mapa 13: Hidroisohipsas (abril 2008)

Mapa 14: Hidroisohipsas (agosto 2012)

Mapa 15: Hidroisohipsas (agosto 2013)

Mapa 16: Hidroisohipsas (enero 2014)

Mapa 17: Hidroisohipsas (agosto 2014)

Mapa 18: Isoprofundidad del nivel freático (enero 2008)

Mapa 19: Isoprofundidad del nivel freático (agosto 2012)

Mapa 20: Isoprofundidad del nivel freático (agosto 2013)

Mapa 21: Isoprofundidad del nivel freático (enero 2014)

Mapa 22: Isoprofundidad del nivel freático (agosto 2014)

Mapa 23: Distribución espacial de la conductividad eléctrica (agosto 2013)

Mapa 24: Distribución espacial del pH (agosto 2013)



Mapa 25: Hidrogeoquímica

Mapa 26: Isoconductividad hidráulica

## RESUMEN

El presente estudio reúne la información hidrogeológica del acuífero Casma – Sector San Rafael, en este sector las demandas del recurso hídrico, no son cubiertas por las aguas superficiales, siendo necesario recurrir a la explotación de las aguas subterráneas como medio atenuante del déficit presentado.

Como objetivo general se evaluó las condiciones de disponibilidad y explotación de agua subterránea en el acuífero en mención, para lo cual se realizó la actualización del inventario de pozos y el monitoreo mensual a lo largo del 2014 en 26 pozos de observación, además de la recopilación de datos geológicos, geofísicos, niveles freáticos, análisis físico-químicos y pruebas de bombeo que permitieron caracterizar al acuífero.

La fuente superficial en esta zona está constituida por las descargas del río Casma las cuales poseen una tendencia a la disminución acorde con el análisis realizado, la otra fuente es el acuífero Casma, donde la profundidad de los niveles de agua subterránea se hallan comprendidos entre 0.50 m y 20 m. Acorde con los resultados del monitoreo de los niveles de agua en todos los casos obedecen el comportamiento del ciclo hidrológico, con ascensos y recuperación de los niveles de agua entre abril y julio y el descenso o abatimiento, de noviembre a diciembre, sin embargo sobre una superficie fluctuante en las cercanías de los pozos P-2 y P-4, los niveles han dejado de recuperarse, que se explica principalmente, por los grandes volúmenes de extracción de los pozos de esta zona.

En base a las pruebas de bombeo y a los análisis físico-químicos se le caracterizó como un acuífero con buenos rendimientos y calidad de agua adecuada para el uso agrícola. Finalmente, la reserva superficial total de agua almacenada en el acuífero ha sido estimada para el presente estudio en 33.04 MMC, de los cuales 4.66 MMC corresponde a la reserva renovable y 11.01 MMC al volumen aprovechable, en base a este resultado es posible planificar el volumen racional de explotación de las aguas subterráneas, además, de gestionar el acuífero de tal manera que se satisfaga los requerimientos de los usuarios.

*Palabras claves: hidrogeológica, pruebas de bombeo, acuífero, reserva.*

## **ABSTRACT**

This study meets the information hydrogeological of aquifer Casma - Sector San Rafael, in this sector of water resources demands are not covered by surface water, making it necessary to resort to the use of groundwater as a means of mitigating deficit presented.

The overall objective was to evaluate the conditions of availability and use of groundwater in the aquifer in question, for which the updated inventory and monthly monitoring wells throughout 2014 in 26 observation wells was carried out in addition to the collection geological, geophysical data, groundwater levels, physical and chemical analysis and testing of pumping allowed by its analysis to characterize the aquifer.

The surface source in this area consists of the discharge of the river Casma which have a tendency to decrease according to the analysis, the other source is the Casma aquifer, where the depth of the groundwater levels are falling between 0.50 m and 20 m. According to the results of monitoring of water levels in all cases obey the behavior of the hydrological cycle, with promotions and recovery water levels between April and July and the decline or depression, from November to December, but on a fluctuating near the P-2 and P-4 surface wells, levels have failed to recover, mainly explained by the large volumes of extraction wells in the area.

Based on pumping tests and physical-chemical analysis is characterized as an aquifer with good yields and quality of water suitable for agricultural use. Finally, the total surface water reserves stored in the aquifer has been estimated for the present study 33.04 MMC, MMC 4.66 which corresponds to renewable reserves and 11.01 MMC usable volume, based on this result is possible to plan the volume rational exploitation of groundwater also manage the aquifer so that user requirements are met.

*Keywords: hydrogeology, pumping tests, aquifer, reserves*

# **“CONDICIONES DE EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO CASMA – SECTOR SAN RAFAEL”**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. GENERALIDADES**

El subsuelo contiene una de las más grandes reservas de agua dulce del planeta, la cual es de gran importancia para compensar las variaciones de la disponibilidad de agua superficial y para dar flexibilidad al manejo integrado de los recursos hídricos.

En los últimos años, el cambio climático y el crecimiento exponencial de la población están trayendo como consecuencia el deterioro de las aguas superficiales, lo que limita su explotación. En la medida que siga disminuyendo el agua superficial aumentará la demanda de agua subterránea, que si bien es cierto es menos vulnerable a la contaminación, puede verse afectada en gran medida por el cambio climático. Por tanto, es de gran importancia su protección y uso sostenido.

Una herramienta fundamental para contribuir en la planificación estratégica y toma de decisiones en la gestión de los acuíferos, es la evaluación hidrogeológica, la cual permite conocer la disponibilidad y calidad del agua. Es por esta razón que se realizó la evaluación de las condiciones de explotación del acuífero Casma en el sector de San Rafael, ubicado en la cuenca baja del río Casma, esta es una zona principalmente agrícola, caracterizada por tener excelentes condiciones climatológicas y edafológicas para el desarrollo de la agricultura, sin embargo se tiene un déficit en la oferta de agua superficial en época de estiaje, constituyéndose un problema fundamental que limita el desarrollo socio-económico de la zona.

Las demandas del recurso hídrico, no son cubiertas por las aguas superficiales, siendo necesario recurrir a la explotación de las aguas subterráneas como medio atenuante del déficit, empleándose para ello, pozos tubulares y a tajo abierto.

En el 2012 una empresa privada inició sus operaciones con el fin de ampliar sus áreas de producción agrícola en los valles de la costa, incorporando terrenos eriazos a la agricultura

y en consecuencia dada la necesidad de agua, se perforó dos pozos tubulares en la zona, que ha generado descontento en la población del sector que estiman ser afectados.

Mediante el monitoreo de la fluctuación de los niveles de agua subterránea, pruebas de bombeo, y análisis físico-químico, se evaluó la calidad y cantidad del recurso hídrico subterráneo almacenado, la profundidad espacial y las fluctuaciones del nivel freático, así como los parámetros hidrodinámicos del acuífero, dicha información permitió evaluar la situación del manejo del recurso hídrico, sirviendo además de ayuda para la buena gestión del acuífero, en armonía con la población que habita en la zona, y del recurso hídrico disponible tanto en calidad como en cantidad para satisfacer los requerimientos indispensables de cada usuario.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Evaluar las condiciones de disponibilidad y explotación de agua subterránea en el acuífero Casma- Sector San Rafael.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Estimar el volumen de explotación del agua subterránea.
- Analizar, espacial y temporalmente, la fluctuación del nivel freático.
- Estimar y analizar las propiedades hidrodinámicas del acuífero.
- Estimar la reserva explotable del agua subterránea.

## **II. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1. HIDROGEOLOGÍA**

La hidrogeología o hidrología subterránea, es una rama de la hidrología que estudia las aguas terrestres, sus maneras de aparecer, su circulación y distribución en el globo, sus propiedades físicas y químicas e interacciones con el medio físico y biológico y el efecto antrópico o reacciones con el hombre (Custodio, 1976).

La hidrogeología es una ciencia que el hombre utiliza como herramienta para controlar y utilizar el recurso de agua, el cual es vital para el ser humano, esta ciencia está dirigida a la búsqueda de captación de aguas subterráneas a través de ciencias auxiliares tales como estadística, geofísica, geología, hidráulica, perforación entre otras (Jegat, 1999).

### **2.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El agua subterránea es una parte integral del ciclo del agua, con un volumen mucho más importante que el agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor que el de los glaciares, representa el 97 por ciento del agua dulce del mundo. Es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y la sobreexplotación.

Existe en depósitos subterráneos, los cuales constituyen las fuentes principales de agua bajo la superficie de la tierra, ésta se almacena en los poros de las rocas, fisuras o cavernas. La movilidad del agua subterránea depende del tipo de roca o litología dominante en cada lugar.

#### **2.2.1. Importancia de las aguas subterráneas**

En la actualidad, la mayoría de agua consumida proviene de los ríos y lagos. Aun así, el aprovechamiento del agua subterránea tiene una importancia económica enorme en el mundo, pues es preferida, generalmente, por las siguientes razones:

- No posee turbidez ni color.
- Su temperatura es constante.
- El agua no posee organismos patógenos y por ello no necesita ser tratada previamente, lo que generaría menor costo al no pasar por depuradoras.
- Normalmente el agua subterránea tiene un mayor volumen que la almacenada en la superficie, por lo que el abastecimiento a partir de agua subterránea no suele verse afectado por las sequías prolongadas.
- El agua subterránea, acumulada durante largas series de años de recarga, constituye el único recurso de muchas regiones donde no es posible asegurar su abastecimiento a partir de la explotación de las aguas superficiales.

Dos grandes inconvenientes suelen impedir la utilización intensiva de este recurso:

- Muchas regiones están establecidas sobre un subsuelo rocoso cuya porosidad o permeabilidad son insuficientes para proporcionar grandes caudales de agua en las captaciones.
- El costo de explotación mediante pozos es generalmente mayor que el costo de explotación de las aguas superficiales.

### **2.3. ACUÍFEROS**

Según Custodio (1983), un acuífero es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para atender sus necesidades.

Son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos con el fin de producir agua para satisfacer las necesidades humanas, agrícolas e industriales. Pueden estar constituidos por depósitos sedimentarios no consolidados, por rocas plutónicas masivas fracturadas, por estratos de areniscas porosas, por bancos de calizas karstificadas y por otros muchos contextos geológicos diferentes.

El nivel al que llegará el agua de pozo define una superficie imaginaria denominada superficie piezométrica, que permite establecer mapas de isopiezas freáticas, cuyos cambios pueden afectar cuestiones ambientales vinculadas, como disposición de residuos sólidos, contaminación, cambios en el uso de la tierra, sequías, salinización, etc. La intervención

humana usualmente tiende a deprimir los niveles piezométricos a partir del bombeo de pozos, en que muchas veces se extrae una cantidad mayor al de la reposición natural.

Los indicadores más importantes en aguas subterráneas son los niveles piezométricos, junto con la calidad del agua; y son los cambios en estos parámetros alarmas tempranas de problemática ambiental que es necesario corregir, siendo importante para el monitoreo de las aguas subterráneas, el muestreo bien realizado y la precisión analítica, lo que permitiría conocer el sentido del flujo, la interconexión y los límites del acuífero.

El descenso sostenido del nivel freático durante una década o más usualmente indica que la extracción de agua excede el ritmo de recarga natural, y en ocasiones las reservas extraídas solo pueden reponerse después de cientos o miles de años, dependiendo de factores como el tipo y el tamaño del acuífero. Bajo condiciones naturales se puede decir que el nivel freático corresponde a las entradas estacionales, provocándose un ascenso por el cese de una sobreexplotación o como resultado de los excesos de riego. La extracción provoca el descenso de la superficie libre del agua, siendo el nivel previo a la acción de extracción denominado nivel estático y el nivel en que el agua se estabiliza tras una prolongada extracción, el nivel dinámico.

Es de suma importancia tener puntos de medición y verificar que en cada pozo se pueda medir el nivel estático del agua, pues efectuando el monitoreo varias veces al año se podrá tener una idea de la dinámica del acuífero y su evolución temporal bajo efectos de explotación de las agua.

## **2.4. PROPIEDADES HIDRÁULICAS**

La productividad de un acuífero es función de sus características geológicas, de sus propiedades hidráulicas y de los factores del flujo subterráneo.

### **2.4.1. Permeabilidad**

Es una propiedad que indica la capacidad que tiene una roca de conducir un fluido a través de sus poros interconectados. La permeabilidad es el factor más importante de las rocas en relación con la explotación de sus aguas subterráneas. Depende de:

- Tamaño de los poros interconectados.



- La granulometría de las partículas rocosas
- Naturaleza y rugosidad de la superficie de estas partículas
- La dirección dentro del terreno (anisotropía).

Puesto que el agua subterránea es contenida y conducida por los poros que presenta el terreno, la forma y las características de ellos influirán de un modo fundamental en el comportamiento de la permeabilidad: Los materiales granulares bien clasificados (gravas y arenas) tienen elevada porosidad y permeabilidad; en cambio, en las arcillas y los limos el agua se adosa a los diminutos poros por atracción iónica y queda retenida, es decir, son rocas muy porosas pero resultan impermeables.

Según la fórmula de Darcy, la permeabilidad viene dada por:

$$K = Q / (I \times A)$$

**Ecuación 1**

Donde:

- K** = Permeabilidad
- Q** = Caudal (m<sup>3</sup>/día)
- I** = Gradiente hidráulico (adimensional)
- A** = Superficie de la sección de flujo (m<sup>2</sup>)

En el Cuadro 2.1 se observa los valores de permeabilidad con la clasificación cualitativa del acuífero y el tipo de materiales que lo componen.

**Cuadro 2.1: Clasificación de terrenos por la permeabilidad según Johnson (1967), Schoeller (1962) y Ward (1967)**

Permeabilidad (m/día)	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
<b>Clasificación</b>	Impermeable		Poco permeable		Algo permeable		Permeable		Muy permeable	
<b>Clasificación del acuífero</b>	Acuicludo		Acuicludo		Acuífero pobre		Acuífero regular a bueno		Acuífero excelente	
<b>Tipo de material</b>	Arcilla compacta		Limo arenoso		Arena fina		Arena limpia		Grava limpia	
	Pizarra		Limo		Arena limosa		Grava y arena			
	Granito		Arcilla limosa		Caliza fracturada		Arena fina			

FUENTE: Guerrero (2000). En Moreno y Carrero (2005)

### 2.4.2. Coeficiente de almacenamiento

Según Amisial y Jegat (1984), el coeficiente de almacenamiento se expresa como el volumen de agua de una columna vertical del acuífero, que tiene como base la unidad de área y como altura el espesor medio del acuífero, libera por la expansión del agua y compactación sólida cuando la carga hidráulica disminuye en una unidad.

El coeficiente de almacenamiento es adimensional (volumen/volumen), se tendrá que los valores típicos son:

Acuíferos libres: 0.3 a 0.01

Acuíferos semiconfinados:  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$

Acuíferos confinados:  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$

### 2.4.3. Transmisividad

Es la capacidad del medio acuífero para transmitir agua en toda su altura, o en otras palabras, el caudal que atraviesa una franja base y altura del acuífero (Ecuación 2).

La transmisividad (T) de un acuífero es el producto de la permeabilidad por la altura del acuífero.

$$T = K \times h$$

**Ecuación 2**

Donde:

**T** = Transmisividad ( $m^2/día$ )

**K** = Permeabilidad ( $m/día$ )

**h** = Altura del acuífero (m)

## 2.5. BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico consiste en la aplicación del principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido y definida por determinadas condiciones de contorno. Durante un determinado periodo de tiempo en el que se realiza el balance, la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas debe ser igual al cambio de agua en el almacenamiento.

El establecimiento de un balance supone medir flujos de agua (caudales) y almacenamientos (niveles), si las entradas superan a las salidas existe una acumulación (aumento del almacenamiento) y lo contrario si las salidas superan a las entradas.

## **2.6. RESERVAS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Es el volumen total de agua almacenada en el acuífero y que puede ser aprovechable. Las reservas indican el volumen almacenado en una cuenca en un momento dado, las mismas pueden ser estacionales o permanentes, y están en función del coeficiente de almacenamiento y la geología del acuífero.

En un acuífero libre, las reservas estacionales están comprendidas entre los niveles máximos, medios y mínimos de la superficie freática y la base estructural del acuífero. Por otro lado, en un acuífero confinado, las reservas estacionales no existen porque la superficie freática se encuentra por encima del techo de la capa confinante, existiendo únicamente reservas permanentes que están definidas por el techo y la base estructural del acuífero.

Para el cálculo del volumen de las reservas se definen los límites y se multiplica por la porosidad eficaz según sea la condición que presente el acuífero. En el cálculo respectivo, se usa generalmente la información contenida en los mapas de isolíneas de espesores (isópacas).

Las reservas de agua subterránea están condicionadas en primer lugar por la estructura hidrogeológica, que da las dimensiones y después por la porosidad o rendimiento específico o el coeficiente de almacenamiento, que expresa el volumen de agua libre en la roca de almacén.

## **2.7. SOBREEXPLOTACIÓN**

El sistema de explotación más eficaz de un acuífero, para aprovechar al máximo sus recursos y no incurrir en sobreexplotación, es el de extraer anualmente una cantidad de agua igual o inferior a la de la recarga media interanual.

La sobreexplotación consiste en extraer más agua de la que entra en el sistema acuífero, lo que supone un consumo de las reservas que se refleja en el descenso del nivel freático o piezométrico, hasta el punto que se secan los manantiales y disminuye el caudal de los ríos, creándose graves problemas de suministro.

Si la sobreexplotación tiene lugar en los acuíferos de la costa conectados con las aguas marinas, el agua dulce se extrae en su totalidad y deja paso al agua salada del mar que invade

el medio permeable terrestre según un proceso conocido con el nombre de “intrusión marina” que saliniza el agua subterránea de los pozos.

Se diferencian tres tipos de sobreexplotación:

- La explotación de los recursos anuales de una sola vez a un fuerte ritmo hasta estabilizar el bombeo en un determinado valor.
- Sobreexplotación no destructiva que es la producida cuando se llega más allá de los límites antes mencionados durante poco tiempo.
- Sobreexplotación destructiva a la cual se conduce el acuífero cuando se prolongan las extracciones excesivas durante mucho tiempo, que lo hacen prácticamente inexplorable, bien por la degradación de la calidad química de sus aguas, o bien, por motivos económicos derivados de la elevación desde una gran profundidad de las aguas subterráneas.

### **2.7.1. Consecuencias de la sobreexplotación**

La sobreexplotación conduce a un continuado consumo de las reservas y a un descenso no estabilizado de los niveles piezométricos. Si se considera el acuífero como un sistema regulador de entradas y salidas de agua, una reducción de las reservas hará que disminuyan las garantías de suministro ante situaciones extraordinarias, como puede ser una sequía prolongada, y puede favorecer además la intrusión de aguas de calidad no deseable.

El efecto más directo de la sobreexplotación es el empeoramiento de la calidad química de las aguas subterráneas, a causa de los siguientes factores:

- Menos disolución de las aguas antiguas almacenadas en el acuífero con las nuevas de la recarga anual, lo que favorece la concentración de sales.
- Salinización de los pozos por el avance de las aguas marinas, tierra adentro, al alterarse el equilibrio agua dulce-agua salada.
- Recarga inducida de las aguas contaminadas de los ríos a los acuíferos, ya que los ríos pasan de ser efluentes a ser influyentes.
- Recarga inducida de las aguas contaminadas por lixiviación de los focos contaminantes situados sobre el acuífero.

También pueden producirse los siguientes riesgos geofísicos:

- La sobreexplotación de algunos acuíferos puede inducir a la subsidencia del terreno, al disminuir la presión efectiva que ejercen las aguas subterráneas, produciéndose asentamientos y colapso de suelos.
- El abandono del bombeo en un acuífero sobreexplotado puede provocar una subida rápida del nivel freático, inundando aquellas edificaciones que habían sido construidas cuando los niveles estaban más bajos.

### **2.7.2. Medidas de prevención de la sobreexplotación**

La sobreexplotación ocasionada debe detenerse lo antes posible hasta conseguir la recuperación de los niveles freáticos, mediante:

- Prohibición de construir nuevos pozos.
- Detener los sobrebombes.
- Ausencia de extracciones.
- La recarga artificial de los acuíferos.
- Ordenación y limitación por zonas.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

##### **3.1.1. Materiales, equipos y programas de cómputo**

###### **a. Materiales**

Planos del área de estudio, fichas para toma de datos, libreta de campo.

###### **b. Equipos**

GPS, sonda eléctrica para medición de niveles de agua, wincha de 5m, cámara fotográfica.

Hardware: una computadora personal.

Movilidad: Camioneta proporcionada por la empresa privada.

###### **c. Programas de Computo**

- Stochastic analysis modeling and simulación (SAMS 2007)
- Aquachem 2014.2
- Aquifertest 2105.1
- Strater 4.0
- Cropwat 8.0
- Arcgis 10
- AutoCAD 2014
- Surfer 13

##### **3.1.2. Características generales del área de estudio**

La cuenca del río Casma se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, las aguas que discurren por esta cuenca tienen su origen en las lagunas Teclio, Mangán y Shaullán, en el flanco occidental de la Cordillera Negra, a 4900 m.s.n.m. aproximadamente, y desemboca en el Océano Pacífico.

De acuerdo al mapa político, esta cuenca comprende las provincias de Casma (cuenca baja: valle de Casma y Sechín), Yungay y Huaraz (cuenca media y alta, respectivamente).

Geográficamente, se encuentra comprendida, aproximadamente, entre los paralelos 9°13'01" y 9°41'45" de Latitud Sur y los meridianos 78°23'27" y 77°37'03" de Longitud Oeste. Limita por el norte con la cuenca del río Nepeña; por el sur, con las cuencas del río Huarmey y Culebras; por el este, con la cuenca del río Santa y, por el oeste, con el océano pacífico, tal como se muestra en el Mapa 1 del Anexo 3.

El área de estudio lo constituye la zona de San Rafael (Mapa 2 - Anexo 3), que forma parte de la cuenca del río Casma. Esta se ubica en la costa norte del Perú, políticamente pertenece al distrito y provincia de Casma, y Departamento de Ancash.

Geográficamente la zona se halla ubicada en las coordenadas del Sistema Transversal Mercator:

Este: 806038.19m y 810183.55m  
Norte: 8943273.70m y 8942260.24m

La altitud promedio del área de estudio se halla comprendida entre 140 m.s.n.m. a 180 m.s.n.m. y cubre una extensión aproximada de 560.0 ha.

#### ***a. Vías de comunicación***

La vía de comunicación de mayor importancia es la Panamericana Norte, que intercepta al valle de Casma, aproximadamente, en el Km. 375. A través de esta vía se efectúa la intercomunicación de la cuenca con el sector San Rafael, por medio de una vía carrozable de 6.0 Km de longitud que se inicia en el Km 364 de la carretera Panamericana Norte.

#### ***b. Aspectos demográficos***

Según el Censo Nacional de Población realizado en el 2007 (Cuadro 3.1), la población total del distrito de Casma, al cual pertenece el sector en estudio, es de 28,831.00 habitantes, distribuidos aproximadamente en igual forma proporcional los habitantes de sexo masculino y femenino.

De lo anterior, el mayor número de pobladores (24,842.00 habitantes) se concentra en la zona urbana representando un 86.2 por ciento del total. Asimismo, la mayor población está conformada por habitantes cuya edad oscila entre 15 y 29 años (27.2 por ciento).

**Cuadro 3.1: Población total según sexo y tipo de población – Distrito Casma 2007**

Descripción	Población			Urbana			Rural		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Menores de 5 años	2724	1420	1304	2345	1227	1118	379	193	186
De 5 a 14 años	5656	2923	2733	4832	2499	2333	824	424	400
De 15 a 29 años	7828	3936	3892	6764	3344	3420	1064	592	472
De 30 a 44 años	6206	3058	3148	5394	2638	2756	812	420	392
De 45 a 64 años	4488	2243	2245	3883	1918	1965	605	325	280
De 65 y más años	1929	1020	909	1624	851	773	305	169	136
<b>TOTAL</b>	<b>28831</b>	<b>14600</b>	<b>14231</b>	<b>24842</b>	<b>12477</b>	<b>12365</b>	<b>3989</b>	<b>2123</b>	<b>1866</b>

FUENTE: Censo estadístico del departamento de Áncash 2007. INEI

#### **c. Aspectos agropecuarios**

La principal actividad del sector San Rafael es la agricultura, la cual se ha desarrollado de forma intensiva, haciendo uso de las aguas superficiales que fluyen a través del río Casma y de las reservas subterráneas. Desde el 2012 una empresa Privada inició sus operaciones, incorporando terrenos eriazos a la agricultura, con el fin de ampliar sus áreas de producción agrícola en los valles de la costa y siendo el espárrago su principal cultivo.

En esta área se desarrollan cultivos de pan llevar, desde leguminosas, cucurbitáceas, frutales, y cereales como el maíz; dispone de red de canales que permiten conducir las aguas hacia los campos agrícolas. Acorde con los agricultores, el recurso hídrico superficial es deficitario, desarrollándose en el mejor escenario una cosecha por año, sin embargo por razones económicas no se hace uso intenso de las reservas de agua subterránea.

#### **d. Área sembrada**

De acuerdo a la información obtenida el área sembrada perteneciente a los agricultores en el sector de San Rafael es de 387.89 ha y el de la empresa Privada, 150 ha., cultivadas de espárrago. En el Cuadro 3.2, se detallan los diferentes cultivos instalados en el sector.



**Cuadro 3.2: Cultivos instalados en el sector San Rafael**

<b>Cultivos</b>	<b>Area sembrada (ha)</b>
Maiz	117.96
Aji paprika	40.30
Cebolla	33.19
Aji	36.51
Mango	28.19
Palto	22.40
Pallar	28.50
Marigol	15.00
Aji panca	12.40
Yuca	12.25
Alcachofa	7.00
Esparrago	11.20
Maracuya	5.00
Mani	5.25
Aji escabeche	5.10
Algodón	5.00
Frijol	2.40
Manzano	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>387.89</b>

FUENTE: Cuadro elaborado con información proporcionada por PROFODUA.

#### **e. Uso del agua**

En el sector de san Rafael se usa agua procedente de dos fuentes:

- Rio Casma
- Explotación de aguas subterráneas

Las aguas del río Casma al igual que la subterránea son utilizadas para irrigar las áreas de cultivo de la zona de estudio y también como agua potable para los centros poblados de San Rafael. Cabe señalar que las aguas subterráneas se utilizan para cubrir el déficit del recurso hídrico superficial durante los periodos de estiaje.

#### **3.1.3. Información climatológica**

En el ámbito de la zona de estudio, se consideró la Estación Climatológica Ordinaria (CO) Buenavista la cual es controlada por el SENAMHI como representativa de los valles.

La Estación Buenavista se encuentra ubicada en el poblado de Buenavista a una altitud de 216 m.s.n.m. y las coordenadas 09°26'01" de Latitud Sur y 78°12'01" de Longitud Oeste;

dispone de información promedio mensual de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura media (°C), humedad relativa media (%) , velocidad del viento(km/d) , precipitación (mm), radiación solar (MJ/m<sup>2</sup>/d), insolación (horas sol). En el Cuadro 3.3, se resume las principales características de la estación.

**Cuadro 3.3: Características de la estación Buenavista**

Estación meteorológica						
Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Distrito	Parámetro	Tipo
Buena Vista	9° 26' 1"	78° 12' 1"	216 m.s.n.m.	Buena vista alta	Radiación Solar	Climatica convencional
					Horas sol	
					Temperatura media mensual	
					Temperatura maxima media mensual	
					Temperatura minima media mensual	
					Humedad relativa	
					Evaporacion	
					Viento	
Precipitación						

FUENTE: Cuadro elaborado con la información de la estación Buenavista.

La información climatológica obtenida de la estación Buenavista se muestra en el Cuadro 3.4.

**Cuadro 3.4: Información climatológica de la estación Buenavista**

Mes	Temp Min	Temp Max	Temp Prom	Humedad	Viento	Insolación	Rad
	°C	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día
<b>Enero</b>	19.5	24.4	21.95	69	159	8.2	22.7
<b>Febrero</b>	22.1	25.7	23.9	70	152	8.5	23.3
<b>Marzo</b>	22.4	26.3	24.35	70	171	7.7	21.5
<b>Abril</b>	20.4	24.8	22.6	72	157	7.4	19.6
<b>Mayo</b>	16.4	22.9	19.65	74	157	6.4	16.5
<b>Junio</b>	14.6	21.1	17.85	77	146	5.9	15
<b>Julio</b>	13.1	20	16.55	79	126	5.6	15
<b>Agosto</b>	12.1	19.4	15.75	77	143	5.4	16
<b>Septiembre</b>	12.1	19.7	15.9	75	151	6.2	18.5
<b>Octubre</b>	14.1	20.6	17.35	73	158	6.9	20.5
<b>Noviembre</b>	15.6	21.1	18.35	72	165	7.7	21.8
<b>Diciembre</b>	19.5	22.8	21.15	70	162	8.4	22.9

FUENTE: Cuadro elaborado con la información de la estación Buenavista.

### 3.1.4. Información hidrológica

La estación hidrométrica o sección de control Tutuma, se encuentra ubicada (Mapa 1- Anexo 3), aguas arriba de la confluencia de los río Yaután y Casma-Grande, en las coordenadas 09°29'01" de latitud sur y 77°13'01" de longitud oeste, aproximadamente, a 830 m.s.n.m., dominando un área de cuenca de 913 Km<sup>2</sup>. La ubicación de esta estación es muy buena por encontrarse a nivel de cabecera del valle.

Cabe mencionar que la Administración Local del Agua (ALA-Casma) proporcionó la información de las series históricas de caudales medios mensuales del periodo 1973 – 2002, que se muestra en el Cuadro 3.5, pues ésta solo funciono hasta el año 2012.

**Cuadro 3.5: Descarga media mensual histórica, período 1973 – 2002 (m<sup>3</sup>/s)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1973	10.87	10.07	18.35	14.50	3.47	1.09	0.00	0.21	0.89	4.88	4.77	11.34	6.70
1974	17.21	16.82	12.29	4.65	0.99	0.74	0.90	0.69	0.57	0.39	0.25	0.11	4.63
1975	5.04	9.58	32.19	14.50	9.92	4.27	1.75	1.04	0.83	0.57	0.48	0.58	6.73
1976	8.12	15.45	28.06	20.87	3.84	4.25	2.94	2.35	2.22	1.34	1.02	0.80	7.60
1977	3.99	21.88	26.71	17.67	4.10	1.62	1.05	0.87	0.42	0.42	0.51	1.99	6.77
1978	2.16	7.62	8.32	5.13	1.66	0.75	0.61	0.30	0.04	0.00	0.08	0.30	2.25
1979	0.07	6.68	24.39	16.97	1.87	0.52	0.43	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26
1980	1.03	0.36	1.62	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.55	4.99	10.76	2.86
1981	5.23	24.89	18.99	7.83	3.84	3.75	3.72	2.60	0.45	0.00	1.09	0.74	6.09
1982	4.36	9.21	3.71	5.87	3.87	2.09	0.31	0.02	0.00	0.40	4.79	11.44	3.84
1983	15.35	9.15	27.18	40.07	8.15	6.19	3.93	2.29	0.75	0.57	0.51	3.09	9.77
1984	4.66	25.26	25.41	13.65	8.43	5.65	4.59	2.61	0.68	0.65	0.66	8.22	8.37
1985	4.57	8.29	10.36	8.58	7.98	6.00	4.29	2.09	0.07	0.15	0.00	0.85	4.43
1986	10.25	7.46	8.24	14.02	5.91	3.22	2.30	0.58	0.03	0.00	0.03	1.62	4.47
1987	10.71	9.40	10.06	S/D	4.28	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	3.32
1988	7.55	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	1.44
1989	7.55	30.69	24.13	16.50	11.15	S/D	3.95	1.41	0.55	2.81	1.35	0.00	9.10
1990	1.63	1.44	6.21	1.21	S/D	0.12	0.05	0.00	0.00	2.61	6.87	4.34	2.23
1991	0.06	1.13	13.62	2.58	2.09	0.80	0.29	0.00	0.00	0.00	0.57	0.99	1.84
1992	0.10	0.37	2.99	1.92	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
1993	0.87	6.93	35.68	19.00	4.39	0.27	0.46	0.10	0.00	6.23	9.47	18.42	8.48
1994	12.55	33.43	24.13	32.10	12.29	4.43	0.89	0.02	0.10	0.08	0.37	0.97	10.11
1995	3.45	6.89	6.32	5.80	1.75	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.58	2.44
1996	15.97	26.14	53.23	46.77	9.29	3.87	2.76	0.84	0.26	0.01	0.32	0.00	13.29
1997	0.75	8.34	3.71	0.81	1.09	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	19.32	2.88
1998	77.91	91.29	68.03	14.38	4.27	2.62	2.00	1.22	0.56	2.44	0.78	2.73	22.35
1999	6.69	36.98	11.47	9.62	9.50	3.35	2.00	1.11	0.40	0.43	0.39	1.92	6.99
2000	5.29	25.00	40.05	16.77	11.66	5.03	1.14	0.54	0.26	0.75	0.30	4.19	9.25
2001	12.15	9.68	18.90	14.27	4.27	1.00	0.93	0.50	1.01	1.12	4.13	4.53	6.04
2002	2.94	12.33	24.19	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.12	2.88	9.69

FUENTE: Autoridad Local del Agua – Casma

### 3.1.5. Información geomorfológica

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre y sus procesos formadores. Estos procesos involucran las fuerzas físicas o químicas que producen un cambio en las formas o materiales.

La geomorfología en el área de estudio (Mapa 3 del Anexo 3) , está caracterizada por la acción del río que ha construido el relleno aluvial de importancia, constituida por cantos rodados, limo y arena gruesa, así como también, en sus márgenes, la acción eólica ha permitido la formación de dunas, principalmente en su margen izquierda. La zona es relativamente plana, con una inclinación que disminuye de Este - Noreste con 1.1 por ciento de pendiente promedio.

En el área de estudio el depósito aluvial (Q-al), es la unidad geomorfológica más extensas, y a su vez la más importante para los fines del presente estudio. Son terrenos llanos ubicados en ambos márgenes del río Casma, los cuales pertenecen a la planicie del cono deyectivo del río antes nombrado.

La característica de estos depósitos es que las arenas y cantos han sufrido un proceso abrasivo, lo cual se traduce en un redondeamiento más o menos intenso de sus elementos. Por otra parte, el hecho de que este transporte se haya producido por corrientes fluviales, ha dado lugar en determinados casos a una clasificación de los sedimentos, es decir su distribución en capas y/o lentes, primando dentro de ellos, determinados rangos de tamaño, que está en función de la intensidad de la corriente que los transportó y luego depositó.

Estas características de redondeamiento y clasificación, aparte de una eventual ausencia o segregación de minerales arcillosos, confiere a estos depósitos muy buenas propiedades de porosidad y permeabilidad, que favorecen el almacenamiento y flujo de las aguas subterráneas. Si sumamos a lo indicado anteriormente que la alimentación en el área de estudio se encuentra asegurada, es obvio concluir que esta unidad se presenta como la más recomendable para la prospección del agua subterránea, lo cual se ha podido observar en los pozos a tajo abierto con profundidades de 2 a 10 m; y, en los tubulares, hasta 60 m de profundidad.

Las observaciones de campo realizadas a lo largo de esta zona, permite inferir la existencia de dos etapas de denostación y posterior erosión de los sedimentos; las cuales han dado lugar a la construcción y socavamiento en forma alternada de niveles antiguos de valle.

#### **a. Cauce mayor o lecho actual del río Casma**

Es el área por donde discurre y divaga el río en sus épocas de mayor descarga, observándose en superficie sedimentos no consolidados como gravas, arenas y bloques o bolones y en menor proporción arenas finas.

#### **b. Primera terraza del río Casma - margen izquierda del río**

Esta terraza se encuentra delimitada por escarpas cuyo desnivel con relación al lecho del río varía entre 1.60 y 2.40 m y los que a mayor distancia del eje del río han sido cubiertos por arenas de origen eólico (Foto 1).

#### **c. Segunda terraza**

Está constituida por depósitos no consolidados cubiertos por dunas, las que hidrogeológicamente no tienen importancia.

### **3.1.6. Información geológica**

Como fuente de la información geológica se utilizó el mapa geológico del cuadrante de Casma (20-g), desarrollado por el INGEMENT (Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú) a escala 1:100 000.

Es de suma importancia en un estudio hidrogeológico el conocimiento de la naturaleza de los materiales existentes y su distribución, así como los procesos de geodinámica externa y modificaciones tectónicas, puesto que son estas características las que condicionan el funcionamiento del acuífero y el desplazamiento de las aguas subterráneas.

Acorde con la información recopilada se conoce que el marco geológico del acuífero está constituido por tres unidades hidrogeológicas claramente definidas, como los afloramientos rocosos, depósitos aluviales y eólicos (Mapa 4 del Anexo 3).

#### **a. Afloramientos rocosos**

Esta unidad se encuentra ubicada en ambos márgenes del río, rodeando a la mitad superior de la llanura en sus dos flancos y a la mitad inferior en su flanco izquierdo, dando lugar al paisaje más accidentado del área estudiada, el mismo que está formado por cerros, colinas y quebradas secas (Foto 2).

En el área de estudio, la estructura rocosa que rodea al primer sector de la llanura pertenece casi íntegramente al Batolito de la Costa. Por otro lado, en el flanco izquierdo y derecho en el sector inferior de la llanura, se presenta la formación de Junco. Los afloramientos rocosos están conformados por:

- **Formación Junco (Ki – j)**

Litológicamente esta formación presenta lavas almohadilladas intercaladas con algunos aglomerados; presenta color gris oscuro a verdoso que genera geformas de relieve moderado abrupto.

El factor del metamorfismo que ha actuado sobre las rocas de la formación Junco, es la temperatura, que se incrementa notablemente debido al emplazamiento de los cuerpos intrusivos, mayores y menores desde las acumulaciones a inicios del albino.

- **Rocas intrusivas**

**Batolito de la costa (Ki-t-h2)**

Litológicamente, estas rocas mayormente son Tonalitas oscuras bastantes homogéneas que poseen una textura y un arreglo mineral común con algunas variaciones a granodiorita. Muchos depósitos se encuentran cubiertos por arena eólica, así como muchas de estas rocas han sido cortadas por intrusivos.

Genéticamente, estas rocas son bastante compactas, en consecuencia son consideradas como impermeables, para fines hidrogeológicos.

**Súper unidad Patap (Ki-gi, di-pt)**

Esta unidad se constituye de cuerpos de gabros y dioritas, los cuerpos de gabro presentan en sus partes marginales gradación a una diorita básica de color oscuro por los ferromagnesianos que contiene y que la hacen diferente a las dioritas de las otras superunidades, mostrando en su parte interna variaciones complejas de anfíboles y piroxenos.

Sus contactos con los cuerpos ácidos que los intruyen son verticales y bien nítidos formando cerros masiformes, además de cuerpos prismáticos y tabulares.

### **Superunidad Santa Rosa (Ks –mg-n)**

Esta superunidad se constituye de cuerpos tonalítico-dioríticos y tonalítico-granodioríticos, emplazándose con posterioridad a los gabros y dioritas de la superunidad Patap a los que intruye con contactos definidos y casi verticales. Los cuerpos de tonalita-diorita se presentan constituyendo la parte central de esta superunidad con un marcado color oscuro.

Los contactos entre las tonalitas claras y oscuras son gradacionales por disminución del cuarzo y aumento de los ferromagnesianos, especialmente clinopiroxenos pasando de tonalitas a dioritas. Las gabro-dioritas se caracterizan por su coloración gris clara que la diferencia de los cuerpos tonalítico-dioríticos más oscuros y a los que casi bordean, siendo sus contactos en la parte transaccional, pasando a una tonalita clara con abundante cuarzo. Las tonalitas por la dureza del cuarzo presentan una topografía aguda, con estructuras tabulares debido al diaclasamiento, cuyo rumbo general es N-S, variando en algunas zonas al NO-SE.

#### **b. Depósitos aluviales**

Estos depósitos están constituidos por materiales acarreados por el río Casma, los cuales son predominantes en amplitud en ambos márgenes del curso principal del río y son de mucha importancia por cuanto estos constituyen el depósito de las aguas subterráneas, emplazados en las depresiones del valle formando terrazas y conos aluviales deyectivos, se pueden observar a lo largo del curso del río Casma, formando extensas terrazas fluviales, con presencia de arcillas y arenas finas con gravas arenosas bien clasificadas, y en profundidad una mezcla de cantos rodados y arenas.

En el ámbito de estudio se observan cursos amplios desarrollados en capas de arcilla y arcilla gravosa y limosa, sobre las cuales en la actualidad se desarrolla la agricultura (Foto 3).

#### **c. Depósitos eólicos**

Estos depósitos cobran rasgos prominentes si se tiene en cuenta la magnitud de su evolución y propagación regional, cuya actividad se desarrolla en forma de barcanes en movimiento, dunas gigantes o mantos delgados de arena, principalmente localizados al sur del área de proyecto y debido a la predominancia de plantaciones naturales como el algarrobo han originado la formación de dunas con alturas que superan los 10 m; sin embargo, no son de importancia hidrogeológica.

## **3.2. MÉTODOS**

### **3.2.1. Análisis de la información hidrológica**

#### **a. Generación sintética de caudales mensuales para el periodo 2002- 2014**

En la etapa de recolección de datos, se obtuvo de la Autoridad Local del Agua – Casma el registro de caudales medios mensuales de la estación Tutuma, que abarca desde 1973 al 2002 (longitud de registro de 29 años), estos datos para el estudio fueron considerados insuficientes, por lo que se procedió a la generación sintética de los caudales mensuales hasta el 2014, mediante la simulación estocástica usando el programa Stochastic analysis modeling and simulación (SAMS 2007).

La simulación estocástica de series de tiempo de los recursos hídricos en general y series hidrológicas en particular, ha sido ampliamente utilizada durante varias décadas para diversos problemas relacionados con la planificación y gestión de sistemas de recursos hídricos.

SAMS es un paquete de programas informáticos que se ocupa del análisis estocástico, modelado y simulación de series de tiempo hidrológico. Consta de tres módulos de aplicación principales: análisis de datos, ajuste de un modelo, y generación de series, siendo este último el módulo usado para cuestiones del estudio.

Además de ello, este programa utiliza modelos matemáticos multivariados y univariados, el uso de estos modelos depende del tipo de modelamiento (anual o estacional) que se desee, para el estudio se requirió el uso de un modelo matemático univariable estacional, denominado Univariate PARMA (p, q) model.

La generación de datos es un tema importante en la hidrología estocástica y ha recibido mucha atención en la literatura hidrológica, pues es utilizada por los hidrólogos para muchos propósitos. La filosofía principal detrás de la generación de datos sintético es que las muestras sintéticas que se generan conservan ciertas propiedades estadísticas que existen en el proceso hidrológico natural (Lane y Frevert, 1990). Como resultado, cada muestra generada y cada muestra histórica son igualmente probables de que ocurra en el futuro. La muestra histórica no es más probable que ocurra que cualquiera de las muestras generadas.



**b. Análisis de persistencia de las descargas medias mensuales para el periodo 1973 – 2014**

El análisis de persistencia de las descargas medias mensuales se realizó mediante la distribución de probabilidad de Weibull, expresada mediante la Ecuación 3:

$$P(X < x) = \frac{m}{n+1} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$P(X < x)$  = Probabilidad de excedencia

$m$  = Rango de datos

$n$  = Número de datos de registro

**c. Análisis de tendencia de las descargas medias mensuales para el periodo 1973 – 2014**

El análisis de tendencias ha sido realizado con el método de Mann-Kendal. Su desarrollo se define de la siguiente manera:

- Se listan los valores de las variable (caudal por ejemplo) de forma ordenada ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ).
- Se obtiene el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes ( $x_j - x_k$ ) con  $j > k$  de acuerdo con lo siguiente:

$$\text{Signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

- Obtención del estadístico S de Mann-Kendal, mediante la ecuación 2:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{Signo}(x_j - x_k)$$

**Ecuación 4**

Si es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando S es negativo se infiere que hay tendencia decreciente.

- Con base a los indicadores se estima una varianza para el estadístico S de Mann-Kendal, que considera el caso de los empates (signo  $x_j - x_k = 0$ ), mediante la ecuación:

$$Var[S] = \frac{1}{18} \left( n(n-1)(2n+5) - \sum_{q=1}^g t_q(t_q-1)(2t_q+5) \right)$$

**Ecuación 5**

- Calculo del estadístico ZMK mediante:

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{[Var(S)]^{1/2}} & Si > 0 \\ 0 & Si S = 0 \\ \frac{(S+1)}{[Var(S)]^{1/2}} & Si < 0 \end{cases}$$

- A partir del estadístico Z se evalúa la hipótesis de interés, que puede ser:
  - a)  $H_0 =$  no hay tendencia vs  $H_1 =$  hay tendencia decreciente
  - b)  $H_0 =$  no hay tendencia vs  $H_1 =$  hay tendencia creciente

El test de Mann-Kendal proporciona un valor de significancia, P-VALUE; si dicho valor es inferior a 0.05-0.1 garantiza que la hipótesis adoptada tiene altas garantías de veracidad, a medida que este valor se hace más grande, las probabilidades van disminuyendo, hasta que llegando a un valor de 1, la probabilidad es nula.

### 3.2.2. Análisis de la información climatológica

Se evaluó el comportamiento de las variable meteorológicas, las cuales intervienen de manera directa o indirecta en la recarga y descarga del acuífero, así como también en el balance hídrico del valle, las principales variables analizadas son: radiación solar, horas sol, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

Se calculara los valores de la evapotranspiración, en base a los datos de la estación climatológica Buenavista, con el software Cropwat mediante el método de Penman modificado.

### **3.2.3. Análisis de la información geofísica**

#### **a. Prospección geofísica**

La prospección geofísica como parte de las investigaciones hidrogeológicas, se ejecuta con el fin de conocer las características del subsuelo, tanto su naturaleza y estructura, es decir, se determina la litología de sus diferentes capas, así como sus respectivas resistividades y espesores. Esta información se relaciona con el marco geológico de la zona en estudio, dando como resultado el conocimiento indirecto de la naturaleza del subsuelo. El método aplicado fue el de Resistividades en su variante de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con configuración Schlumberger.

#### **- Fundamento del método**

Los métodos eléctricos de corriente continua son los más utilizados en la investigación de aguas subterráneas, pues constituyen un apoyo muy eficiente para el hidrogeólogo.

El agua contenida en las capas del subsuelo tiene suficientes sales para asegurar la conducción de la corriente eléctrica aplicada al suelo; la medida de la resistividad eléctrica refleja la aptitud de los terrenos a permitir el paso de la corriente en relación con la presencia del agua.

El sondeo eléctrico vertical permite conocer la distribución de las diferentes capas geoelectricas. Es decir, permite determinar la resistividad del subsuelo con la profundidad, haciendo mediciones a lo largo de una línea dada en incrementos crecientes de distancia entre los electrodos de emisión o de corriente A y B y luego midiendo la diferencia de potencial producido por el campo eléctrico así formado, entre otro par de electrodos llamados electrodos de recepción o de potencial M y N.

La configuración simétrica de Schlumberger, emplea 4 electrodos, pero en este caso la separación entre los electrodos centrales o de potencial M y N (a) se mantiene constante, y las mediciones se realizan variando la distancia de los electrodos exteriores o también llamados electrodos de emisión de corriente A y B, a partir de los electrodos interiores, a distancia múltiplos (na) de la separación base de los electrodos internos. Los datos de resistividad aparente, obtenidos en los SEV, se representan en una curva graficada en un formato bi-logaritmico. A través de curvas de campo y diversos métodos, se determinan los valores de las resistividades verdaderas y los espesores de las diferentes capas, para cada

punto investigado. El Cuadro 3.6 contiene un resumen de valores de resistividad en diferentes materiales.

**Cuadro 3.6: Resistividades de algunos materiales (Ohmios-metro)**

Descripción	Ohmios /m
Aguas subterráneas en granito y roca hipogénica	20 - 100
Aguas subterráneas en caliza y acarreos	20 - 50
Aguas salobres	39722
Aguas potables superficiales	20 - 300
Agua de mar	Menor de 0.2
Agua destilada	Mayor de 500
Arcillas y margas	10 - 100
Calizas y areniscas	50 - 3000
Pizarras	50 - 3000
Rocas hipogénicas y metamórficas	100 - 10000
Gravas	100 - 10000
Arenas	130 - 1000
Limos	30 - 500

FUENTE: Custodio E. /Llamas R. 1975.

El método de Schlumberger es de gran utilidad cuando se requieren conocer las resistividades de capas más profundas, sin necesidad de realizar muchas mediciones.

#### **3.2.4. Análisis de las características físicas del reservorio acuífero**

En base a la información geológica y geomorfológica del área de estudio, así como del análisis de los sondeos eléctricos verticales (SEV) realizado en el acuífero; se determinó su geometría, dimensiones y litología.

#### **3.2.5. Actualización del inventario de fuentes de agua subterránea**

En cualquier estudio hidrogeológico, la evaluación de los recursos hídricos subterráneos se basan en la ejecución de un inventario especializado, el que consiste en reconocer las fuentes existentes de agua subterránea, este reconocimiento permite determinar información base sobre los factores de flujo de agua subterránea, características del acuífero y las características técnicas e hidráulicas de los pozos.

El objetivo del inventario fue determinar la cantidad y situación actual de los pozos, cuyo resultado permitió conocer la situación física y técnica de éstos, así como también; cuantificar la masa de agua explotada del acuífero.

Se utilizaron fichas de campo normalizadas por la Autoridad Nacional del Agua, y los equipos e instrumentos de medición respectiva (sondas eléctricas, muestreadores de agua, conductímetro y peachímetros portátiles) para la actualización de los datos y características técnicas de los pozos en el área de estudio

Los datos de las características generales de los pozos identificados e inventariados en la zona de estudio se han resumido en cuadros, en los cuales se presenta la descripción de las características técnicas de los pozos, tales como: número de inventario de recursos hídricos subterráneos (N° IRHS); nombre del pozo; cota del terreno (m.s.n.m); tipo de pozo; profundidad inicial y actual; estado actual de explotación: estado de los pozos (en funcionamiento, en reserva, abandonados); uso del agua subterránea extraída de los pozos (para fines domésticos, agrícolas, pecuarios, industriales); volúmenes anuales de explotación de agua subterránea; régimen de explotación (horas/día, días/mes y meses/año); características hidrodinámicas: caudal de explotación de los pozos que se encuentran en funcionamiento, niveles estáticos y niveles dinámicos; equipo de bombeo: bomba, tipo (turbina de eje vertical, sumergible y centrífuga de succión); marca; potencia (HP); motor, tipo (eléctricos, diesel, gasolina); marca; potencia (HP).

### **3.2.6. Análisis de la napa freática**

En esta etapa se definen aspectos relacionados con el acuífero y su comportamiento, tal como:

- La morfología de la napa.
- La profundidad de la napa.
- Las fluctuaciones de la napa.

Con la información recolectada en campo (Enero 2014 - Enero 2015) y la información histórica recopilada (2008, 2012 y 2013) sobre los niveles de agua de los pozos de la zona de estudio, se procedió a la elaboración de los mapas de isoprofundidad e hidroisohipsas con

ayuda del software Surfer 8.0, el cual realiza la interpolación automática espacial de las cargas hidráulicas y profundidades de los pozos de monitoreo del sector San Rafael.

Para el 2014 se han tomado los meses de enero y agosto como representativos de las épocas de avenida y estiaje, respectivamente; agosto fue tomado como representativo para el 2012 y 2013, mientras que abril fue utilizado para el 2008.

Para el análisis de las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea, el ámbito de estudio se ha subdividido en 4 zonas (Mapa 5 - Anexo 1), considerando la información de los niveles de agua registrados en los 26 pozos de monitoreo, para el periodo agosto del 2012 a enero del 2015, con una longitud de registro de 22 meses. Posteriormente fue necesario elaborar y analizar los hidrogramas de cada uno de los pozos de observación, identificando los periodos de descenso y ascenso de los niveles de agua subterránea.

### **3.2.7. Calidad del agua subterránea**

En esta sección se estudia la calidad de las aguas subterráneas del área en estudio, en base a los diferentes constituyentes físicos – químicos y la influencia de los mismos sobre los diversos usos del recurso.

La evaluación de la calidad del agua subterránea se ha efectuado con base a los resultados obtenidos de los análisis de las muestras más representativas de la zona. Los análisis físico-químicos de las muestras de agua fueron realizados en el Laboratorio de análisis de aguas, suelo y medio ambiente de la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **a. Análisis la conductividad y pH**

Las mediciones de conductividad eléctrica y pH se realizaron “insitu” en la red de pozos para el periodo 2013-2014, utilizando un conductivímetro y un pH-metro portátiles.

Con los datos tomados en la red de monitoreo y con la ayuda del software Surfer 8.0, se ha elaborado los Mapas de isoconductividad y de pH, tomando el mes de agosto como referencia, con el fin de visualizar la variación espacial de dichas características.

## **b. Análisis químico**

Las muestras de agua fueron tomadas de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), y posteriormente analizadas en el laboratorio de análisis de agua, suelo y medio ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Con la ayuda del Software Aquachem V.3.7, que es un paquete informático desarrollado específicamente para el análisis gráfico y numérico de datos de calidad de agua superficial y subterránea, se ha analizado e interpretado 5 muestras de agua subterránea y una superficial, que se seleccionaron para el respectivo análisis.

La consistencia de un análisis químico de agua, es la base para cualquier tipo de estudio, es por ello que se considera según Castany (1971), que un análisis químico de aguas realizado en laboratorio es aceptable si la diferencia porcentual de la suma de cationes y aniones no excede el 6 por ciento.

## **c. Clasificación de acuerdo al uso agrícola**

La conductividad eléctrica (C.E.), mide indirectamente la concentración de sales en el agua de riego, dando con este contenido su calidad. Para clasificar la conductividad del agua de riego se tuvo en cuenta la clasificación específica determinada por Wilcox (Cuadro 3.7).

**Cuadro 3.7: Clasificación de agua para riego según Wilcox**

<b>Calidad del agua</b>	<b>Conductividad eléctrica (dS/m)</b>
Excelente	< 0.25
Buena	0.25 - 0.85
Permisible	0.85 - 2.00
Dudosa	2.00 - 3.00
Inadecuada	> 3.00

En el acuífero de la zona de estudio, el agua subterránea también ha sido clasificada en base a las normas propuestas por Richards (1954) para el Laboratorio de salinidad de los Estados Unidos (Riverside, California), este sistema se basa en la medida de la conductividad eléctrica del agua y la relación de absorción de sodio (RAS), definida mediante la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{++} + rMg^{++}}{2}}}$$

Donde:

$r$  = meq/L

## Ecuación 6

Los iones más importantes, en cuanto a la estimación de la calidad del agua con fines de riego son el sodio, el bicarbonato, el cloruro y entre los elementos menores el boro. En el caso del sodio, las aguas con concentraciones elevadas de este ion son perjudiciales a las plantas, al reducir la permeabilidad del suelo, por lo que su valor no debe superar las 150 ppm como límite para el riego de los cultivos.

El efecto del bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) se establece a través del "carbonato de sodio residual" (CSR). Las aguas de buena calidad son aquellas con  $CSR < 1.25$  meq/l y no se consideran utilizables aquellas con  $CSR > 2.5$  meq/l.

El exceso de cloro en el agua de riego es de importancia para algunos cultivos como vid y cítricos. Su efecto se establece a través del término "salinidad potencial del agua". Los valores recomendados para suelos de alta permeabilidad van de 5 a 20 meq/l.

El Boro (B) es prácticamente un constituyente de todas las aguas naturales. Es un elemento esencial para el crecimiento de los cultivos pero en concentraciones muy pequeñas, si excede ligeramente los niveles óptimos es tóxico así, concentraciones de 1 a 2 ppm es tóxico para los cítricos y el espárrago.

Además, el agua se puede clasificar como dura o blanda según la normativa. Para efectos prácticos aguas con dureza menor de 50 mg/l son consideradas blanda, con durezas entre los 50 y los 150 mg/L, son de uso no objetable, y para durezas mayores de 150 mg/L se consideran duras.

### 3.2.8. Hidrodinámica subterránea

La hidrodinámica subterránea estudia el funcionamiento del acuífero y el movimiento del agua en un medio poroso, es decir cuantifica la capacidad de almacenar y transmitir agua.



Las pruebas o ensayos de bombeo han probado ser el medio de análisis más adecuado para alcanzar este objetivo, en este sentido se utilizaron para la determinación de las características hidráulicas del Acuífero Casma, permitiendo además realizar un análisis de interferencia con el que se estimó la relación hidráulica y el ámbito de influencia de los pozos.

#### **a. Pruebas de bombeo**

Las pruebas de bombeo denominadas también pruebas de acuífero porque tienen por objetivo la determinación de las características hidráulicas del acuífero (**K, T, Sy**). Consisten en la medición de campo de los niveles de agua en los pozos de bombeo y de observación, antes de iniciar el bombeo y durante el mismo, además del caudal de bombeo. Los niveles de agua y el nivel dinámico se miden, con la ayuda de sondas eléctricas; para la medición del caudal, se pueden utilizar diferentes métodos para el flujo en tuberías (caudalímetro ó tacómetro, método volumétrico, etc.) o en canales (flotador, correntómetro, vertedero, etc.), de acuerdo a cada caso.

En el presente estudio los ensayos de bombeo han sido efectuados en los 02 pozos tubulares propiedad de una empresa privada, y utilizando como pozos de observación los pozos aledaños propiedad de los agricultores de la zona, siendo el procedimiento el siguiente:

- Bombeo del pozo P-4 durante 24 horas, y medición de los abatimientos en 5 pozos vecinos, así como en el mismo pozo y en el pozo P-2 y sus respectivos piezómetros.
- Bombeo del pozo P-2 durante 24 horas y medición de los abatimientos en 5 pozos vecinos, así como en el mismo pozo y en el pozo P-4 y sus respectivos piezómetros.
- Bombeo del pozo P-4 y P-2 durante 24 horas, en simultaneo, y medición de los abatimientos en 5 pozos vecinos, así como en los mismos pozos y sus respectivos piezómetros.

Debe indicarse que durante el desarrollo del ensayo de bombeo lo más importante fue la medida de los niveles de descenso en el pozo de bombeo y en los de observación; y el aforo del caudal de descarga. La medición de los niveles de descensos se efectuaron con una sonda eléctrica de 100 m y una wincha de 5 m y el tiempo se midió con un cronometro, mientras que el caudal fue medido en el caudalímetro instalado en la tubería de descarga del pozo.

La duración de las pruebas de bombeo estuvo supeditada hasta que nivel del agua alcanzó una posición estabilizada y se tuvo la impresión de que no se extenderá más dicho cono si se alarga el bombeo. En acuíferos libres como es nuestro caso, el cono de depresión se extiende lentamente, se necesita un período mayor de bombeo, en este caso fue de 24 horas.

Por otra parte, se cuenta con perfiles litológicos y cortes geológicos de los pozos tubulares utilizados en los ensayos de bombeo, con la finalidad de conocer las condiciones geológicas del acuífero; como lo son la litología, espesor y los límites del mismo. Con relación a estos límites es importante conocer el carácter y el espesor de las capas que describe los materiales encontrados cuando han sido perforados, con la finalidad de identificar a que formación geológica pertenece y realizar una comparación con los valores hidrodinámicos estimados.

#### **b. Interpretación de las pruebas de bombeo**

Terminado el ensayo de bombeo y recogida la información relevante tanto en los pozos de bombeo como en los de observación, se comenzó expresando los datos de campo en las mismas unidades, estandarizándose el tiempo en segundos y el descenso de la napa en metros.

Para la determinación del tipo de acuífero explotado se comparó la curva de descenso – tiempo de bombeo, obtenida con la ayuda del software Aquifer Test V 2.5.7, con las curvas teóricas correspondientes a cada tipo de acuífero, una vez definido el tipo de acuífero este deberá compatibilizar con el perfil litológico de la zona donde se ejecutó la prueba de bombeo.

Para el cálculo de los parámetros hidráulicos se tomó como supuesto lo siguiente: en primer lugar que el acuífero es isotrópico y homogéneo aunque sea probable que esto no se cumpla nunca en la naturaleza, se considera además que tiene un radio finito, que penetra totalmente el acuífero y que el pozo no originaría pérdidas de carga, por último se considera constante el espesor del acuífero.

En muchas situaciones reales no se cometerían graves errores si no se satisfacen todos los supuestos, sin embargo, un examen minucioso del nivel de agua puede poner de manifiesto el no cumplimiento de algún supuesto, para lo que se tendrá presente esto al aplicar una fórmula determinada.

### c. Análisis de radios de influencia

El radio de influencia de un pozo, es la distancia que existe entre el centro del mismo y el lugar donde el abatimiento del nivel freático, por efecto del bombeo, es nulo. Se estima con la fórmula deducida de la ecuación de Theis-Jacob:

$$\mathbf{Ra} = 1.5(Tt/10aSy)^{0.5}$$

**Ecuación 7**

Donde:      **Ra** = Radio de influencia absoluto (m)  
              **T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)  
              **t** = Tiempo de bombeo (s)  
              **Sy** = Rendimiento específico

También se considera el radio de influencia relativo, que representa el radio de acción o distancia ficticia, que no afecte la producción de los pozos vecinos, en donde es aceptable una depresión o abatimiento de 0.10 m.

$$\mathbf{R}' = 1.5(Tt/10aSy)^{0.5}$$

**Ecuación 8**

$$\mathbf{a} = (h't)/0.183Q$$

Donde:      **R'** = Radio de influencia relativo (m)  
              **T** = Transmisividad (m<sup>2</sup>/s)  
              **t** = Tiempo de bombeo (s)  
              **Sy** = Rendimiento específico  
              **h'** = Abatimiento tolerable (0.10 m)  
              **Q** = Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

La información de los radios de influencia relativos es muy importante para la localización de los pozos proyectados, de tal manera de no causar problemas de interferencia con los pozos existentes.

Para el cálculo de los radios de influencia se utilizaron las propiedades hidrodinámicas obtenidas de las pruebas de bombeo, los mismos que permitirán investigar la profundidad y amplitud del pozo, en condiciones actuales de explotación y demostrar así la existencia o no de interferencia de pozos.

### 3.2.9. Balance hídrico

La ecuación de balance a emplearse es la de conservación de la masa, para un volumen fijo de acuífero en un intervalo de tiempo dado. En su forma más simple expresa que el cambio en la masa de agua almacenada en el volumen de control es igual a la entrada neta de masa en el intervalo; es decir:

$$\pm\Delta V = Ge - Gs$$

**Ecuación 9**

Donde:  $\pm\Delta V$  = Variación de reservas.

$Ge$  = Gasto de entrada o alimentación del acuífero.

$Gs$  = Gasto de salida o descarga del acuífero.

Para la presente investigación se consideró como recarga del acuífero, la infiltración por el lecho de río y áreas de cultivo; además del flujo subterráneo que entra al acuífero. Mientras que para la descarga del acuífero, fue considerado el bombeo de pozos, la evapotranspiración y el flujo subterráneo de salida.

### 3.2.10 Cálculo de la reserva total, aprovechable y renovable

Las reservas del agua subterránea representan el volumen de agua almacenada en el sistema acuífero en un período determinado, su cuantificación es importante ya que permite establecer políticas de explotación.

Las variables hidrogeológicas que intervienen en su cálculo exige un conocimiento detallado de la geometría del acuífero (profundidad del basamento rocoso, espesor del acuífero, y su extensión), el rendimiento específico, recarga y descarga del sistema acuífero (fluctuaciones de la napa freática o superficie piezométrica).

Las reservas para el acuífero del sector estudiado han sido estimadas haciendo uso de la siguiente expresión:

$$VR = A \cdot Sy \cdot \Delta H$$

**Ecuación 10**

Donde:

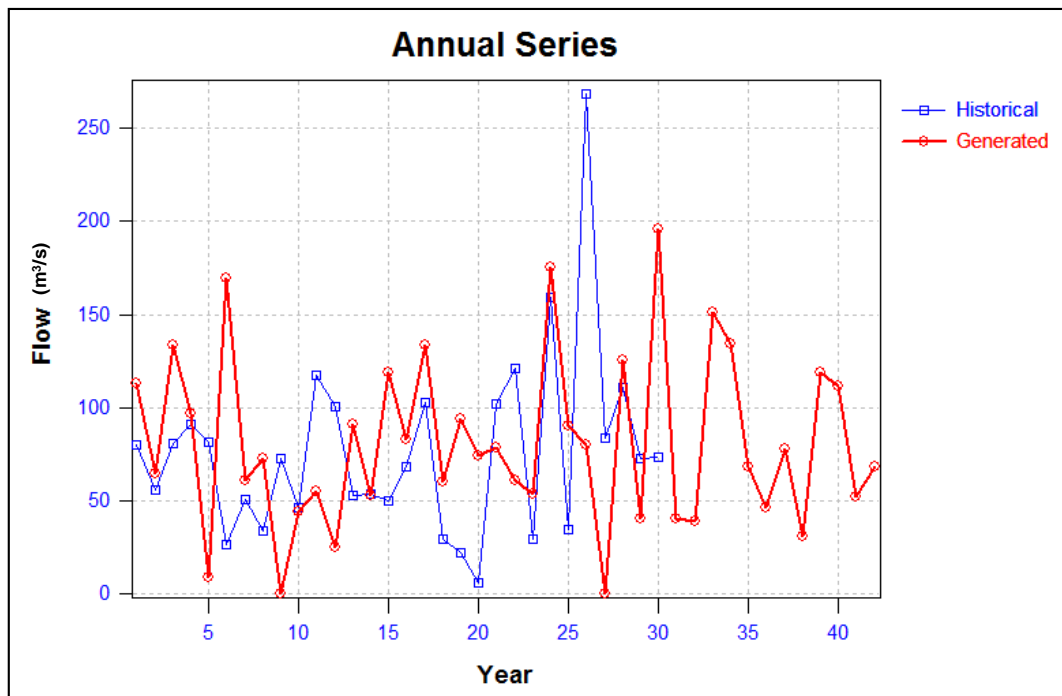
- VR** = Volumen de reservas en el acuífero (m<sup>3</sup>)
- A** = Área con una variación  $\Delta H$  esperada en el freático (m<sup>2</sup>)
- Sy** = Rendimiento específico
- $\Delta H$**  = Descenso esperado en el nivel freático (m)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

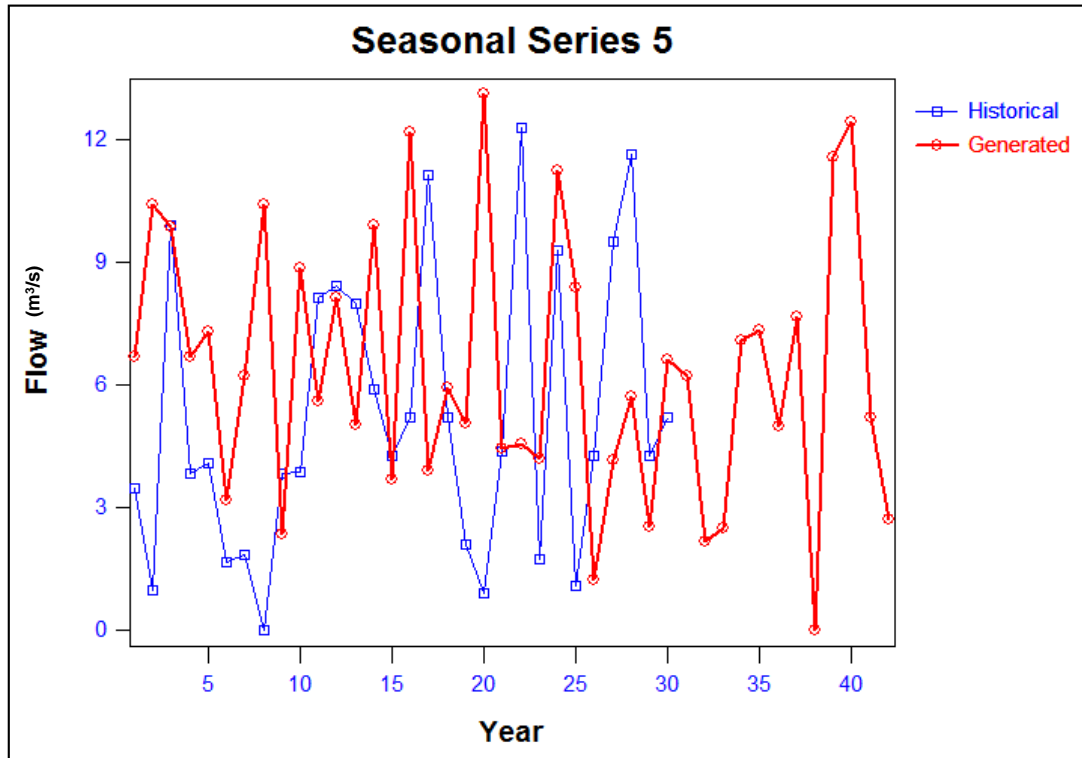
#### 4.1.1 Generación sintética de caudales mensuales para el periodo 2003- 2014

Luego de introducir los datos históricos en el software SAMS y determinar el tipo de modelo a usar, se muestran los datos sintéticos generados. En las Figuras 4.1 y 4.2 se observa la comparación entre los datos históricos y los datos generados tanto en la serie anual como estacional, donde es posible observar que los datos sintéticos conservan las propiedades estadísticas de la data histórica o proceso natural (Cuadro 4.1).



**Figura 4. 1: Comparación de la serie anual histórica con la generada**

FUENTE: Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)



**Figura 4. 2: Comparación de la serie estacional histórica con la generada**

FUENTE: Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)

**Cuadro 4.1: Comparación de índices estadísticos entre la serie generada y la serie histórica.**

MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Media histórica	8.6	16.3	20.3	13.8	5.2	2.4	1.4	0.7	0.3	1.2	1.7	3.9
Media generada	10.5	17.2	20.4	14.3	5.4	2.6	1.6	0.8	0.4	1.6	2.1	4.6
ST des histórica	13.8	17.0	14.9	10.4	3.4	1.9	1.4	0.8	0.5	2.0	2.5	5.2
ST des generada	10.0	14.1	13.2	9.2	3.1	1.7	1.2	0.7	0.4	1.5	1.9	4.1
Cv historica	1.6	1.0	0.7	0.8	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.7	1.4	1.3
Cv generada	1.0	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	0.9	0.9

FUENTE: Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)

La generación de los caudales para el periodo 2003 – 2014 por medio del programa Stochastic analysis modeling and simulación (SAMS 2007) y el modelo Parma (p, q), con 25 escenarios distintos se muestra en el Cuadro 4.2.

**Cuadro 4.2: Descarga media mensual generada para el periodo 2003 – 2014 (m<sup>3</sup>/s)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1973	10.87	10.07	18.35	14.50	3.47	1.09	0.00	0.21	0.89	4.88	4.77	11.34	6.70
1974	17.21	16.82	12.29	4.65	0.99	0.74	0.90	0.69	0.57	0.39	0.25	0.11	4.63
1975	5.04	9.58	32.19	14.50	9.92	4.27	1.75	1.04	0.83	0.57	0.48	0.58	6.73
1976	8.12	15.45	28.06	20.87	3.84	4.25	2.94	2.35	2.22	1.34	1.02	0.80	7.60
1977	3.99	21.88	26.71	17.67	4.10	1.62	1.05	0.87	0.42	0.42	0.51	1.99	6.77
1978	2.16	7.62	8.32	5.13	1.66	0.75	0.61	0.30	0.04	0.00	0.08	0.30	2.25
1979	0.07	6.68	24.39	16.97	1.87	0.52	0.43	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26
1980	1.03	0.36	1.62	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.55	4.99	10.76	2.86
1981	5.23	24.89	18.99	7.83	3.84	3.75	3.72	2.60	0.45	0.00	1.09	0.74	6.09
1982	4.36	9.21	3.71	5.87	3.87	2.09	0.31	0.02	0.00	0.40	4.79	11.44	3.84
1983	15.35	9.15	27.18	40.07	8.15	6.19	3.93	2.29	0.75	0.57	0.51	3.09	9.77
1984	4.66	25.26	25.41	13.65	8.43	5.65	4.59	2.61	0.68	0.65	0.66	8.22	8.37
1985	4.57	8.29	10.36	8.58	7.98	6.00	4.29	2.09	0.07	0.15	0.00	0.85	4.43
1986	10.25	7.46	8.24	14.02	5.91	3.22	2.30	0.58	0.03	0.00	0.03	1.62	4.47
1987	10.71	9.40	10.06	S/D	4.28	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	3.32
1988	7.55	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	1.44
1989	7.55	30.69	24.13	16.50	11.15	S/D	3.95	1.41	0.55	2.81	1.35	0.00	9.10
1990	1.63	1.44	6.21	1.21	S/D	0.12	0.05	0.00	0.00	2.61	6.87	4.34	2.23
1991	0.06	1.13	13.62	2.58	2.09	0.80	0.29	0.00	0.00	0.00	0.57	0.99	1.84
1992	0.10	0.37	2.99	1.92	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
1993	0.87	6.93	35.68	19.00	4.39	0.27	0.46	0.10	0.00	6.23	9.47	18.42	8.48
1994	12.55	33.43	24.13	32.10	12.29	4.43	0.89	0.02	0.10	0.08	0.37	0.97	10.11
1995	3.45	6.89	6.32	5.80	1.75	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	2.58	2.44
1996	15.97	26.14	53.23	46.77	9.29	3.87	2.76	0.84	0.26	0.01	0.32	0.00	13.29
1997	0.75	8.34	3.71	0.81	1.09	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	19.32	2.88
1998	77.91	91.29	68.03	14.38	4.27	2.62	2.00	1.22	0.56	2.44	0.78	2.73	22.35
1999	6.69	36.98	11.47	9.62	9.50	3.35	2.00	1.11	0.40	0.43	0.39	1.92	6.99
2000	5.29	25.00	40.05	16.77	11.66	5.03	1.14	0.54	0.26	0.75	0.30	4.19	9.25
2001	12.15	9.68	18.90	14.27	4.27	1.00	0.93	0.50	1.01	1.12	4.13	4.53	6.04
2002	2.94	12.33	24.19	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.12	2.88	9.69
2003	9.21	18.44	22.52	16.80	6.21	2.76	1.91	0.97	0.37	1.40	1.64	5.53	7.31
2004	13.32	21.87	24.11	16.10	5.21	2.17	1.37	0.73	0.46	1.36	1.60	3.61	7.66
2005	7.76	15.37	20.85	14.75	5.81	2.52	1.63	0.95	0.37	0.95	1.64	4.10	6.39
2006	9.77	16.01	20.36	15.01	5.71	2.40	1.55	0.75	0.28	1.36	2.02	3.67	6.57
2007	8.96	12.03	18.13	13.11	5.17	2.42	1.64	0.85	0.38	2.24	2.37	5.42	6.06
2008	10.06	19.17	24.03	13.90	6.22	2.95	1.86	0.97	0.43	1.28	1.75	4.84	7.29
2009	11.55	19.33	22.01	14.46	5.29	2.61	1.81	0.95	0.38	1.59	2.13	4.87	7.25
2010	11.24	17.31	18.41	13.85	5.26	2.38	1.37	0.75	0.40	1.56	2.03	4.06	6.55
2011	6.57	13.58	16.11	9.51	4.34	2.21	1.73	0.93	0.39	1.62	2.02	3.70	5.23
2012	8.65	13.48	19.48	14.90	5.71	2.50	1.71	0.93	0.45	1.45	1.70	3.54	6.21
2013	8.37	15.93	17.95	14.28	4.70	1.96	1.37	0.65	0.37	1.36	1.82	4.61	6.12
2014	8.38	15.53	19.20	13.40	4.92	2.60	1.72	0.89	0.51	1.41	2.04	4.69	6.27

FUENTE: Elaboración propia

Con los datos de descargas medias mensuales completos fue posible la determinación de la oferta hídrica superficial del área de estudio, un dato relevante para el balance hídrico.

#### 4.1.2 Análisis de persistencia de las descargas medias mensuales (periodo 1973 – 2014)

El periodo de registro de las descargas medias mensuales es de 42 años y está comprendido entre enero de 1973 y diciembre del 2014, información que se muestra en el Cuadro 4.2.



Se pueden observar eventos extremos ocurridos en 1998, debido al fenómeno “El Niño”, en la Figura 2.1 - Anexo 2 , asimismo, los años más secos se presentaron en 1978, 1980, 1990-1992, y 1997, siendo 1992 el año más seco con un caudal de 0.52 m<sup>3</sup>/s

En la Figura 2.2 - Anexo 2, se muestra el hidrograma de descarga media mensual (medias, máximas y mínimas), que permite distinguir los periodos de avenida, estiaje y transición entre los mismos. El período de avenida comprende de enero a abril, los de transición son de mayo a junio y octubre a diciembre, y el período de estiaje de julio a septiembre. se determina, un registro máximo en marzo de 20.29 m<sup>3</sup>/s y uno mínimo, de 0.36 m<sup>3</sup>/s en setiembre, correspondiente a la avenida y estiaje, respectivamente, así como una media anual de 6.37 m<sup>3</sup>/s o 200.00 MMC/año (Cuadro 4.3)

**Cuadro 4.3: Índices estadísticos descarga histórica, período 1973 – 2014 (m<sup>3</sup>/s)**

ÍNDICE	Avenida				Transición		Estiaje			Transición			Multianual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	8.88	16.36	20.29	13.93	5.27	2.40	1.50	0.78	0.36	1.27	1.78	4.04	6.37
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	77.91	91.29	68.03	46.77	12.29	6.19	4.59	2.61	2.22	8.55	9.47	19.32	22.35
Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)	0.06	0.36	1.62	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52
Desviación estándar	11.81	14.87	13.18	9.65	3.24	1.74	1.27	0.74	0.41	1.74	2.12	4.45	3.68
Coefficiente de variación	1.33	0.91	0.65	0.69	0.62	0.72	0.85	0.95	1.12	1.37	1.19	1.10	0.58
Volumen medio (MMC)	23.78	39.58	54.33	36.10	14.12	6.23	4.01	2.08	0.94	3.40	4.61	10.83	200
Nº de datos	42	41	41	39	39	39	41	41	41	41	42	42	489

FUENTE: Elaboración propia en base a la información recolectada y generada

La frecuencia de las descargas medias mensuales al 50, 75 y 90 por ciento, para el período 1973-2014, se muestra en el Cuadro 4.4 y en la Figura 2.3 (Anexo 2)

**Cuadro 4.4: Descarga media mensual para una persistencia de ocurrencia del 50, 75 y 90 por ciento (m<sup>3</sup>/s y MMC)**

ÍNDICE	Avenida				Transición		Estiaje			Transición			Multianual
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
Q50% Persist. (m <sup>3</sup> /s)	7.66	13.58	19.20	14.27	4.92	2.40	1.37	0.75	0.37	0.75	1.22	3.31	5.82
Q75% Persist. (m <sup>3</sup> /s)	4.08	8.34	11.47	8.21	3.84	0.90	0.43	0.10	0.00	0.01	0.33	0.88	3.22
Q95% Persist. (m <sup>3</sup> /s)	0.13	1.13	3.71	1.85	0.98	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66
Q50% Persist. (MMC)	20.51	32.85	51.43	36.98	13.19	6.22	3.68	2.01	0.97	2.00	3.16	8.88	181.87
Q75% Persist. (MMC)	10.94	20.17	30.72	21.27	10.28	2.33	1.16	0.26	0.00	0.02	0.86	2.36	100.36
Q95% Persist. (MMC)	0.36	2.73	9.94	4.79	2.64	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.73

FUENTE: Cuadro elaborado con la información proporcionada por el ALA Casma

Un valor importante para hallar la disponibilidad de las aguas superficiales de uso agrícola es la persistencia al 75 por ciento, esta indica que la descarga tiene el 75 por ciento de probabilidad de ser igualada o superada. El caudal medio anual para esta persistencia es de 3.22 m<sup>3</sup>/s, con caudales medios mensuales en la época de avenidas, de 4.08 a 11.47 m<sup>3</sup>/s, y en la época de estiaje de 0.00 a 0.43 m<sup>3</sup>/s. para la misma persistencia, la masa media anual es de 100.36 MMC, con masas medias mensuales que varían en la época de avenidas, de 10.94 a 30.72 MMC/mes, y en la época de estiaje de 0.00 a 1.16 MMC/mes.

#### 4.1.3 Análisis de tendencia de las descargas medias mensuales para el periodo 1973 – 2014

El análisis de tendencias de las descargas medias mensuales ha sido efectuada a fin de analizar el comportamiento temporal de dicha variable y sus efectos en la recarga del acuífero, profundidad de los niveles de agua subterránea, y áreas irrigadas.

Con dicho fin, el registro de 42 años ha sido dividido en dos periodos, el primero comprendido entre 1973 a 1997 y el segundo desde 1998 al 2014. El análisis de tendencias ha sido realizado por el método de Mann-Kendal (Cuadro 4.5).

Para el periodo 1973 a 1997 el método de Mann- Kendall no muestra tendencia a la disminución, ni incremento de los caudales del río Casma, mientras que para el periodo comprendido entre 1998 a 2014, y utilizando el mismo método, se muestra tendencia a la disminución en las descargas del río Casma, a una tasa de aproximadamente 0.06 m<sup>3</sup>/año (Figura 2.4 y Figura 2.5 del Anexo 2).

**Cuadro 4.5: Análisis de tendencia por el método de Mann- Kendall**

Periodo	n	S	V	Z	H <sub>1</sub>	Conclusión
1973 - 1997	23	-21.424	1833.333	0.5	rechazada	No hay tendencia
1998 - 2014	17	-70	589.333	2.88	aceptada	Tendencia negativa

n: longitud de muestra S: S de Mann- Kendal V: Varianza Z: Valor de distribución estándar normal H: Hipótesis

FUENTE: Elaboración propia

## **4.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA**

### **4.2.1 Análisis de las variables climatológicas**

#### **a. Horas de sol**

El tiempo de horas de sol tiene mucha importancia en la pigmentación de los frutos a fin de lograr una buena apariencia, en la zona las horas de sol varían entre 5.4 a 8.5 horas, siendo el mínimo requerido para la mayoría de los cultivos.

#### **b. Radiación solar**

La radiación solar más baja corresponde a junio – julio, y la más alta de diciembre – febrero. El promedio anual es de 19.4 MJ/m<sup>2</sup>/día.

#### **c. Temperatura**

Las temperaturas máximas están comprendidas entre 19.4 y 26.3 °C, con 22.4 °C de promedio; y las mínimas, entre 12.1 y 22.4 °C, con 16.8 °C de promedio anual. La oscilación de las temperaturas es propia de la costa, cuyos rangos muestran condiciones buenas para el desarrollo de la mayoría de los cultivos.

#### **d. Humedad relativa**

La humedad relativa, es importante a fin que el medio ambiente no genere problemas fitosanitarios y fungosos, siendo en promedio 73.2 por ciento y variando entre 69 a 79 por ciento; la oscilación de sus valores permiten programar actividades de diagnóstico de los cultivos en sus diversas etapas de desarrollo.

#### **e. Viento**

Es importante en los sistemas de riego por aspersión a fin de programar las horas de riego, velocidades superiores a 3 m/s no son apropiadas. En la zona de estudio la velocidad promedio anual es 153.9 Km/d, variando entre 126 y 171 Km/d, consecuentemente, no existe restricción para implementar cualquier sistema de riego.

### **4.2.2 Determinación de la evapotranspiración (ET<sub>0</sub>)**

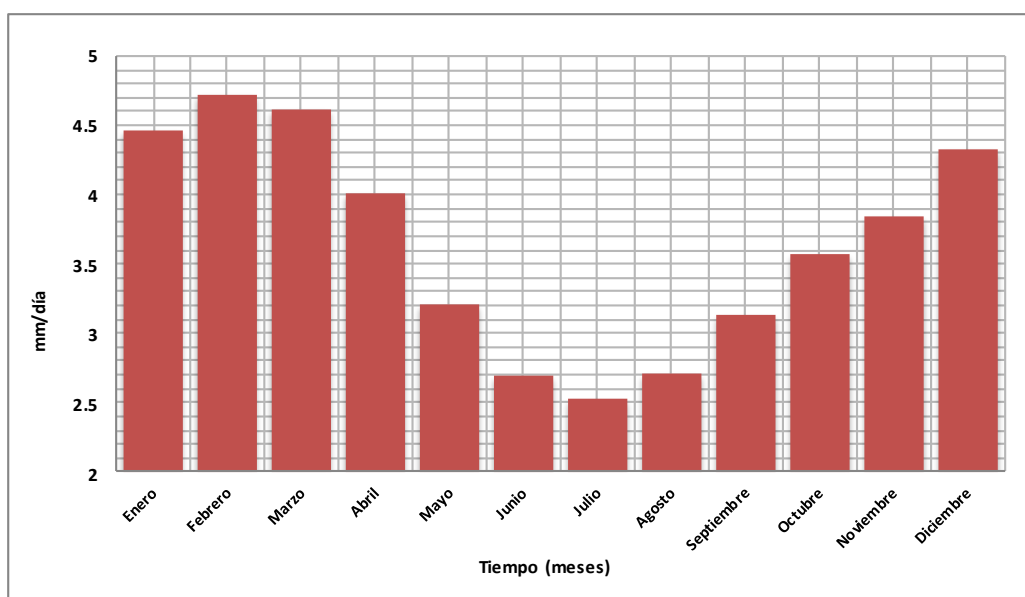
En el Cuadro 4.6, se muestra los valores de evapotranspiración del cultivo de referencia, elaborado con la base de datos de la estación Buenavista, y procesado con el software Cropwat 8.0, mediante el método de la FAO Penman-Monteith.

**Cuadro 4.6: Cálculo de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) – Estación Buenavista**

Mes	Temp Min	Temp Max	Temp Prom	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET <sub>o</sub>
	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(km/día)	(horas)	(MJ/m <sup>2</sup> /día)	(mm/día)
Enero	19.5	24.4	21.95	69	159	8.2	22.7	4.46
Febrero	22.1	25.7	23.9	70	152	8.5	23.3	4.72
Marzo	22.4	26.3	24.35	70	171	7.7	21.5	4.61
Abril	20.4	24.8	22.6	72	157	7.4	19.6	4.01
Mayo	16.4	22.9	19.65	74	157	6.4	16.5	3.21
Junio	14.6	21.1	17.85	77	146	5.9	15	2.69
Julio	13.1	20	16.55	79	126	5.6	15	2.52
Agosto	12.1	19.4	15.75	77	143	5.4	16	2.71
Septiembre	12.1	19.7	15.9	75	151	6.2	18.5	3.13
Octubre	14.1	20.6	17.35	73	158	6.9	20.5	3.57
Noviembre	15.6	21.1	18.35	72	165	7.7	21.8	3.85
Diciembre	19.5	22.8	21.15	70	162	8.4	22.9	4.32
Promedio	16.8	22.4	19.6	73	154	7	19.4	3.65

FUENTE: Elaboración propia con datos obtenidos del software Cropwat 8.0

La evapotranspiración varía entre 2.52 y 4.72 mm/d, con 3.65 mm/día, de promedio anual. En la Figura 4.3, se muestra la variación temporal de esta variable, alcanzando sus mínimos valores entre mayo y septiembre, y, los valores máximos, de octubre a abril.



**Figura 4.3: Variación mensual de la ET<sub>o</sub> (mm/día)**

FUENTE: Cropwat 8.0

### **4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN GEOFÍSICA**

#### **4.3.1 Prospección geofísica**

La interpretación de los SEVs ha permitido elaborar tres secciones geoelectricas (Mapa 6,7 y 8 del Anexo 3), que han sido realizadas en los diferentes sectores del área de estudio, y han permitido identificar las diferentes capas u horizontes que conforman el acuífero; así como también, sus espesores y características hidrogeológicas. Los tres cortes geoelectricos fueron realizados por GMM INGENIEROS E.I.R.L, se muestra su ubicación en el Mapa 9 del Anexo 3, que se describe a continuación:

Los cortes geoelectricos en el primer horizonte (H1) se muestran secos, y se hallan conformados por dos o tres capas geoelectricas de igual o parecido valor de permeabilidad, con materiales que presentan resistividades entre medianas a muy altas (17.9 - 679.0 y 260.0 - 405.0 Ohm-m.), como es el caso de la sección geoelectrica A-A' y C-C'. A su vez, los espesores de la capa, varían de 1.2 - 11.0 m y de 2.0 -8.0 m.

Por otro lado, el segundo horizonte (H2) presenta buena permeabilidad, con resistividades entre medianas a altas (29.5 – 174 Ohm-m) correspondiente, por ejemplo, al corte geoelectrico B –B'. De manera general, pueden hallarse depósitos aluviales cuyos espesores van desde 15.2 – 26.9 m a 58 - 62 m. Este horizonte representa al acuífero permeable, probablemente se encuentre parcialmente saturado con agua de buena calidad.

Del mismo modo, el tercer horizonte (H3) presenta espesores que van de 48.9 – 61.8 m a 71.5 – 139.4 m y permeabilidad de baja a media (de 3.0 -10.0 ohm-m y 15.0 - 23.8 Ohm-m), se encuentra totalmente saturado, sin embargo, no brinda condiciones de buen acuífero, debido a la presencia de los sedimentos finos.

Finalmente, el cuarto horizonte (H4) muestra el sustrato rocoso y corresponde a depósitos de alta a muy alta resistividad (de 84.0 – 5440.0 a 185.0 - 4090 Ohm-m), su espesor no ha sido muy bien definido por tratarse de la última capa.

Los detalles más precisos, sobre los horizontes y secciones descritas se resumen en el Cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7: Resumen de horizontes, resistividades, espesores de los SEV – San Rafael**

Sección geoelectrica	Horizonte	Resistividad verdadera (ohm.m)	Espesor (m)	Depósitos
Sección geoelectrica A-A'	1er horizonte (H1)	Mediana 17,9 a muy alta 679,0 Ohm-m.	De 1,2 a 11,1 m	Clastos angulosos de mediana a muy alta permeabilidad en estado seco
Sección geoelectrica B-B'		Alta 34,0 a muy alta 1090,0 Ohm-m.	De 1,3 a 6,5 m	Clastos de muy alta permeabilidad en estado seco
Sección geoelectrica C-C'		Alta 260,0 a muy alta 405,0 Ohm-m.	De 2,0 a 8,0 m	Clastos muy alta permeabilidad en estado seco
Sección geoelectrica A-A'	2do horizonte (H2)	Mediana 44,2 a 110,0 Ohm-m.	De 19 a 42,1 m	Clastos de alta permeabilidad, acuífero a partir del Nivel estático.
Sección geoelectrica B-B'		Mediana 29,5 a alta 174,0 Ohm-m.	De 15,2 a 26,9 m	Clastos de mediana a alta permeabilidad, acuífero a partir del nivel estático.
Sección geoelectrica C-C'		Alta 52,0 a muy alta 61,0 Ohm-m.	De 58,0 a 62,0 m	Clastos de media permeabilidad saturados
Sección geoelectrica A-A'	3er horizonte (H3)	Baja 15,0 a mediana 23,8 ohm-m	De 48,9 a 61,8 m.	Clastos de baja a mediana permeabilidad saturados.
Sección geoelectrica B-B'		Baja 5,4 a 11,6 ohm-m	De 71,5 a 139,4 m	Clastos de baja permeabilidad saturados
Sección geoelectrica C-C'		Baja 3,0 a 10,0 ohm-m	De 48,0 a 54,0 metros	Clastos de baja permeabilidad saturados
Sección geoelectrica A-A'	4to horizonte (H4)	Muy alta 185,0 a 4090 Ohm-m	No ha sido calculado por tratarse de la última capa de estudio.	Substrato rocoso
Sección geoelectrica B-B'		Alta 84,0 a muy alta 5440,0 Ohm-m	No ha sido calculado por tratarse de la última capa de estudio.	Substrato rocoso
Sección geoelectrica C-C'		452 - 620 Ohm-m.	No ha sido calculado por tratarse de la última capa de estudio.	Substrato rocoso

FUENTE: Cuadro elaborado con la información proporcionada por GMM Ingenieros.

### a. Isobatas

En base a la información recopilada se ha elaborado el Mapa 10 (Anexo 3), en el cual se muestra la profundidad a la que se encuentra la base del horizonte aprovechable referente a la profundidad de los pozos ubicados en toda el área de estudio, que corresponde a la topografía de la base del acuífero superficial, y cuyos estadísticos se muestra en el Cuadro 4.8.

Las isobatas están comprendidas entre las cotas 85.84 m.s.n.m y 144.09 m.s.n.m. con una media de 108.71 m.s.n.m., el relieve del impermeable es ligeramente uniforme con variaciones en las cercanías de los pozos P-2 y P-4.

**Cuadro 4.8: Estadísticos de las isobatas – San Rafael**

<b>Indicador</b>	<b><math>\Delta h(m)</math></b>
Minimum:	85.84
25% -tile:	105.60
Median:	108.71
75% -tile:	118.38
Maximum:	144.09
Midrange:	114.96
Range:	58.26
Mean:	110.52
Standard Deviation:	13.66
Variance:	186.66
Coef. of Variation:	0.12
Coef. of Skewness:	0.35

FUENTE: Elaboración propia

### b. Isópacas

Los espesores saturados del acuífero han sido determinados mediante el análisis espacial de los valores de las isópacas, estando los espesores comprendidos entre 56 y 62 m, con una media de 58 m. (Cuadro 4.9).

Los mayores espesores se observan en las cercanías del río, disminuyendo ligeramente hacia el sur del área estudiada, de igual modo se observa una disminución del espesor hacia el noroeste. (Mapa 11 del Anexo 3)

**Cuadro 4.9: Estadísticos de las isópacas – San Rafael**

<b>Indicador</b>	<b><math>\Delta h(m)</math></b>
Minimum:	56
25% -tile:	57
Median:	58
75% -tile:	62
Maximum:	62
Midrange:	59
Range:	6
Mean:	59
Standard Deviation:	2.25
Variance:	5.07
Coef. of Variation:	0.04
Coef. of Skewness:	0.22

FUENTE: Elaboración propia

#### **4.4. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RESERVORIO ACUÍFERO**

##### **4.4.1 Geometría del acuífero**

###### **a. Forma y límites**

El acuífero de la zona de estudio es de forma alargada, presentándose la parte más angosta en la zona IV (Calavera Chica) y ampliándose en las zonas I y II (Puquio grande). Está conformado por depósitos aluvionales, y delimitado, en su flanco derecho, por afloramientos rocosos y en su flanco izquierdo, mayormente, por afloramientos rocosos con cobertura eólica.

###### **b. Dimensiones**

El acuífero presenta dimensiones variables, así se tiene que en las zonas IV y III, varía entre 711 a 1264 m, y en la zona II y I, varía entre 1270 y 1400 m. Por otro lado, el río Casma, fluctúa entre 33 m y 220 m de ancho.

##### **4.4.2 El medio poroso**

###### **a. Litología**

Basándose en los resultados de la geología, geomorfología y del análisis de algunos perfiles litológicos; ha sido posible deducir la litología del acuífero.



El acuífero está constituido principalmente por rellenos aluviales cuaternarios, conformado por gravas, arenas finas a gruesas, cantos que varían de redondeados a subredondeados; limos y arcillas, todos de carácter típicamente fluvial.

#### **4.5. ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

El inventario de pozos fue realizado en el 2008, se registraron 51 pozos, de los cuales tres pozos son tubulares y 48 a tajo abierto. Posteriormente, dicho inventario fue actualizado en el 2014, habiéndose inventariado 4 pozos adicionales de propiedad de una empresa privada (Foto 4), haciendo un total de 55 pozos (Cuadro 2.1 del Anexo 2). En el Cuadro 4.10 se muestra el número de pozos por sector y la ubicación de las fuentes de agua subterránea, se muestra en el Mapa 12 del Anexo 3.

**Cuadro 4.10: Distribución de los pozos por sector político de la zona de estudio**

<b>Sector</b>	<b>Nº Pozos</b>	<b>(%)</b>
Calavera Chica	6	10.91
Castillo	3	5.45
Choloque	8	14.55
Puquio Grande	32	58.18
Purgatorio	2	3.64
Empresa Privada	4	7.27
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

##### **4.5.1 Tipo de pozos inventariados**

Del total del pozos inventariados, de los cuales siete son tubulares (12.73 por ciento) y 48 a tajo abierto (87.27 por ciento), tal como se muestra en el Cuadro 4.11 y en la Figura 4.4.

##### **a. Pozos tubulares**

En el área de estudio se han registrado siete pozos tubulares, que en su conjunto representan el 12.73 por ciento del total del inventario, observándose que la mayor cantidad de estos pozos pertenecen a la empresa privada

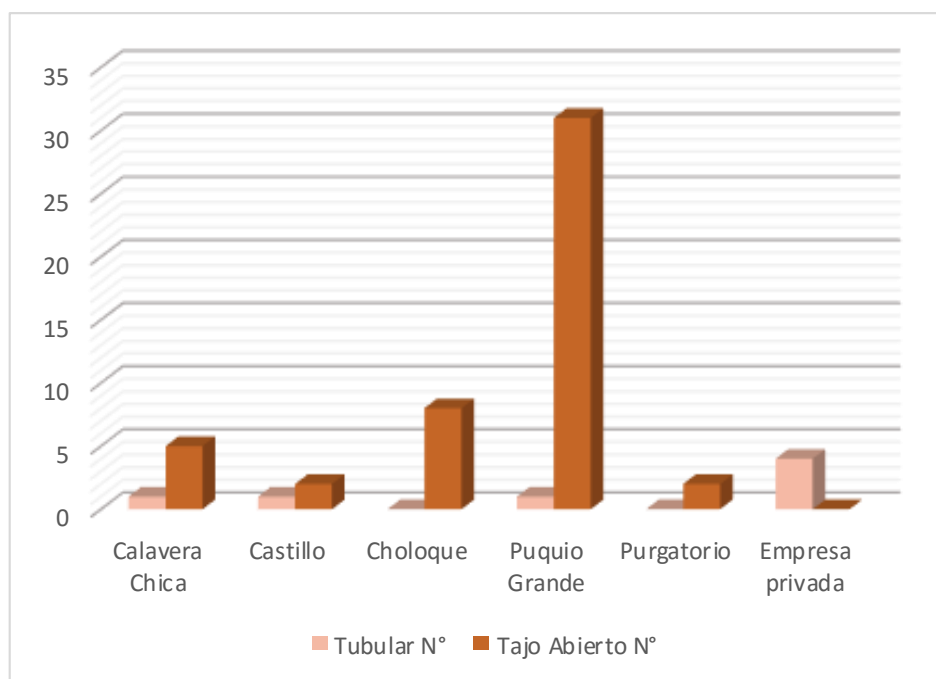
## b. Pozos a tajo abierto

Se han registrado 48 pozos a tajo abierto, que representan el 87.27 por ciento del total inventariado, ubicándose la mayor cantidad de ellos en el sector de Puquio grande.

**Cuadro 4.11: Distribución de los pozos según su tipo**

Sector	Tubular		Tajo abierto		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Calavera Chica	1	1.82	5	9.09	6	10.91
Castillo	1	1.82	2	3.64	3	5.45
Choloque	0	0	8	14.55	8	14.55
Puquio Grande	1	1.82	31	56.36	32	58.18
Purgatorio	0	0	2	3.64	2	3.64
Empresa privada	4	7.27	0	0	4	7.27
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>12.73</b>	<b>48</b>	<b>87.27</b>	<b>55</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 4. 4: Tipo de pozos – San Rafael**

FUENTE: Elaboración propia

## 4.5.2 Estado de los pozos inventariados

De los 55 pozos inventariados, 40 son utilizados (72.73 por ciento), 11 son utilizables (20.0 por ciento) y 4 no utilizables (7.27 por ciento), tal como se muestra en el Cuadro 4.12.

**Cuadro 4. 12: Distribución de los pozos según su estado**

Estado	N° Pozos	(%)
Utilizado	40	72.73
Utilizable	11	20
No utilizable	4	7.27
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>100</b>

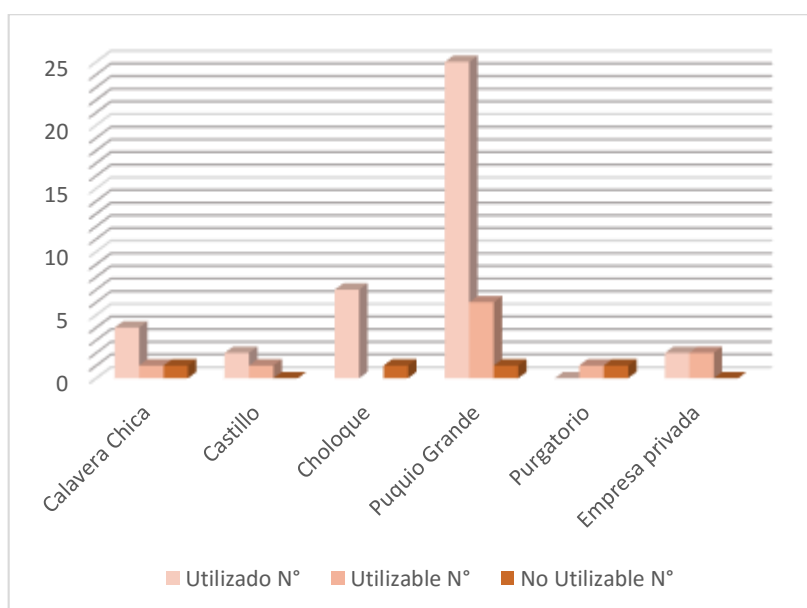
FUENTE: Elaboración propia

En el Cuadro 4.13 y la Figura 4.5 se muestra la distribución de los pozos según su estado y por sectores, observándose que Puquio grande tiene la mayor cantidad de pozos utilizados y Purgatorio la menor cantidad.

**Cuadro 4. 13: Distribución de los pozos según su estado, por sectores**

Sector	Utilizado		Utilizable		No utilizable		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Calavera Chica	4	7.27	1	1.82	1	1.82	6	10.91
Castillo	2	3.64	1	1.82	0	0	3	5.45
Choloque	7	12.73	0	0	1	1.82	8	14.55
Puquio Grande	25	45.45	6	10.91	1	1.82	32	58.18
Purgatorio	0	0	1	1.82	1	1.82	2	3.64
Empresa Privada	2	3.64	2	3.64	0	0	4	7.27
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>72.73</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>7.27</b>	<b>55</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia



**Figura 4.5: Estado de los pozos – San Rafael**

FUENTE: Elaboración propia

### a. Pozos utilizados

En el área de estudio se han inventariado 40 pozos utilizados que representan el 72.73 por ciento del total registrado. En el Cuadro 4.14 se muestra la distribución de los pozos según su estado, en donde del total de pozos utilizados inventariados 37 son a tajo abierto y 3 tubulares, presentándose la mayor cantidad en el sector de Puquio grande.

**Cuadro 4.14: Distribución de los pozos utilizados según su tipo, por sectores**

Sector	Tubular		Tajo Abierto		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Calavera Chica	0	0	4	10	4	10
Castillo	1	2.5	1	2.5	2	5
Choloque	0	0	7	17.5	7	17.5
Puquio Grande	0	0	25	62.5	25	62.5
Purgatorio	0	0	0	0	0	0
Empresa privada	2	5	0	0	2	5
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>7.5</b>	<b>37</b>	<b>92.5</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

### b. Pozos utilizables

En el área se han registrado 13 pozos en estado utilizable, presentándose la mayor cantidad en el sector de Puquio grande, como se muestra en el Cuadro 4.15.

**Cuadro 4.15: Distribución de los pozos utilizables según su tipo, por sectores**

Sector	Tubular		Tajo Abierto		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Calavera Chica	0	0	1	0	1	9.1
Castillo	0	0	1	9.1	1	9.1
Choloque	0	0	0	0	0	0
Puquio Grande	1	9.1	5	45.5	6	54.5
Purgatorio	0	0	1	9.1	1	9.1
Empresa privada	2	18.2	0	0	2	18.2
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>27.3</b>	<b>8</b>	<b>63.6</b>	<b>11</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

### c. Pozos no utilizables

En la zona de estudio se han registrado cuatro pozos no utilizables (7.27 por ciento del total inventariado), tres de ellos a tajo abierto y un tubular, en la zona de Calavera chica.

### 4.5.3 Uso de los pozos

De los 55 pozos registrados en el área de estudio, 22 son utilizados con fines agrícolas y 18 con fines domésticos, predominando el uso agrícola (Cuadro 4.16).

**Cuadro 4.16: Distribución de los pozos según su uso**

Sector	Uso de los Pozos					
	Doméstico		Agrícola		Total	
	(N°)	(%)	(N°)	(%)	(N°)	(%)
Calavera Chica	2	5	2	5	4	10
Castillo	2	5	0	0	2	5
Choloque	4	10	3	7.5	7	17.5
Puquio Grande	10	25	15	37.5	25	62.5
Purgatorio	0	0	0	0	0	0
Empresa privada	0	0	2	5	2	5
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>45</b>	<b>22</b>	<b>55</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

FUENTE: Elaboración propia

#### a. Pozos de uso doméstico

Se han registrado 18 pozos de uso doméstico (45 por ciento del total de pozos utilizados), presentándose la mayor cantidad en Puquio Grande (10 pozos).

#### b. Pozos de uso agrícola

Se han registrado 22 pozos para uso agrícola (55 por ciento del total de utilizados), presentándose en Puquio grande la mayor cantidad de pozos (15 pozos).

### 4.5.4 Rendimiento de los pozos

Se ha podido determinar que el máximo rendimiento en los pozos tubulares es de 40 l/s (Pozo P-4), propiedad de la empresa privada, mientras que en los pozos a tajo abierto, es de 30 l/s (pozo IRHS 356 e IRHS 508).

En los pozos tubulares el rendimiento más bajo es de 20 l/s (IRHS 117) sector castillo, mientras que en los a tajo abierto, es de 15 l/s.

#### **4.5.5 Características técnicas de los pozos**

##### **a. Profundidad de los pozos**

La profundidad de los pozos es variable y depende básicamente del tipo, uso y su ubicación. Así, la profundidad máxima en los tubulares es de 60 m (pozo IRHS 117 e IRHS 118); y, la mínima, de 39 m (Pozo P-2), en los a tajo abierto la máxima es de 10.43 m y la mínima, de 3.0 m.

##### **b. Equipo de bombeo**

Se ha registrado 27 pozos equipados (motor y bomba), presentando mayor cantidad en el sector Puquio Grande, con 17 pozos. En toda el área se han inventariado tres tipos de motores: eléctrico (4), diésel (13) y gasolinero (10), y la totalidad de las bombas son centrifugas de succión.

#### **4.6. ANÁLISIS DE LA NAPA FREÁTICA**

##### **4.6.1 Análisis morfológico de la napa**

La napa freática en el área de estudio es libre, siendo su fuente de alimentación, la infiltración en el cauce del río, además de los canales de riego sin revestir y de las áreas de cultivo que se encuentran bajo riego.

##### **a. Análisis morfológico de la napa freática (abril 2008)**

Acorde con la información registrada por INRENA (2008), las cargas hidráulicas de 51 pozos, se hallan comprendidas entre 132 y 174 m, con un gradiente hidráulico promedio de 1.1 por ciento, y la dirección de flujo es aproximadamente paralelo al flujo del agua en el río. El acuífero no se halla interferido, consecuentemente, la superficie freática es uniforme. Las principales fuentes de recarga son las áreas irrigadas, cuyas aguas son conducidas mediante la red de canales existentes en el valle. La distribución espacial de las curvas equipotenciales se muestra en el Mapa 13 (Anexo 3).

##### **b. Análisis morfológico de la napa freática (agosto 2012)**

Las cargas hidráulicas están comprendidas entre 129 y 185 m con 1.1 por ciento de gradiente hidráulico, y sentido de flujo de este a noroeste tal como se observa en el Mapa 14 (Anexo 3). En la zona sur se observa cierta elevación de la carga hidráulica explicada

por la heterogeneidad del acuífero en el sector, así como por la intensidad de recarga debido al riego de áreas cultivadas.

**c. Análisis morfológico de la napa freática (agosto 2013)**

La morfología del agua subterránea para esta etapa ha sido analizada con la información de monitoreo de la profundidad de los niveles de agua, durante el periodo en que los pozos P-2 y P-4 se encontraban en operación, en consecuencia las curvas equipotenciales corresponden a los efectos de bombeo y recarga del acuífero.

Las cargas hidráulicas se encuentran comprendidas entre 129 y 185 m con sentido de flujo en la dirección este a noroeste y con gradiente hidráulico de 1.1 por ciento. Sobre 49.23 ha cercanas a los pozos P-2 y P-4, se observa una ligera alteración de la morfología del agua subterránea, siendo el sentido de flujo de norte a sur en dirección hacia los pozos en extracción, tal como se muestra en el Mapa 15 (Anexo 3).

**d. Análisis morfológico de la napa freática (enero 2014)**

La morfología del agua subterránea para este periodo es muy similar al de agosto del 2013, con un gradiente hidráulico de 1.1 por ciento, sentido de flujo de este a oeste, con ligera alteración de la morfología del agua en las cercanías de los piezómetros Pz-2 y Pz-4, con un ligero descenso con respecto a las cargas hidráulicas registradas en agosto del 2013, siendo el sentido de flujo en esta zona de norte a sur en dirección hacia los pozos P-2 y P-4, tal como se muestra en el Mapa 16 (Anexo 3).

**e. Análisis morfológico de la napa freática (agosto 2014)**

Las cargas hidráulicas en la zona oeste de los pozos IRHS 353 e IRHS 31 tienen un comportamiento similar al de enero del 2014. En la zona este de los pozos IRHS 353 y IRHS 31 hasta los pozos IRHS 27 e IRHS 514 se observa un ascenso de 1.0 m en las cargas hidráulicas con respecto a enero del 2014. Hacia el este del pozo IRHS 28 el comportamiento de las cargas hidráulicas es similar a la observada en enero del 2014. La distribución espacial de las curvas equipotenciales, antes descritas, es mostrada en el Mapa 17 (Anexo 3).

#### **4.6.2 Análisis de profundidad de la napa freática**

##### **a. Análisis de la profundidad de la napa freática (abril 2008)**

La profundidad de la napa en el acuífero, fue estudiada con base a la información de campo recopilada de 51 pozos de bombeo (en virtud a la no disponibilidad de pozos de observación ni piezómetros) en abril del 2008. La profundidad de la superficie del agua subterránea se halla comprendida entre 0.5 m (zona central del área de estudio) a 3.9 m (zona oeste), en la mayor superficie del acuífero la profundidad de los niveles se halla comprendido entre 1.4 y 2.9 m. La distribución espacial de la profundidad de los niveles de agua se muestra en el Mapa 18 (Anexo 3) y en el Cuadro 2.2 (Anexo 2).

##### **b. Análisis de la profundidad de la napa freática (agosto 2012)**

Como producto del inicio del programa de monitoreo de los niveles de agua subterránea establecido por la ALA Casma en la zona San Rafael se dispone de información de datos medidos en 24 pozos de bombeo (considerados como pozos de observación), en agosto del 2012.

Sus valores se hallan comprendidos entre 0.5 y 7 m. La mayor extensión del acuífero tiene profundidades de niveles de agua entre 0.5 y 3 m, cubriendo la zona oeste, centro y este del área en estudio.

Valores superiores a 3 m de nivel de agua se localizan en la zona sur del acuífero. La distribución espacial de la profundidad de los niveles de agua subterránea se muestra en el Mapa 19 (Anexo 3) y en el Cuadro 2.3 (Anexo 2).

##### **c. Análisis de la profundidad de la napa freática (agosto 2013)**

Para el monitoreo durante este periodo se ha considerado la profundidad de los niveles de agua registrados en los piezómetros Pz-2 y Pz-4 de propiedad de una empresa privada, asimismo los pozos P-2 y P-4 se encontraban en explotación. Las profundidades de los niveles de agua fueron registradas en 24 pozos y los dos piezómetros antes mencionados. El rango de la profundidad de los niveles está comprendida entre 0.5 y 20 m, como en los casos anteriores la mayor superficie del acuífero tiene profundidades de nivel de agua subterránea inferiores a 3 m, en extensión reducida tiene profundidades de niveles de agua superiores a 6 m, principalmente en las cercanías de los piezómetros Pz-2 y Pz-4, debido



a la variación abrupta de la topografía del terreno, constituida por dunas. La distribución espacial de la profundidad de los niveles de agua subterránea se muestra en el Mapa 20 (Anexo 3) y en el Cuadro 2.4 (Anexo 2).

#### **d. Análisis de la profundidad de la napa freática – enero 2014 y agosto 2014**

Con la información registrada en 24 pozos y dos piezómetros, recolectada para la presente tesis para el 2014 (Fotos 5 y 6), se ha analizado el comportamiento de la profundidad de los niveles de agua para el inicio del periodo de avenidas (enero 2014) e inicio del periodo de estiaje (agosto 2014).

La mayor superficie del acuífero, como en los casos anteriores, muestra profundidades de nivel de agua inferiores a 3 m. Se ha tomado como referencia la superficie del acuífero con profundidades mayores a 6 m, como se ha mencionado esto ocurre en la cercanía de los piezómetros Pz-2 y Pz-4; para enero del 2014, esta superficie es de 37 ha; y para agosto, es 55 ha. La distribución espacial de la profundidad de los niveles de agua subterránea para enero y agosto se muestra en los Mapas 21 y 22 (Anexo 3) y en los Cuadros 2.5 y 2.6 (Anexo 2).

### **4.6.3 Análisis de la fluctuación de cargas hidráulicas**

#### **a. Zona I**

Se ha considerado la información de los niveles de agua registrados en los pozos de monitoreo 51, 31, 40, 47, y 53 para el periodo de agosto del 2012 a enero del 2015, tal como se observa en la Figura 2.6 (Anexo 2).

El patrón de la variación temporal de los niveles de agua subterránea es similar en todos los pozos, y obedecen al ciclo hidrológico dividido en periodos de avenida y de estiaje. Durante el periodo de avenidas (enero a abril) se observa un ascenso en los niveles de agua, ocurriendo el nivel pico entre abril y mayo, es decir se da un retardo de 3 a 4 meses aproximadamente, considerado como el tiempo de viaje de las aguas recargadas a través del lecho del río y de las áreas irrigadas. Posterior a este periodo se observa un descenso máximo de 1.54 m (mayo y noviembre, 2013) y en la mayoría de los pozos se observa un descenso promedio de 1.00 m. Posterior a este periodo de estiaje los niveles de agua se recuperan (ascienden) entre febrero y julio del 2014, lo que ratifica lo mencionado

anteriormente, que la fluctuación de los niveles de agua en este sector obedecen a el ciclo hidrológico por cuanto en esta zona la explotación del agua subterránea es mínima, finalmente en el período de julio y diciembre del 2014 se muestra un abatimiento (descenso) de 1.35 m en promedio.

Para una mayor comprensión de la forma de como fluctúan los niveles freáticos se ha realizado la comparación de estos niveles para el periodo comprendido entre agosto del 2012 y enero del 2015. Al comparar la información de los pozos de monitoreo para agosto (periodo de estiaje) se ha podido observa un descenso hasta de 0.25 m con respecto al 2012, tal como se observa en el Cuadro 4.17, en el cual también se observa, que para enero del 2015 no se llegó a recuperar los niveles de agua en la época de avenidas con respecto al 2014, pues los niveles han descendido hasta en 0.97 m (pozo 51). El 75 por ciento del área de esta zona del acuífero ha sufrido un descenso de 0.56 m en enero, mientras que para agosto se llega a alcanzar el nivel del año anterior.

**Cuadro 4.17: Variación de la carga hidráulica en época de avenidas y estiaje (Zona I)**

Indicador	h agosto 2014 - h agosto 2012	h enero 2015 - h enero 2014
	$\Delta h$ (m)	$\Delta h$ (m)
Minimum:	-0.25	-0.97
25%-tile:	-0.25	-0.97
Median:	-0.075	-0.64
75%-tile:	0.03	-0.56
Maximum:	0.055	0.02
Midrange:	-0.1	-0.475
Range:	0.305	0.99
Mean:	-0.086	-0.5575
Standard Deviation:	0.15	0.42
Variance:	0.02	0.18

FUENTE: Elaboración propia

#### **b. Zona II**

Se realizó el análisis de la fluctuación de los niveles de agua en los pozos de monitoreo 27, 29, 35, 37, 39, 44, y 45, para el periodo de agosto del 2012 a enero del 2015. El ascenso máximo o recuperación de los niveles de agua ocurre entre 4 a 5 meses (mayo) de ocurrida la avenida o flujo de agua en el río y el riego de áreas agrícolas. Posterior a ello, se observa un abatimiento máximo de 2.34 m (pozo 27) y, en promedio, el descenso en el resto de pozos es 2.1 m.

Amerita mencionar que los niveles de agua en los pozos IRHS 154 (a 850 m de los pozos P-2 y P-4), 29, 27 y 37 no alcanzan a recuperar su nivel inicial, observándose descensos de 1.1 y 1.25 m en época de estiaje y avenidas, respectivamente. Mientras que el pozo 35, que se encuentra más alejado de los pozos P-2 y P-4, se recupera en 0.51 m, en época de avenidas y logra alcanzar el mismo nivel de agosto (estiaje) del 2012.

Tal como se muestra en el Cuadro 4.18, el 75 por ciento del área de esta zona presenta un descenso en época de estiaje con respecto al 2012 de 0.29 m, mientras que en época de avenidas muestra un descenso de 0.76 m, con respecto al 2014. La variación temporal de la fluctuación de los niveles de agua es mostrada en la Figura 2.7 (Anexo 2).

**Cuadro 4.18: Variación de la carga hidráulica en época de avenidas y estiaje (Zona II)**

Indicador	h agosto 2014 - h agosto 2012	h enero 2015 - h enero 2014
	$\Delta h(m)$	$\Delta h(m)$
Minimum:	-1.05	-1.21
25%-tile:	-0.82	-1.21
Median:	-0.53	-1.055
75%-tile:	-0.29	-0.76
Maximum:	0	0.51
Midrange:	-0.52	-0.35
Range:	1.05	1.72
Mean:	-0.538	-0.745
Standard Deviation:	0.42	0.73
Variance:	0.17	0.53

FUENTE: Elaboración propia

### c. Zona III

Han sido considerados los pozos de monitoreo 18, 19, 20, 25 y los piezómetros Pz-2 y Pz-4, la longitud de registro de los niveles observados es similar a las anteriores (agosto 2012 a enero 2015). La fluctuación de los niveles de agua subterránea en los pozos de observación obedece al ciclo hidrológico; sin embargo, se observa que en el 2014 no se logra alcanzar los niveles del año anterior, apreciándose un descenso máximo entre 0.62 m y 1.39 m.

En los piezómetros Pz-2 y Pz-4 los niveles de agua subterránea se hallan en descenso y no logran alcanzar los niveles de agua con respecto al 2013, esto se explica por los grandes volúmenes de extracción de agua subterránea realizada por los pozos P-2 y P-4.

Tal como se muestra en el Cuadro 4.19, para agosto (periodo de estiaje) se da un descenso de la napa de 0.66 m, con respecto al 2013, mientras que para el periodo de avenidas (enero 2015), el nivel de agua se encuentra 1.1 m, por debajo del nivel obtenido en el mismo periodo del 2014. Se observa que el 75 por ciento del área de la zona en estudio ha sufrido un descenso de 0.45 m, en la época de estiaje, mientras que en avenidas, se tiene un descenso de 0.61 m, tal como se muestra en la Figura 2.8 (Anexo 2).

**Cuadro 4.19: Variación de la carga hidráulicas en época de avenidas y estiaje (Zona III)**

Indicador	h agosto 2013 - h agosto 2012	h enero 2015 - h enero 2014
	$\Delta h$ (m)	$\Delta h$ (m)
Minimum:	-0.66	-1.08
25%-tile:	-0.66	-0.68
Median:	-0.485	-0.62
75%-tile:	-0.45	-0.615
Maximum:	-0.31	-0.24
Midrange:	-0.485	-0.66
Range:	0.35	0.84
Mean:	-0.485	-0.647
Standard Deviation:	0.15	0.30
Variance:	0.02	0.09

FUENTE: Elaboración propia

#### **d. Zona VI**

En esta zona se encuentran los pozos 1, 2, 4, 9, 13 y 17, con información incompleta en virtud a la dificultad de ingresar a los pozos de monitoreo por la prohibición de sus propietarios. En forma referencial se continúa monitoreando los niveles de agua en el pozo 4, obedeciendo su comportamiento al ciclo hidrológico, manifestándose las recargas en 6 a 7 meses de ocurrida la escorrentía a través del lecho del río y el riego de campos agrícolas. El nivel del agua es fluctuante con recuperación de su nivel inicial y sin tendencia alguna a la disminución o ascenso, para el periodo agosto del 2012 a enero del 2015, tal como se observa en la Figura 2.9 del Anexo 2.

### **4.7. CALIDAD DEL AGUA**

#### **4.7.1 Análisis de la conductividad eléctrica**

Los valores de conductividad eléctrica medidos en la zona de estudio, varían entre 0.54 dS/m y 1.54 dS/m a 25°C, tal como se muestra en el Cuadro 4.20. Con la información

recopilada en campo se ha elaborado el Mapa 23 (Anexo 3) correspondiente a la isoconductividad eléctrica del agua subterránea.

**Cuadro 4.20: Conductividad eléctrica – San Rafael**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	ZONA	COORDENADAS		CE (dS/m)
				ESTE	NORTE	
1	1	MN-1	IV	812651	8943305	0.66
2	2	497	IV	810401	8941870	
3	4	125	IV	809257	8941548	0.78
4	9	MN-9	IV	808975	8941854	0.76
5	13	517	IV	808472	8941764	
6	17	MN-17	IV	808626	8941411	
7	18	29	III	808113	8941364	0.77
9	20	27	III	807739	8941448	0.76
8	19	28	III	807903	8941466	0.92
10	25	514	III	807678	8941698	0.87
11	27	131	II	807352	8941781	0.54
12	29	MN-27	II	807270	8941629	0.80
13	31	MN-31	I	806611	8942602	0.72
14	35	31	II	807004	8942266	0.80
15	37	3	II	807449	8942079	0.59
16	39	154	II	807540	8942098	0.56
17	40	133	I	806613	8942054	0.96
18	44	353	II	806574	8941728	0.91
19	45	355	II	806931	8941837	0.71
20	47	124	I	806211	8941950	1.09
21	51	508	I	805830	8942148	1.54
22	53	135	I	806016	8942432	0.96
23	54	177	-	804095	8943793	1.17
24	56	MN-56	-	804462	8943822	1.31
25	Pz-2	Pz-2	III	807062	8941370	1.19
26	Pz-4	Pz-4	III	807457	8941303	0.86

FUENTE: Elaboración propia

En los pozos IRHS 133, IRHS 124, IRHS 135 y IRHS 508 pertenecientes a la Zona I, la conductividad eléctrica varía entre 0.96 a 1.54 dS/m que representan aguas de baja a mediana mineralización.

En el sector de Puquio Grande, los pozos pertenecientes a la Zona II, varían entre 0.56 a 0.91 dS/m, que representa aguas de baja mineralización (agua dulce).

La conductividad eléctrica en los pozos IRHS 29, IRHS 27, IRHS 28 y IRHS 514 pertenecientes a la Zona III, varía entre 0.76 y 0.92 dS/m que representa aguas de baja mineralización, mientras que en los piezómetros Pz-2 y Pz-4, propiedad de una empresa privada, la conductividad eléctrica se ha estimado en 1.19 y 0.86 dS/m respectivamente, que representa aguas de mediana y baja mineralización.

Finalmente, en la Zona IV, la conductividad eléctrica varía entre 0.66 y 0.78 dS/m, que según la clasificación representan aguas de baja mineralización. En general las aguas tienen salinidad moderada, con la que es posible el riego de la gran mayoría de cultivos tolerantes a las concentraciones mencionadas.

#### 4.7.2 Análisis del pH

Los valores de pH medidos en la zona de estudio, varían entre 7.05 a 7.63, tal como se muestra en el Cuadro 4.21.

**Cuadro 4.21: pH – San Rafael**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	ZONA	COORDENADAS		pH
				ESTE	NORTE	
1	1	MN-1	IV	812651	8943305	7.27
2	2	497	IV	810401	8941870	
3	4	125	IV	809257	8941548	7.26
4	9	MN-9	IV	808975	8941854	7.25
5	13	517	IV	808472	8941764	
6	17	MN-17	IV	808626	8941411	
7	18	29	III	808113	8941364	7.31
9	20	27	III	807739	8941448	7.22
8	19	28	III	807903	8941466	7.15
10	25	514	III	807678	8941698	7.13
11	27	131	II	807352	8941781	7.20
12	29	MN-29	II	807270	8941629	7.21
13	31	MN-31	I	806611	8942602	7.05
14	35	31	II	807004	8942266	7.12
15	37	3	II	807449	8942079	7.20
16	39	154	II	807540	8942098	7.16
17	40	133	I	806613	8942054	7.11
18	44	353	II	806574	8941728	7.28
19	45	355	II	806931	8941837	7.22
20	47	124	I	806211	8941950	7.38
21	51	508	I	805830	8942148	7.08
22	53	135	I	806016	8942432	7.17
23	54	177	-	804095	8943793	7.63
24	56	MN-56	-	804462	8943822	7.20
25	Pz-2	Pz-2	III	807062	8941370	7.22
26	Pz-4	Pz-4	III	807457	8941303	7.15

FUENTE: Elaboración propia

Para visualizar la variación del pH del agua subterránea se ha elaborado y analizado el Mapa 24 (Anexo 3). Los valores de pH de la zona de estudio, representan aguas medianamente alcalinas. En el Cuadro 4.22, se observa que el pH del río Casma es de 8.21, lo que representaría aguas alcalinas.

### 4.7.3 Interpretación de los datos del análisis químico

Los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua proveniente de los pozos se muestran en el Cuadro 4.22 y Mapa 25 (Anexo 3). Los iones predominantes son el calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) entre los cationes, y el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) entre los aniones, tratándose de aguas cloruradas cálcicas, sulfatadas cálcicas (agua del río Casma) y bicarbonatadas cálcicas (Pozo IRHS 3), tal como se puede visualizar en los diagramas Schoeller y Piper.

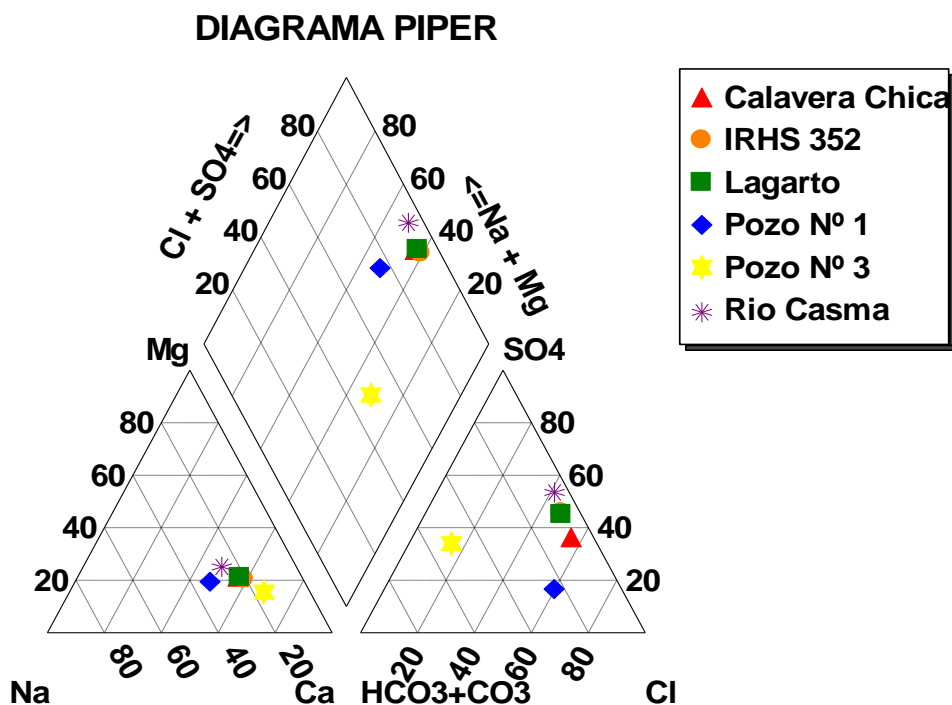
**Cuadro 4.22: Análisis químico– San Rafael**

Nombre de la fuente	C.E (dS/m)	pH	Cationes (meq/l)					Aniones (meq/l)						RAS	SP	CRS	Dureza (mg / l) $\text{CaCO}_3$	Boro (ppm)	Clasific. para riego
			$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Suma	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{CaCO}_3$	Suma						
Calavera (MN-56)	0.56	7.00	3.19	1.23	1.28	0.06	<b>5.76</b>	0.46	2.11	0.04	3.20	0.00	<b>5.81</b>	0.86	4.26	-3.96	221.14	0.00	C2S1
IRHS 352	0.62	7.35	3.83	1.35	1.37	0.05	<b>6.60</b>	0.42	2.87	0.09	2.96	0.00	<b>6.34</b>	0.85	4.40	-4.76	259.19	0.02	C2S1
Lagarto (IRHS 3)	0.55	7.11	3.18	1.19	1.23	0.05	<b>5.65</b>	0.39	2.52	0.04	2.66	0.00	<b>5.61</b>	0.83	3.92	-3.98	218.65	0.10	C2S1
Río Casma	0.46	8.21	2.26	1.18	1.23	0.06	<b>4.73</b>	0.25	2.56	0.00	1.96	0.00	<b>4.77</b>	0.94	3.24	-3.19	172.06	0.00	C2S1
Pozo 3	0.75	7.27	4.99	1.15	1.19	0.03	<b>7.35</b>	3.91	2.61	0.04	1.12	0.00	<b>7.68</b>	0.68	2.43	-2.22	307.08	0.08	C2S1
Pozo 1	0.45	7.44	1.94	0.81	1.37	0.05	<b>4.16</b>	0.99	0.70	0.01	2.47	0.00	<b>4.17</b>	1.17	2.82	-1.75	137.24	0.10	C2S1
Min	<b>0.46</b>	<b>7.00</b>	<b>1.94</b>	<b>0.81</b>	<b>1.19</b>	<b>0.03</b>	<b>4.16</b>	<b>0.25</b>	<b>0.70</b>	<b>0.00</b>	<b>1.12</b>	<b>0.00</b>	<b>4.17</b>	<b>0.68</b>	<b>2.43</b>	<b>-4.76</b>	<b>137.24</b>	<b>0.00</b>	
Max	<b>0.75</b>	<b>8.21</b>	<b>4.99</b>	<b>1.35</b>	<b>1.37</b>	<b>0.06</b>	<b>7.35</b>	<b>3.91</b>	<b>2.87</b>	<b>0.09</b>	<b>3.20</b>	<b>0.00</b>	<b>7.68</b>	<b>1.17</b>	<b>4.40</b>	<b>-1.75</b>	<b>307.08</b>	<b>0.10</b>	

FUENTE: Elaboración propia

#### - Diagrama triangular o Piper

Este diagrama permite determinar el tipo de agua y compararlos entre sí. La representación de los análisis químicos para las aguas subterráneas del acuífero de la zona de estudio usando los diagramas triangulares se muestra en la Figura 4.6 y el Cuadro 4.23.



**Figura 4.6: Diagrama triangular de Piper**

FUENTE: Elaborado con el programa Aquachem

**Cuadro 4.23: Clasificación de las aguas subterráneas – San Rafael**

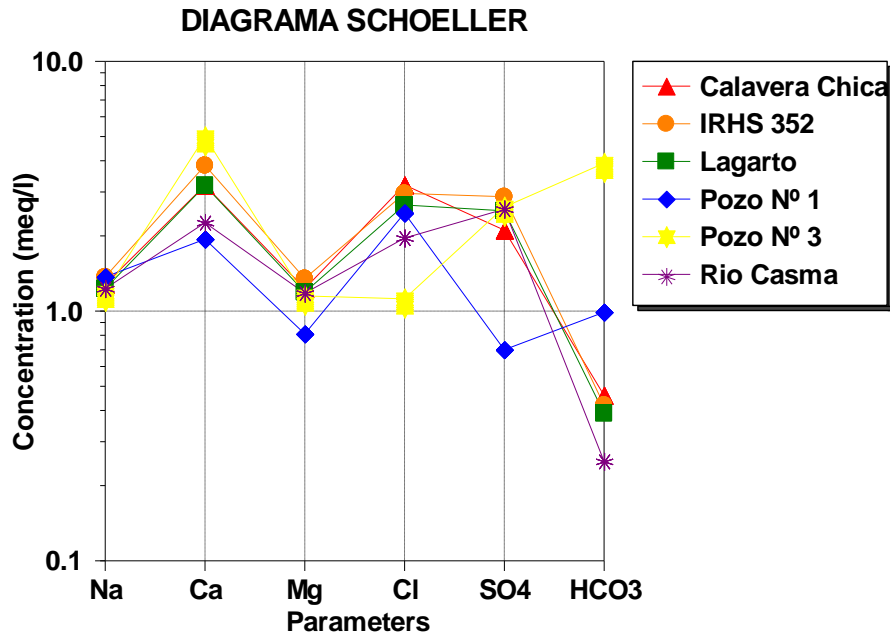
Nombre de fuente	Signo	Clasificación
Calavera Chica	▲	Clorurada calcica
IRHS 352	●	Clorurada calcica
Lagarto	■	Clorurada calcica
Río Casma	◆	Sulfatada calcica
Pozo 3	★	Bicarbonatada calcica
Pozo 1	✱	Bicarbonatada calcica

FUENTE: Elaboración propia

**- Diagrama logarítmico vertical o Schoeller**

Este tipo de diagrama se compone esencialmente de 6 escalas verticales graduadas cada una en meq/l. En la Figura 4.7 se muestra el diagrama, de las aguas subterráneas y del río de la zona de estudio.





**Figura 4.7: Diagrama de análisis de agua tipo H. Schoeller**

FUENTE: Elaborado con el programa Aquachem

#### 4.7.4 Clasificación del agua

Las aguas subterráneas de la zona de estudio están destinadas en mayor porcentaje para uso agrícola, seguido por el doméstico. Las muestras analizadas son de pozos de uso agrícola, razón por la cual en la presente tesis se dará mayor énfasis a las aguas subterráneas para tal uso.

##### - Clasificación de agua según la conductividad eléctrica

De acuerdo a los valores de conductividad eléctrica, el agua tiene una clasificación específica, que fue determinada por Wilcox (Cuadro 4.24).

La variación de la conductividad eléctrica en las distintas zonas del área de estudio se detalla en el cuadro 4.24. En los pozos IRHS 133, IRHS 124, IRHS 135 y IRHS 508 pertenecientes a la Zona I, la conductividad eléctrica varía entre 0.96 a 1.54 dS/m que representan aguas de calidad permisibles.

Los pozos pertenecientes a la Zona II varían entre 0.56 a 0.91 dS/m, lo que según representa aguas de calidad buena a permisible.

La conductividad eléctrica en los pozos IRHS 29, IRHS 27, IRHS 28 y IRHS 514 pertenecientes a la Zona III, varía entre 0.76 y 0.92 dS/m que representa aguas de buena calidad a permisible, mientras que en los piezómetros Pz-2 y Pz-4, de propiedad de una empresa privada, la conductividad eléctrica se estimó en 1.19 y 0.86 dS/m respectivamente, que representa aguas de calidad permisible para uso agrícola.

Finalmente, en la Zona IV, la conductividad eléctrica varía entre 0.66 y 0.78 dS/m, que según la clasificación representan aguas buenas para el uso agrícola.

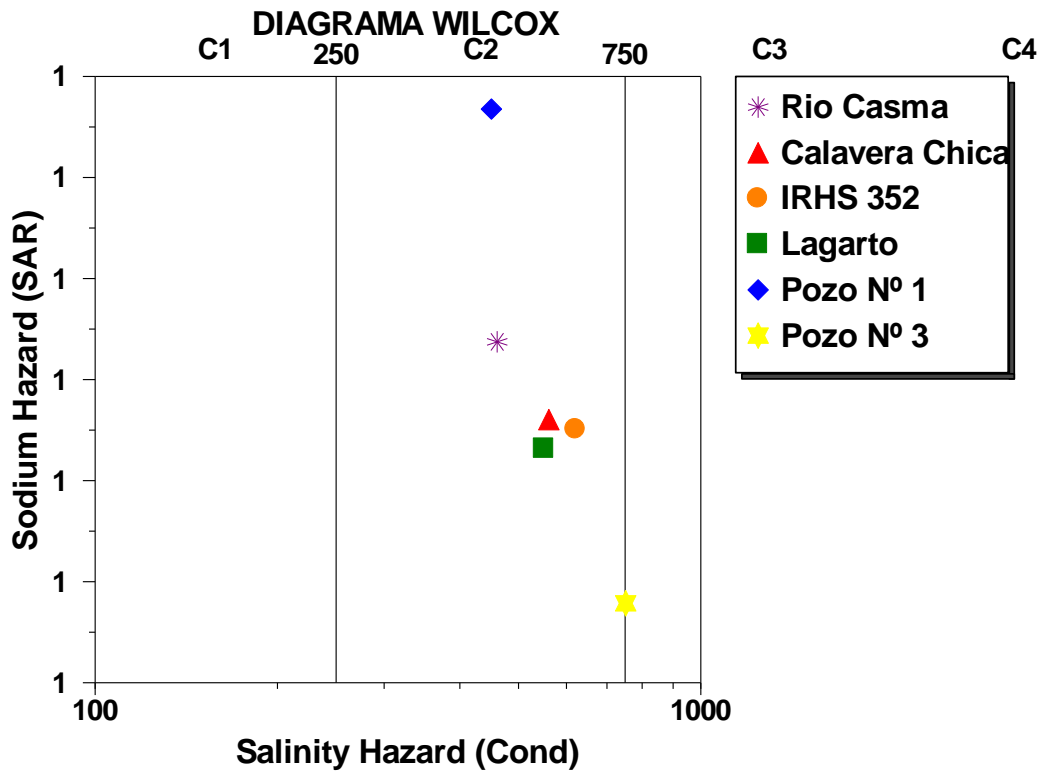
**Cuadro 4.24: Clasificación del agua según la conductividad hidráulica – San Rafael**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	ZONA	COORDENADAS		CE (dS/m)	CALIDAD DEL AGUA
				ESTE	NORTE		
1	1	MN-1	IV	812651	8943305	0.66	Buena
2	2	497	IV	810401	8941870		
3	4	125	IV	809257	8941548	0.78	Buena
4	9	MN-9	IV	808975	8941854	0.76	Buena
5	13	517	IV	808472	8941764		
6	17	MN-17	IV	808626	8941411		
7	18	29	III	808113	8941364	0.77	Buena
9	20	27	III	807739	8941448	0.76	Buena
8	19	28	III	807903	8941466	0.92	Permisible
10	25	514	III	807678	8941698	0.87	Permisible
11	27	131	II	807352	8941781	0.54	Buena
12	29	MN-29	II	807270	8941629	0.80	Buena
13	31	MN-31	I	806611	8942602	0.72	Buena
14	35	31	II	807004	8942266	0.80	Buena
15	37	3	II	807449	8942079	0.59	Buena
16	39	154	II	807540	8942098	0.56	Buena
17	40	133	I	806613	8942054	0.96	Permisible
18	44	353	II	806574	8941728	0.91	Permisible
19	45	355	II	806931	8941837	0.71	Buena
20	47	124	I	806211	8941950	1.09	Permisible
21	51	508	I	805830	8942148	1.54	Permisible
22	53	135	I	806016	8942432	0.96	Permisible
23	54	177	-	804095	8943793	1.17	Permisible
24	56	MN-56	-	804462	8943822	1.31	Permisible
25	Pz-2	Pz-2	III	807062	8941370	1.19	Permisible
26	Pz-4	Pz-4	III	807457	8941303	0.86	Permisible

FUENTE: Elaboración propia

#### - Clases de agua según el RAS y la conductividad eléctrica

De acuerdo a las muestras analizadas, en el área de estudio predominan las clases C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> tanto en los pozos de bombeo como en el río Casma tal como se muestra en la Figura 4.8, esta es agua de salinidad moderada y bajo contenido de sodio (Cuadro 4.24), que puede ser usada en casi todos los cultivos, con suelos de buena permeabilidad, es decir, estas aguas son aptas para el riego de cultivos.



**Figura 4.8: Diagrama de Wilcox**

FUENTE: Elaborado con el programa Aquachem

**- Niveles de concentración de iones sodio, bicarbonato, cloruro y boro.**

En cuanto a la estimación de la calidad del agua con fines de riego, los iones más importantes son el sodio, bicarbonato, cloruro; y, entre los elementos menores el boro.

**Ion sodio (Na<sup>+</sup>)**

La concentración de sodio en las muestras, son inferiores a 48 ppm, consecuentemente, no superan el valor permisible de 150 ppm (aguas dulces), como límite para el riego de los cultivos.

**Ion bicarbonato (CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>)**

El efecto del bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) se establece a través del “carbonato de sodio residual” (CSR). En la zona de estudio, los valores calculados son menores de 1.25 meq/l, por lo tanto, las aguas son utilizables sin ninguna restricción, bajo esos términos.

### **Ion cloruro (Cl<sup>-</sup>)**

Su efecto se establece a través del término “salinidad potencial del agua”. Los valores recomendados para suelos de alta permeabilidad van de 5 a 20 meq/l. El agua analizada no superan en ningún caso los rangos permisibles.

### **Ion boro (B)**

La concentración de boro encontrada en la zona de estudio varía de 0.00 a 0.1 ppm, que se halla muy por debajo del rango permisible.

### **- Dureza**

En general, las aguas subterráneas para el área en estudio, son aguas con dureza de 137.24 a 307.08 ppm de CaCO<sub>3</sub>, clasificándose como aguas duras a muy duras. Estas aguas pueden ser utilizadas en riego siempre y cuando se tomen en cuenta medidas preventivas.

## **4.8. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA**

### **4.8.1 Interpretación de la transmisividad y conductividad hidráulica**

**Pozo de bombeo P-2:** ubicado dentro de los terrenos de la empresa privada, en el sector San Rafael. De acuerdo con el perfil litológico (Figura 2.10 del Anexo 2) el acuífero alimentador está constituido por clastos de alta permeabilidad, tales como cascajos con arenas gruesas, que pertenecen a una capa de material aluvial.

El caudal de bombeo fue de 39 l/s, la profundidad del nivel freático 11.72 m y el nivel dinámico 13.41 m, al término de la prueba de bombeo (Cuadro 2.7 del Anexo 2). En la Figura 2.12 (Anexo 2) se muestra el análisis de la curva de recuperación de descensos residuales, en donde los valores de conductividad hidráulica (K) y de transmisividad (T), estimados por el método de Theis – Jacob en Recuperación son de 16.90 m/día y 646 m<sup>2</sup>/día respectivamente, considerándose como buenas características hidráulicas del acuífero en este sector.

**Pozo de bombeo P-4:** ubicado dentro de los terrenos de la empresa privada, en el sector san Rafael. De acuerdo con el perfil litológico (Figura 2.11 del Anexo 2), el acuífero alimentador lo constituye material grueso a fino, tales como grava y arena fina, que pertenecen a una capa de material aluvial.

El caudal de bombeo fue 38 l/s, la profundidad del nivel freático 18.18 y el nivel dinámico 24.04 al término de la prueba de bombeo (Cuadro 2.8 del Anexo 2). En la Figura 2.13

(Anexo 2) se muestra el análisis de la curva de recuperación de descensos residuales en un periodo de 6000 s, en donde los valores de conductividad hidráulica (K) y de transmisividad (T), estimados por el método de Theis Jacob en Recuperación es de 19.6 m/día y 623.0 m<sup>2</sup>/día respectivamente considerándose estos valores como buenas características hidráulicas del acuífero en este sector.

**Pozo de observación 27 (Jass los arenales):** ubicado en el sector de Choloque, a una distancia de 157 m del pozo de bombeo P-4 cuyo caudal de bombeo es de 38 l/s, el descenso en el pozo de observación se manifiesta a los 30 minutos de iniciado el bombeo, tiempo que se considera tardío debido a que este se encuentra distante del pozo de bombeo, descendiendo hasta 0.1 m al final de la prueba (Cuadro 2.9 del Anexo 2). En la Figura 2.14 (Anexo 2) se muestra el análisis de la curva de descenso en donde el valor de K y T estimados por el método de Neumann es de 23.40 m/día y 1380 m<sup>2</sup>/día respectivamente, considerándose estas buenas características hidráulicas del acuífero en este sector.

**Pozo de observación Pz-4 (Piezómetro 4):** ubicado en los terrenos de la empresa Privada, en el sector San Rafael, a una distancia de 235 m del pozo de bombeo P-4 cuyo caudal de bombeo es de 40 l/s, el descenso en el pozo de observación se manifiesta a los 30 minutos, tiempo que se considera tardío debido a que este se encuentra distante del pozo de bombeo, descendiendo hasta 0.12 m al final de la prueba (Cuadro 2.10 del Anexo 2). En la Figura 2.15 (Anexo 2) se muestra el análisis de la curva de descenso en donde el valor de K y T estimado por el método de Neumann es de 20.80 m/día y 661 m<sup>2</sup>/día respectivamente, considerándose como buenas características hidráulicas del acuífero en este sector.

Del análisis de los ensayos de bombeo y de la información recopilada sobre la conductividad hidráulica de la zona, se ha elaborado el Mapa 26, de isoconductividad hidráulica, mostrado en el Anexo 3, con el objetivo de representar espacialmente las características hidrodinámicas del acuífero en mención. En el Cuadro 4.25 se observan las propiedades hidrodinámicas (Transmisividad y Conductividad Hidráulica) de la zona de estudio.

**Cuadro 4.25: Propiedades hidrodinámicas– San Rafael**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. (msnm)	K (m/d)	T (m <sup>2</sup> /día)
			ESTE	NORTE			
1	2	497	810401	8941870	189.9	10	480
2	4	125	809257	8941548	176.6	12	660
3	9	MN-9	808975	8941854	171.9	14	644
4	13	517	808472	8941764	165.6	20	1240
5	17	MN-17	808626	8941411	172.1	18	864
6	18	29	808113	8941364	167.5	14	504
7	19	28	807903	8941466	162.2	12	528
8	20	27	807739	8941448	165.8	23	1380
9	25	514	807678	8941698	158.5	18	1062
10	27	131	807352	8941781	156.8	18	1134
11	29	MN-29	807270	8941629	161.0	22	1342
12	31	MN-31	806611	8942602	144.1	14	840
13	35	31	807004	8942266	149.3	18	864
14	37	3	807449	8942079	155.1	16	848
15	39	154	807540	8942098	155.3	14	616
16	40	133	806613	8942054	147.8	12	552
17	44	353	806574	8941728	153.0	8	376
18	45	355	806931	8941837	152.7	10	590
19	47	124	806211	8941950	144.5	14	896
20	51	508	805830	8942148	141.4	16	1024
21	53	135	806016	8942432	137.2	22	1034
22	Pz-4	Pz-4	807457	8941303	166.0	21	661
24	P-2	P-2	807031	8941549	166.0	16.9	646
25	P-4	P-4	807691	8941298	168.9	19.6	623

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.8.2 Rendimiento específico (Sy)

El rendimiento específico es una propiedad importante para el cálculo de los volúmenes almacenados de agua subterránea. De las pruebas de bombeo en los pozos P-2 y P-4 y de la información recopilada se ha estimado los valores de rendimiento específico, los cuales varían entre 0.04 y 0.28, con una media geométrica de 0.09, los valores explican la heterogeneidad granulométrica del material acuífero. (Cuadros 4.26 y 4.27)

**Cuadro 4.26: Rendimiento específico (Sy) – San Rafael**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS		C. Terr. (msnm)	Sy
			ESTE	NORTE		
1	2	497	810401	8941870	189.9	0.10
2	4	125	809257	8941548	176.6	0.10
3	9	MN-9	808975	8941854	171.9	0.06
4	13	517	808472	8941764	165.6	0.04
5	17	MN-17	808626	8941411	172.1	0.06
6	18	29	808113	8941364	167.5	0.08
7	19	28	807903	8941466	162.2	0.09
8	20	27	807739	8941448	165.8	0.28
9	25	514	807678	8941698	158.5	0.05
10	27	131	807352	8941781	156.8	0.04
11	29	MN-29	807270	8941629	161.0	0.06
12	31	MN-31	806611	8942602	144.1	0.07
13	35	31	807004	8942266	149.3	0.04
14	37	3	807449	8942079	155.1	0.09
15	39	154	807540	8942098	155.3	0.10
16	40	133	806613	8942054	147.8	0.10
17	44	353	806574	8941728	153.0	0.10
18	45	355	806931	8941837	152.7	0.08
19	47	124	806211	8941950	144.5	0.08
20	51	508	805830	8942148	141.4	0.08
21	53	135	806016	8942432	137.2	0.06
22	Pz-4	Pz-4	807457	8941303	166.0	0.10
24	P-2	P-2	807031	8941549	166.0	0.17
25	P-4	P-4	807691	8941298	168.9	0.20

FUENTE: Elaboración propia

**Cuadro 4.27: Estadísticos del rendimiento específico (Sy) – San Rafael**

Indicador	$\Delta h(m)$
Minimum:	0.04
25% -tile:	0.06
Median:	0.08
75% -tile:	0.1
Maximum:	0.28
Midrange:	0.08
Range:	0.233
Mean:	0.09
Standard Deviation:	0.05
Variance:	0.002
Coefnof Variation:	0.57

Para un análisis espacial de las propiedades hidrodinámicas del acuífero de la zona de estudio, a continuación se describe las condiciones hidráulicas del acuífero por zonas; para lo cual se ha tomado y analizado los resultados de las pruebas de bombeo y la información recopilada sobre la zona de estudio.

### a. Zona I

En esta zona se han efectuado cinco pruebas de bombeo, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 4.28. Con la interpretación de las pruebas de bombeo se ha determinado los siguientes valores de los parámetros hidrodinámicos: la transmisividad, oscila entre 552.0 y 1034.0 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica varía entre 12.0 y 22.0 m/d, lo que indica que el acuífero en esta zona presenta condiciones hidráulicas buenas. El rendimiento específico obtenido es del orden de 0.06 a 0.1, resultado que confirma que el acuífero es libre y superficial.

**Cuadro 4.28: Propiedades hidrodinámicas – Zona I**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. (msnm)	K (m/d)	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy
			ESTE	NORTE				
12	31	MN-31	806611	8942602	144.1	14	840	0.07
16	40	133	806613	8942054	147.8	12	552	0.1
19	47	124	806211	8941950	144.5	14	896	0.08
20	51	508	805830	8942148	141.4	16	1024	0.08
21	53	135	806016	8942432	137.2	22	1034	0.06

FUENTE: Elaboración propia

### b. Zona II

En esta zona se han efectuado siete pruebas de bombeo, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 4.29. Con la interpretación de las pruebas de bombeo se ha determinado los siguientes valores de los parámetros hidrodinámicos: la transmisividad, oscila entre 376.0 y 1342.0 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica, entre 8.0 y 22.0 m/d, lo que indica que el acuífero en esta zona presenta condiciones hidráulicas de aceptables a buenas. El rendimiento específico obtenido es del orden de 0.04 a 0.1, resultado que confirma que el acuífero es libre y superficial.

**Cuadro 4.29: Propiedades hidrodinámicas – Zona II**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. (msnm)	K (m/d)	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy
			ESTE	NORTE				
10	27	131	807352	8941781	156.8	18	1134	0.04
11	29	MN-29	807270	8941629	161.0	22	1342	0.06
13	35	31	807004	8942266	149.3	18	864	0.04
14	37	3	807449	8942079	155.1	16	848	0.09
15	39	154	807540	8942098	155.3	14	616	0.1
17	44	353	806574	8941728	153.0	8	376	0.1
18	45	355	806931	8941837	152.7	10	590	0.08

FUENTE: Elaboración propia



### c. Zona III

En esta zona se han efectuado siete pruebas de bombeo, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 4.30. Con la interpretación de las pruebas de bombeo se ha determinado los siguientes valores de los parámetros hidrodinámicos: la transmisividad, oscila entre 504.0 y 2240.0 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica, entre 12.0 y 23.0 m/d, lo que indica que el acuífero en esta zona presenta condiciones hidráulicas buenas. El rendimiento específico obtenido es del orden de 0.05 a 0.28, resultado que confirma que el acuífero es libre y superficial.

**Cuadro 4.30: Propiedades hidrodinámicas – Zona III**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. (msnm)	K (m/d)	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy
			ESTE	NORTE				
6	18	29	808113	8941364	167.5	14	504	0.08
7	19	28	807903	8941466	162.2	12	528	0.09
8	20	27	807739	8941448	165.8	23	1380	0.28
9	25	514	807678	8941698	158.5	18	1062	0.05
22	Pz-4	Pz-4	807457	8941303	166.0	21	661	0.10
24	P-2	P-2	807031	8941549	166.0	16.9	646	0.17
25	P-4	P-4	807691	8941298	168.9	19.6	623	0.20

FUENTE: Elaboración propia

### d. Zona IV

En esta zona se han efectuado cinco pruebas de bombeo, cuyo resultado se muestra en el Cuadro 4.31. Con la interpretación de las pruebas de bombeo ha determinado los siguientes valores de los parámetros hidrodinámicos: la transmisividad, oscila entre 480.0 y 1240.0 m<sup>2</sup>/d, y la conductividad hidráulica, entre 10.0 y 20.0 m/d, lo que indica que el acuífero en esta zona presenta condiciones hidráulicas buenas. El rendimiento específico obtenido es del orden de 0.04 a 0.1, resultado que confirma que el acuífero es libre y superficial.

**Cuadro 4.31: Propiedades hidrodinámicas – Zona IV**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. msnm	K(m/d)	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy
			ESTE	NORTE				
1	2	497	810401	8941870	189.9	10	480	0.1
2	4	125	809257	8941548	176.6	12	660	0.1
3	9	MN-9	808975	8941854	171.9	14	644	0.06
4	13	517	808472	8941764	165.6	20	1240	0.04
5	17	MN-17	808626	8941411	172.1	18	864	0.06

FUENTE: Elaboración propia

### 4.8.3 Radios de influencia

Los resultados obtenidos de los radios de influencia, por zonas, se describen a continuación:

#### a. Zona I

Los radios de influencia se calcularon para bombeo de 2 a 24 horas, obteniéndose valores que fluctúan entre 32.2– 111.4 m, 45.8 – 158.7 m, 49 – 169.7 m, 56.8 – 196.9 m y 47.4 – 164.3 m, para los pozos IRHS 133, IRHS 124, IRHS 508, IRHS 135 y al pozo de monitoreo MN-31, respectivamente (Cuadro 4.32).

Del análisis de los resultados de los radios de influencias, se establece que el pozo IRHS 508 del sector de Puquio Grande, con un caudal de 30 l/s y régimen de bombeo de 8 horas/día, generará descensos de 0.07 m en el pozo más cercano (IRHS 31); sin embargo, descensos inferiores a 0.1 metros son permisibles en pozos por lo que no se generarán problemas de interferencia. En general, esta zona no presenta problemas de interferencia entre pozos.

**Cuadro 4.32: Radio de influencia – Zona I**

N° POZO MONITOREO	IRHS	T (m <sup>3</sup> /día)	Sy	Radio de influencia absoluto (m)											
				2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
31	MN-31	840	0.07	47.4	67.1	82.2	94.9	106.1	116.2	125.5	134.2	142.3	150.0	157.3	164.3
40	133	552	0.1	32.2	45.5	55.7	64.3	71.9	78.8	85.1	91.0	96.5	101.7	106.7	111.4
47	124	896	0.08	45.8	64.8	79.4	91.7	102.5	112.2	121.2	129.6	137.5	144.9	152.0	158.7
51	508	1024	0.08	49.0	69.3	84.9	98.0	109.5	120.0	129.6	138.6	147.0	154.9	162.5	169.7
53	135	1034	0.06	56.8	80.4	98.5	113.7	127.1	139.2	150.4	160.8	170.5	179.8	188.5	196.9

FUENTE: Elaboración propia

#### b. Zona II

Los radios de influencia se calcularon para bombeo de 2 a 24 horas, obteniéndose valores que fluctúan entre 62.7– 217.4 m, 64.8 – 224.5 m, 46.2 – 160.0 m, 44.0 – 152.5 m, 26.6 – 92.0 m, 37.2 – 128.8 m y, 41.5 – 143.9 m, para los pozos IRHS 131, IRHS 31, IRHS 3, IRHS 154, IRHS 353, IRHS 355 y al pozo de monitoreo MN-29, respectivamente (Cuadro 4.33).

Del análisis de los resultados de los radios de influencia, se establece que en esta zona no existen problemas de interferencia, ya que los pozos tienen un régimen de bombeo de 3 a 8 horas/día y se encuentran distanciados.

**Cuadro 4.33: Radio de influencia – Zona II**

N° POZO MONITOREO	IRHS	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy	Radio de influencia absoluto (m)													
				2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
27	131	840	0.04	62.7	76.9	88.7	99.2	108.7	125.5	140.3	153.7	166.0	177.5	188.2	198.4	208.1	217.4
29	MN-29	552	0.06	41.5	50.9	58.7	65.7	71.9	83.1	92.9	101.7	109.9	117.5	124.6	131.3	137.7	143.9
35	31	896	0.04	64.8	79.4	91.7	102.5	112.2	129.6	144.9	158.7	171.5	183.3	194.4	204.9	214.9	224.5
37	3	1024	0.09	46.2	56.6	65.3	73.0	80.0	92.4	103.3	113.1	122.2	130.6	138.6	146.1	153.2	160.0
39	154	1034	0.1	44.0	53.9	62.3	69.6	76.3	88.1	98.5	107.9	116.5	124.5	132.1	139.2	146.0	152.5
44	353	376	0.1	26.6	32.5	37.5	42.0	46.0	53.1	59.4	65.0	70.2	75.1	79.7	84.0	88.1	92.0
45	355	590	0.08	37.2	45.5	52.6	58.8	64.4	74.4	83.2	91.1	98.4	105.2	111.6	117.6	123.3	128.8

FUENTE: Elaboración propia

### c. Zona III

Los radios de influencia se calcularon para bombeo de 2 a 24 horas, obteniéndose valores que fluctúan entre 34.4– 119.1 m, 33.2 – 114.9 m, 30.4 – 105.3 m, 63.1 – 218.6 m, 26.8 – 92.7 m y, 24.4 – 84.6 m, para los pozos IRHS 28, IRHS 29, IRHS 27, IRHS 514, y a los pozos P-2 y P-4 de propiedad de la empresa Agrícola Chapí, respectivamente (Cuadro 4.34).

Del análisis de los resultados de los radios de influencia, se establece que el pozo IRHS 27 del sector Choloque, con un caudal de 15 l/s y un régimen de bombeo de 10 horas/día generará descensos de 0.08 m en el pozo más cercano (IRHS 31); sin embargo, descensos inferiores a 0.1 m son permisibles, por lo que no se generarán problemas de interferencia. En general esta zona no presenta problemas de interferencia entre pozos.

**Cuadro 4.34: Radio de influencia – Zona III**

N° POZO MONITOREO	IRHS	T (m <sup>2</sup> /día)	Sy	Radio de influencia absoluto (m)											
				2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
18	29	504	0.08	34.4	48.6	59.5	68.7	76.9	84.2	90.9	97.2	103.1	108.7	114.0	119.1
19	28	528	0.09	33.2	46.9	57.4	66.3	74.2	81.2	87.7	93.8	99.5	104.9	110.0	114.9
20	27	1380	0.28	30.4	43.0	52.7	60.8	68.0	74.5	80.4	86.0	91.2	96.1	100.8	105.3
25	514	1062	0.05	63.1	89.2	109.3	126.2	141.1	154.6	167.0	178.5	189.3	199.6	209.3	218.6
P-2	P-2	646	0.17	26.8	37.9	46.4	53.5	59.9	65.6	70.8	75.7	80.3	84.7	88.8	92.7
P-4	P-4	623	0.20	24.4	34.5	42.3	48.8	54.6	59.8	64.6	69.0	73.2	77.2	81.0	84.6

FUENTE: Elaboración propia

#### d. Zona IV

Los radios de influencia se calcularon para bombeos de 2 a 24 horas, obteniéndose valores que fluctúan entre 30.0– 103.9 m, 35.2 – 121.9 m, 76.2 – 264.1 m, 44.9 – 155.4 m y 44.9 – 155.4 m, para los pozos IRHS 497, IRHS 125, IRHS 517, y a los pozos de monitoreo MN-9 y MN-17, respectivamente (Cuadro 4.35).

Del análisis de los resultados de los radios de influencias, se establece que el pozo IRHS 517 del sector de Choloque, con un caudal de 15 l/s y régimen de bombeo de 8 horas/día, generará descensos de 0.02 m en el pozo más cercano (IRHS 518), sin embargo descensos inferiores a 0.1 m son permisibles, por lo que no se generarán problemas de interferencia. En general esta zona no presenta problemas de interferencia entre pozos.

**Cuadro 4.35: Radio de influencia – Zona IV**

N° POZO MONITOREO	IRHS	T (m2/día)	Sy	Radio de influencia absoluto (m)											
				2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
2	497	480	0.1	30.0	42.4	52.0	60.0	67.1	73.5	79.4	84.9	90.0	94.9	99.5	103.9
4	125	660	0.1	35.2	49.7	60.9	70.4	78.7	86.2	93.1	99.5	105.5	111.2	116.7	121.9
9	MN-9	644	0.06	44.9	63.4	77.7	89.7	100.3	109.9	118.7	126.9	134.6	141.9	148.8	155.4
13	517	1240	0.04	76.2	107.8	132.1	152.5	170.5	186.7	201.7	215.6	228.7	241.1	252.9	264.1
17	MN-17	864	0.06	52.0	73.5	90.0	103.9	116.2	127.3	137.5	147.0	155.9	164.3	172.3	180.0

FUENTE: Elaboración propia

## 4.9. BALANCE HÍDRICO

### 4.9.1 Recarga del acuífero

Para la estimación del volumen de recarga en el acuífero, se ha tomado en cuenta la recarga a través del lecho del río y de las áreas irrigadas, tal como se muestra en el Cuadro 4.36.

**Cuadro 4.36: Estimación de la recarga en el acuífero Casma – Sector San Rafael**

Componente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Caudal medio mensual (m3/s)	8.64	16.55	20.53	14.03	5.29	2.41	1.45	0.74	0.35	1.14	1.72	3.98
<b>Recarga</b>												
A través del lecho del río (l/s)	129.78	239.13	296.50	203.54	77.04	35.11	21.87	11.35	5.31	18.53	26.02	59.11
Áreas irrigadas (390 ha) (l/s)	292.50	292.50	292.50	292.50	292.50	292.50	84.63	84.63	87.45	84.63	87.45	84.63
Flujo subterráneo (l/s)	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00
<b>Total recarga (l/s)</b>	<b>511.28</b>	<b>620.63</b>	<b>678.00</b>	<b>585.04</b>	<b>458.54</b>	<b>416.61</b>	<b>195.50</b>	<b>184.97</b>	<b>181.76</b>	<b>192.16</b>	<b>202.47</b>	<b>232.74</b>
<b>Total recarga MMC</b>	<b>1.37</b>	<b>1.50</b>	<b>1.82</b>	<b>1.52</b>	<b>1.23</b>	<b>1.08</b>	<b>0.52</b>	<b>0.50</b>	<b>0.47</b>	<b>0.51</b>	<b>0.52</b>	<b>0.62</b>

FUENTE: Elaboración propia

Una de las fuentes de recarga lo constituye el lecho del río Casma, al cual se le atribuye una tasa de infiltración de 1.5 por ciento, por lo que la recarga directa por infiltración en el lecho del río Casma asciende a 2.92 MMC.

La infiltración proveniente de las parcelas de cultivo quienes también recargan el acuífero. De acuerdo al inventario de áreas de cultivo, la superficie cultivada alcanzó 387.89 ha.

La dotación de agua después de satisfacer la ineficiencia de la red de canales, y considerando aguas superficiales y subterráneas, asciende a 12.62 MMC; considerando una eficiencia de aplicación en riego por surco de 53 por ciento; se tiene que la recarga indirecta correspondería al 47 por ciento de la dotación, lo cual significa un volumen de 5.93 MMC. El flujo subterráneo de entrada ha sido estimado según el método de redes siendo de 89 l/s (Cuadro 4.37).

**Cuadro 4.37: Recarga en el acuífero Casma –Sector San Rafael**

<b>RECARGA</b>	<b>MMC</b>
Recarga de Río	2.92
Recarga de Areas agricolas	5.93
Recarga flujo subterraneo	2.81
<b>Total</b>	<b>8.86</b>

FUENTE: Elaboración propia

#### **4.9.2 Descarga del acuífero**

Para la estimación del volumen de descarga en el acuífero, se han tomado en cuenta la explotación de agua subterránea a través de los pozos de la empresa privada y de los agricultores de la zona, además de la evapotranspiración y el flujo subterráneo de salida, tal como se muestra en el Cuadro 4.38.

**Cuadro 4.38: Estimación de la descarga en el acuífero**

Componente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Evapotranspiracion (mm/día)	4.46	4.72	4.61	4.01	3.21	2.69	2.52	2.71	3.13	3.57	3.85	4.32
<b>Descarga</b>												
Evapotranspiracion (l/s)	94.47	99.97	97.64	84.93	67.99	56.98	53.38	57.40	66.30	75.61	81.55	91.50
Flujo subterráneo salida (l/s)	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00
Bombeo pozos de agricultores (l/s)	21.53	23.84	21.53	22.25	21.53	22.25	32.82	46.83	54.89	53.12	44.06	22.98
Bombeo pozos de empresa (l/s)	49.78	55.11	49.78	51.44	49.78	51.44	49.78	51.44	51.44	49.78	51.44	51.44
Total descarga (l/s)	254.78	267.93	257.96	247.62	228.30	219.67	224.98	244.67	261.62	267.51	266.04	254.92
<b>Total descarga MMC</b>	0.68	0.65	0.69	0.64	0.61	0.57	0.60	0.66	0.68	0.72	0.69	0.68

FUENTE: Elaboración propia

Las pérdidas por evapotranspiración se calcularon en base a 183 ha cuya profundidad del nivel freático es menor a 2 m, siendo el volumen calculado de 2.43 MMC tal como se muestra en el Cuadro 4.39.

En base al régimen de bombeo es posible calcular el volumen de extracción de los pozos de bombeo de la zona. Siendo el volumen de extracción 2.62 MMC, de los cuales 1.60 MMC son explotados por la empresa Privada. El flujo subterráneo de salida ha sido estimado según el método de redes siendo de 89 l/s.

**Cuadro 4.39: Descarga en el acuífero**

<b>DESCARGA</b>	<b>MMC</b>
Pozos	2.63
Evapotranspiracion	2.43
Descarga flujo subterráneo	2.81
<b>Total</b>	<b>7.87</b>

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.9.3 Balance

En el Cuadro 4.40, se presenta el balance hídrico anual de la napa freática, en el cual se observa que la alimentación total del acuífero asciende a 8.86 MMC anuales, mientras que la descarga total es menor y asciende a 7.87 MMC, produciéndose en consecuencia un variación positiva de las reservas de 0.99 MMC; Sin embargo se observa que entre julio y diciembre la descarga es mayor a la recarga por lo que en estos meses se produciría un déficit en las reservas de agua.

**Cuadro 4.40: Balance hídrico en el acuífero**

Componentes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total (MMC)
<b>Recarga</b>													8.86
A través del lecho del río (l/s)	129.78	239.13	296.50	203.54	77.04	35.11	21.87	11.35	5.31	18.53	26.02	59.11	
Áreas irrigadas (l/s)	292.50	292.50	292.50	292.50	292.50	292.50	84.63	84.63	87.45	84.63	87.45	84.63	
Flujo subterráneo	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	
<b>Total recarga</b>	511.28	620.63	678.00	585.04	458.54	416.61	195.50	184.97	181.76	192.16	202.47	232.74	
<b>Descarga</b>													7.87
Evapotranspiración (l/s)	94.47	99.97	97.64	84.93	67.99	56.98	53.38	57.40	66.30	75.61	81.55	91.50	
Flujo subterráneo (l/s)	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	89.00	
Bombeo pozos de terceros (l/s)	21.53	23.84	21.53	22.25	21.53	22.25	32.82	46.83	54.89	53.12	44.06	22.98	
Bombeo pozos de A.Chapi (l/s)	49.78	55.11	49.78	51.44	49.78	51.44	49.78	51.44	51.44	49.78	51.44	51.44	
<b>Total Descarga (l/s)</b>	254.78	267.93	257.96	247.62	228.30	219.67	224.98	244.67	261.62	267.51	266.04	254.92	
<b>Δ Reservas</b>													0.99

FUENTE: Elaboración propia

#### **4.10. CÁLCULO DE LA RESERVA TOTAL, APROVECHABLE Y RENOVABLE**

##### **4.10.1 Reserva total de agua subterránea**

Con el objetivo de estimar el volumen de agua subterránea almacenado en el acuífero de la zona de estudio, así como conocer la disponibilidad hídrica subterránea existente y sus posibilidades de explotación, se ha calculado la reserva total superficial del acuífero teniendo en consideración la información recopilada respecto a la profundidad de los pozos ubicados en toda el área de estudio, así como la carga hidráulica de enero de 2015 y los valores de rendimiento específico.

La diferencia de la carga hidráulica de enero 2015 y la isobata a la base de acuífero aprovechable, da como resultado el espesor del acuífero aprovechable, que multiplicado por el rendimiento específico estimado y considerando un área de acuífero en 560 ha, dio como resultado que el volumen total del acuífero en estudio, para enero del 2015 es de 33.04 MMC.

##### **4.10.2 Reserva aprovechable de agua subterránea**

El espesor saturado se estima en 59 m, en promedio, por consiguiente, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, el abatimiento máximo no debe superar 1/3 del espesor saturado del acuífero (19.6 m), consecuentemente las reservas explotables han sido estimados en 11.01 MMC.

### **4.10.3 Reserva renovable de agua Subterránea**

En la presente investigación, con el objetivo de estimar el volumen renovable de agua subterránea o estimar con cuanto de agua se ha recargado al acuífero, tomo como información base la tasa de infiltración hacia el acuífero a través del lecho de río igual a 0.015, el coeficiente de recarga del acuífero desde áreas irrigadas es 0.75, el módulo de riego 1 l/s por hectárea acorde con la información de cédula de cultivo del 2007 (ALA Casma), así como el área irrigada igual a 387.89 ha, y finalmente el área con profundidades de nivel freático menores a dos metros igual a 183 ha.

La estimación del caudal explotable se sustenta en las variables actuantes sobre el sistema acuífero, constituidas por la recarga a través del lecho de río, para ello ha sido necesario la estimación de los caudales medios mensuales del río Casma; la recarga desde áreas irrigadas; y, el flujo subterráneo.

De otro lado, la descarga o pérdida de agua subterránea, cuyas componentes son la pérdida de agua subterránea desde áreas con profundidad de nivel freático inferior a 2 m, el flujo subterráneo, el bombeo de agua subterránea mediante pozos de terceros y pozos de la empresa privada, cuyos valores son mostrados en el Cuadro 4.40. El volumen renovable ha sido estimado en 4.66 MMC lo que equivale a 131.80 l/s.



## V. CONCLUSIONES

En base a los objetivos trazados en la presente tesis, se puede concluir que:

1. La infraestructura de captación subterránea del acuífero Casma - Sector san Rafael es de 44 pozos, de los cuales 40 se encuentran en operación, 11 son utilizables y 4 no utilizables. De los 40 pozos utilizados, 18 pozos (45 por ciento) son para uso doméstico, y 22 pozos (55 por ciento) para uso agrícola. En su mayoría los pozos son a tajo abierto.
2. El volumen total de agua explotado del acuífero fue de 2.62 MMC/año), de los cuales 1.6 MMC/año corresponde a la explotación mediante los pozos tubulares de la empresa privada y 1.02 MMC/año a la explotación mediante pozos a tajo abierto de propiedad de los agricultores de la zona.
3. La dirección de flujo subterráneo en el acuífero es principalmente de este a noroeste, con una gradiente de 1.1 por ciento; sin embargo, se observa interferencias en el sentido del flujo sobre un área fluctuante de 37 ha a 55 ha, en dirección a los pozos P-2 y P-4, de la empresa Privada.
4. Las fluctuaciones de los niveles de agua en el acuífero de Casma – sector San Rafael han sido analizadas en base a la diferencia entre cargas hidráulicas de enero de 2014 – Enero 2015, en donde la napa se disminuido en 1.35 y 2.54 m, en los sectores I, II y III, mientras que en el sector IV el nivel de agua es fluctuante con recuperación de su nivel inicial sin tendencia alguna a la disminución o ascenso. El 75 por ciento del área dl acuífero ha tenido un descenso de entre 0.05 m y 0.38 m en el 2014.

5. La profundidad de la superficie del agua subterránea en el 2014 varía entre 0.5 m y 20 m, 416 ha de acuífero tiene profundidades inferiores a 3 m (77 por ciento) y 124 ha con profundidades de nivel de agua superiores a 3 m (23 por ciento), siendo esta última área cercana a los piezómetros P-2 y P-4. Sobre una superficie fluctuante de 37 a 55.45 ha, existe interferencia debido a los pozos P-2 y P-4, superficie en las cuales el abatimiento promedio es 1.0 m, sin la recuperación total de su nivel del 2008 en dicho sector, esto se explica debido a los grandes volúmenes de explotación de dichos pozos.
  
6. De las pruebas de bombeo y las secciones hidrogeológicas esquemáticas analizadas e interpretadas, indican que el acuífero es libre y presenta de medianas a excelentes características hidráulicas para la explotación de agua subterránea, como refleja la conductividad hidráulica (K) que está comprendida 10 a 70 m/d, la transmisividad (T) que varía de 376 a 1380.0 m<sup>2</sup>/d y el rendimiento específico (Sy) que fluctúa entre 0.04 a 0.28. Estas propiedades dependen de la constitución litológica subterránea y se debe básicamente a que el acuífero concentra material permeable a semipermeable
  
7. La conductividad eléctrica del agua subterránea del acuífero, se encuentra comprendida entre 0.54 a 1.54 dS/m a 25°C, acorde con esta variable se clasifican como dulce a ligeramente salinas. Asimismo, el pH varia de 7.05 a 7.63, valores que representan aguas medianamente alcalinas. Las aguas para riego según el RAS y la conductividad eléctrica en el acuífero son de clase C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, aguas aptas para el riego de cultivos.
  
8. La reserva total de agua almacenada en el acuífero ha sido estimada para el presente estudio en 44.68 MMC, de los cuales 4.66 MMC corresponde a la reserva renovable. Así como el volumen aprovechable en 11.01 MMC.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Continuar con los monitoreos mensuales permanentes del nivel freático en la red de pozos de observación del acuífero, con el objetivo de analizar el comportamiento hidrodinámico de la napa en el tiempo y en el espacio. Así como el monitoreo de la calidad del agua subterránea en la red hidrogeoquímica, por lo menos cuatro veces al año.
2. Actualizar permanentemente los inventarios de fuentes de agua subterránea, así como ejecutar campañas de aforo en los pozos tubulares y a tajo abierto, mínimo cuatro veces al año, que permita tener actualizado y conocer el volumen de agua que se explota del acuífero.
3. Continuar con las pruebas de bombeo, con el objetivo de conocer con mayor claridad los parámetros hidrogeológicos (Conductividad Hidráulica, Transmisividad y Rendimiento Especifico) del acuífero.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Amisial, R. y Jegát, H. 1978. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas. Merida-Venezuela; CIDIAT
2. Arce , J. 1980. Estudio Geofísico de Resistividad Eléctrica para Agua Subterránea. Lima – Perú. Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).
3. Conceptos generales 2. Sobre recarga artificial (en línea). Consultado 15 marzo del 2014. Disponible en [http://aguas.igme.es/igme/publica/libro47/pdf/lib47/in\\_02.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro47/pdf/lib47/in_02.pdf)
4. Custodio, E. y Llamas, M. R. Editores. 1976 y 1983. Hidrología subterránea, 2 vol. Barcelona, Ed. Omega. 2350 p.
5. Jegát, H. 1999. Guía teórica de la definición, origen e importancia de las aguas subterráneas. Universidad de los Andes. Merida-Venezuela; CIDIAT.
6. Martínez , P., Martínez Santos, P. y Castaño, S. 2005. Fundamentos de Hidrogeología. Madrid-España; Mundi-Prensa Libros, S. A. 279 pp.
7. Pérez, F. 1995. La Explotación del agua subterránea. Un nuevo enfoque. Coedición MTI Ltda., páginas 32 – 43, 411 – 426, 464 – 466. La Habana – Cuba. Editorial Científico - Técnica. 500p.
8. Pérez, V. 1978. Estudio geodinámico – Geotécnico de la Cuenca del Río Chillón. Lima – Perú. Instituto de Geología y Minería - Dirección de Geología Aplicada.
9. Ranald V., G. 1969. Mecánica de fluidos e hidráulica. Segunda Edición, página 247. Colombia. Libros McGraw-Hill de México S.A. de C.V. 273p

10. Sánchez, S. 2005. Hidrología – Hidrogeología [en línea]. España. Ver Artículo: Temas Básicos, Hidrogeología, Conceptos Fundamentales. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. Consultado el 24 de Agosto del 2015. Disponible en <http://web.usal.es/javisan/hidro>
11. Universidad Jaime I de Castellón, ES. 2009. Gestión de las aguas subterráneas (en línea). Castelló, ES. Consultado 25 agos. 2014. Disponible en <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH27.pdf>
12. Universidad Jaime I de Castellón, ES.2009. Piezometría (en línea). Castelló, ES. Consultado 28 agos. 2014. Disponible en <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH12.pdf>
13. Universidad politécnica de Cataluña, ES.2003. Capítulo 3: Hidrogeoquímica (en línea). Cataluña, ES. Consultado 28 agos. 2014. Disponible en <http://www.h2ogeo.upc.es/ldonado/Publications> y [http://www.h2ogeo.upc.es/ldonado/Publications/Donado\\_1999a.pdf](http://www.h2ogeo.upc.es/ldonado/Publications/Donado_1999a.pdf).
14. Van, T. y; Xu, Y. 2000. A guide for the estimation of groundwater recharge in South Africa; Project conducted for DWAF under the supervision of Eddie Van W y K. 90 p.
15. Yapa, A. 1997. El manejo del agua subterránea a la americana – técnicas antiguas y modernas (en línea). Ecuador. Consultado 28 Agos. 2014. Disponible en <http://kyapa.tripod.com/Spa-index.htm>

**ANEXO 1**  
**ALBUM FOTOGRAFICO**



**Foto 1: Depósitos cuaternarios de la primera terraza (Q-t1) constituida principalmente por clastos gruesos en su base.**



**Foto 2: Afloramientos rocosos, límite lateral del acuífero en estudio. Margen izquierda del río Casma.**



**Foto 3: Deposito fluvio - aluvial (forma de U abierta). 1. Cauce del río Casma (aguas arriba); 2. Depósitos aluviales. (Vista SW - NE).**



**Foto 4: Inventario de fuentes de agua subterránea (Pozo P-2).**





**Foto 5: Monitoreo de niveles de agua pozo IRHS 28**



**Foto 6: Monitoreo de niveles de agua pozo IRHS 31**

**ANEXO 2**  
**CUADROS Y FIGURAS**

**Cuadro 2.1 Inventario de fuentes de agua subterránea**

IRHS	Coordenadas		Tipo	Prof (m)	Equipo		Estado del pozo	Uso	Caudal (l/s)	Regimen de explotación			Volumen (m³/s)
	Este	Norte			Motor	Bomba				h/d	d/m	m/año	
497	810401	8941870	TA	6.4	D	CS	UTILIZADO	A	15	8	8	4	13824
498	809934	8941676	TA	4.0	D	CS	UTILIZADO	A	20	8	8	4	18432
499	809754	8941708	TA	6.0	D	CS	UTILIZADO	D					
119	809357	8941830	T	53.0			NO UTILIZABLE						
125	809257	8941548	TA	7.2	D		UTILIZABLE	D					
127	809022	8941547	TA	0.0			NO UTILIZABLE						
517	808472	8941764	TA	4.5	E	CS	UTILIZADO	D					
518	808497	8941632	TA	4.0	G	CS	UTILIZADO	A	15	8	8	3	10368
27	807739	8941448	TA	6.6	E	CS	UTILIZADO	D					
28	807903	8941466	TA	7.1			UTILIZADO	D					
29	808113	8941364	TA	6.0			UTILIZADO	D					
530	807726	8941414	TA	8.0	G	CS	UTILIZADO	A	15	10	30	12	194400
513	807575	8941849	TA	3.0	D	CS	UTILIZADO	A	15	10	4	3	6480
514	807678	8941698	TA	6.2	G	CS	UTILIZADO	A	15	4	8	4	6912
515	807849	8941916	TA	4.0	G	CS	UTILIZADO	A	15	5	8	3	6480
516	807886	8941832	TA	4.0	G	CS	UTILIZADO	A	15	4	4	3	2592
531	807664	8941508	TA	4.0	D	CS	UTILIZADO	A	20	12	30	12	311040
153	807578	8942174	TA	0.0			NO UTILIZABLE						
154	807540	8942098	TA	6.9	G	CS	UTILIZADO	A	15	4	4	5	4320
130	807232	8941772	TA	4.0	D	CS	UTILIZADO	A	20	12	4	4	13824
131	807352	8941781	TA	5.1	G	CS	UTILIZADO	A	15	3	4	4	2592
132	807492	8942626	TA	3.0			UTILIZABLE	A					
510	806393	8942660	TA	3.0			UTILIZABLE	A					
511	806552	8942538	TA	3.0			UTILIZABLE	D					
512	806477	8942583	TA	4.0			UTILIZABLE	D					

TA= tajo abierto, T= tubular, A= agrícola, D= doméstico, D= diesel, G= gasolina, CS= centrifuga de succión

FUENTE: Elaboracion propia

**Cuadro 2.1 <<Continuación>>**

IRHS	Coordenadas		Tipo	Prof (m)	Equipo		Estado del pozo	Uso	Caudal (l/s)	Regimen de explotación			Volumen (m³/s)
	Este	Norte			Motor	Bomba				h/d	d/m	m/año	
512	806477	8942583	TA	4.0			UTILIZABLE	D					
509	807161	8942850	TA	4.0	G	CS	UTILIZADO	A	20	24	15	4	103680
118	806897	8942470	T	60.0			UTILIZABLE	A					
129	806833	8942416	TA	6.0	D	CS	UTILIZADO	A	15	10	8	3	12960
31	807004	8942266	TA	5.5	D	CS	UTILIZADO	A	20	8	8	4	18432
352	806483	8941770	TA	4.0			UTILIZADO	D					
353	806574	8941728	TA	5.3	E	CS	UTILIZADO	D					
354	806729	8941768	TA	6.0			UTILIZADO	D					
355	806931	8941837	TA	5.9	G	CS	UTILIZADO	A	15	5	8	3	6480
356	806339	8941892	TA	3.0	D	CS	UTILIZADO	A	30	12	12	12	186624
357	806346	8941876	TA	4.0			UTILIZADO	D					
133	806613	8942054	TA	4.3	E	CS	UTILIZADO	D					
124	806211	8941950	TA	2.9			UTILIZADO	D					
81	805994	8942002	TA	4.0			UTILIZABLE	A					
45	805841	8941962	TA	6.0			UTILIZADO	D					
135	806016	8942432	TA	5.0	G	CS	UTILIZADO	A	15	8	4	4	6912
136	805936	8942048	TA	4.0			UTILIZADO	D					
137	805908	8942128	TA	4.0	D	CS	UTILIZADO	A	15	22	4	4	19008
507	805825	8942877	TA	4.0			UTILIZABLE	A					
508	805830	8942148	TA	10.4	D	CS	UTILIZADO	A	30	8	4	5	17280
384	805400	8942392	TA	6.0			UTILIZADO	D					
534	805991	8942661	TA	4.0	D	CS	UTILIZADO	A	15	18	4	4	15552
117	805551	8942997	T	60.0	D	CS	UTILIZADO	A	20	12	12	4	41472
483	806045	8943744	TA	6.0			UTILIZABLE						
347	806165	8943400	TA	6.0			NO UTILIZABLE						
3	807449	8942079	TA	4.8			UTILIZADO	D					
CALAVERA	809468	8941641	TA	4.0			UTILIZADO	D					
POZO 2	807031	8941549	T	39.0			UTILIZADO	A	37	18	30	12	863136
POZO 4	807691	8941298	T	58.0			UTILIZADO	A	40	18	30	12	933120
POZO 1	806738	8941507	T	50.0			UTILIZABLE	A					
POZO 3	807406	8941376	T	48.0			UTILIZABLE	A					

TA= tajo abierto, T= tubular, A= agrícola, D= domético,D= diesel, G= gasolina, CS= centrífuga de succión

FUENTE: Elaboracion propia

**Cuadro 2.2 Monitoreo de nivel freático – abril 2008**

N° ORDEN	IRHS	COORDENADAS		Propietario	C. Terr. Msmm	Nivel Estático (m)	Carga Hidráulica (msnm)
		ESTE	NORTE				
1	3	807449	8942079	OLEGOREA TAMARA RODRIGUEZ	155.11	0.86	154.25
2	27	807739	8941448	AGUA POTABLE EL ARENAL-CHOLOQUE	165.77		
3	28	807903	8941466	MIGUEL MENDOZA	162.19	0.39	161.80
4	29	808113	8941364	ROCA BUSTAMANTE, LIVORIO SANTIAGO	167.46		
5	31	807004	8942266	ALVARADO SALAS/FUNDO EL MILAGRO	149.29	2.14	147.15
6	45	805841	8941962	CRISOSTOMO SANCHEZ, CRISTOBAL	150.40	3.81	146.59
7	81	805994	8942002	TAMARA RODRIGUEZ CORNELIO	144.50	3.50	141.00
8	117	805551	8942997	EL CASTILLO	131.80		
9	118	806897	8942470	SUC. ROQUE LEON	148.60	2.42	146.18
10	119	809357	8941830	HILARIO CHAVEZ TADEO	178.23		
11	124	806211	8941950	TAMARA RODRIGUEZ CORNELIO	144.47	3.23	141.24
12	125	809257	8941548	JHOHEN ALLEN OSORIO	176.60	2.61	173.99
13	127	809022	8941547	MONTES SALINAS, MAXIMO Y ESPOSA	173.32	2.25	171.07
14	129	806833	8942416	CARRANZA CHAVEZ, WILDER ZENOBIO	148.50	2.59	145.91
15	130	807232	8941772	YUI MIRANDA, RICARDO PRUDENCIO	156.49	1.44	155.05
16	131	807352	8941781	ROQUE RIMAY, CATALINO Y ESPOSA	156.84	1.16	155.68
17	132	807492	8942626	FLORES ZARATE, ELIAS	152.00	1.24	150.76
18	133	806613	8942054	SALAS DE ALVARADO LUZ MARIA	147.82	2.69	145.13
19	135	806016	8942432	TORRES RAMIREZ	7.97	2.64	5.33
20	136	805936	8942048	INOCENTA TAMARA	144.70		
22	153	807578	8942174	SALINAS GOMEZ, LUIS RUFINO	155.28	0.71	154.57
23	154	807540	8942098	SALINAS GOMEZ, PEDRO	155.27	0.67	154.60
24	347	806165	8943400		140.04		
25	352	806483	8941770	CARLOS RONDON TORRES	153.20	2.97	150.23
26	353	806574	8941728	JOSE TEODOCIO COLLPA LEON	152.96		
28	355	806931	8941837	COLLPA LEON, JOSE TEODOSIO Y ESPOSA	152.65		
29	356	806339	8941892	FLORES SALINAS ALEJANDRO	146.60	3.12	143.48
30	357	806346	8941876	FLORES SALINAS ALEJANDRO	147.90	3.11	144.79
31	384	805400	8942392	COMUNIDAD SAN MARTIN	142.26	3.58	138.68
32	483	806045	8943744	LOPEZ ESCUDERO, ALEJANDRO MATEO	133.89		
33	497	810401	8941870	OLIMPIO REGALADO MENDEZ	189.88		
34	498	809934	8941676	FIDEL WONG CORPUS	184.26		
35	499	809754	8941708	FIDEL WONG CORPUS	182.20		
36	507	805825	8942877	SUC. COC LAVADO	135.84	1.52	134.32
37	508	805830	8942148	LOPEZ BARRERA, CARLOS ANTONIO	141.42	3.47	137.95
38	509	807161	8942850	CORTEZ NIZAMA, ROSENDO Y OTRO	153.75		
39	510	806393	8942660	COLONIA FERRER, ZENON ELIAS	141.75	2.21	139.54
40	511	806552	8942538	SU VDA. DE OBREGON, MATILDE	143.60	2.42	141.18
41	512	806477	8942583	SU VDA. DE OBREGON, MATILDE	143.29	2.34	140.95
42	513	807575	8941849	SALINAS GOMEZ, JOSE	156.60	0.71	155.89
43	514	807678	8941698	CORDIGLIA GIRALDO, ANTONIO	158.50	0.62	157.88
44	515	807849	8941916	DURAND ROQUE, ESTEBAN FERNANDO	160.63	0.56	160.07
45	516	807886	8941832	RODRIGUEZ CORNELIO, FAUSTO FORTUNATO Y OTRO	159.89	0.54	159.35
46	517	808472	8941764	GADEA ALEGRE, RAMON JOSE	165.58	1.19	164.39
47	518	808497	8941632	WONG BERROSPI, FERNANDO ERASMO	165.90	1.26	164.64
48	530	807726	8941414	ASOCIACION DE AGRICULTORES	167.24		
49	531	807664	8941508	ASOCIACION DE AGRICULTORES	165.41	0.70	164.71
50	534	805991	8942661	EGUSQUIZA SOTELO, ALEJANDRO	137.93	2.12	135.81
51	CALAVERA	809468	8941641		178.43		

FUENTE: Elaboracion propia

**Cuadro 2.3 Monitoreo de nivel freático – agosto 2012**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	ZONA	COORDENADAS WGS84		C. Terr. msnm	Prof. De Pozo (m)	PR (m)	N.E/PR (m)	Nivel Estatico (m)	Carga Hidráulica (msnm)
				ESTE	NORTE						
1	1	MN-1	IV	812651	8943305	212.29	6.43	0	2.53	2.53	209.76
2	2	497	IV	810401	8941870	189.88	8.93	0	4.47	4.47	185.41
3	4	125	IV	809257	8941548	176.60	7.22	0.52	3.56	3.04	173.56
4	9	MN-9	IV	808975	8941854	171.88	6.42	0.22	1.75	1.53	170.35
5	13	517	IV	808472	8941764	165.58	4.5	0.96	2.7	1.74	163.84
6	17	MN-17	IV	808626	8941411	172.07	8.15	1.35	5.94	4.59	167.48
7	18	29	III	808113	8941364	167.46	6.02	0.73	5.15	4.42	163.04
8	19	28	III	807903	8941466	162.19	7.12	0.9	5.57	4.67	157.52
9	20	27	III	807739	8941448	165.77	6.59	1.48	7.77	6.29	159.48
10	25	514	III	807678	8941698	158.50	6.23	-0.8	1.79	2.59	155.91
11	27	131	II	807352	8941781	156.84	5.11	0	1.78	1.78	155.06
12	29	MN-29	II	807270	8941629	160.96	4.28	0.3	3.9	3.60	157.36
13	31	MN-31	I	806611	8942602	144.09	3.48	0	1.13	1.13	142.96
14	35	31	II	807004	8942266	149.29	5.49	0.45	2.28	1.83	147.46
15	37	3	II	807449	8942079	155.11	4.81	0.69	2.66	1.97	153.14
16	39	154	II	807540	8942098	155.27	6.9	0	1.63	1.63	153.64
17	40	133	I	806613	8942054	147.82	4.34	0.84	2.62	1.78	146.04
18	44	353	II	806574	8941728	152.96	5.26	0.86	4.34	3.48	149.48
19	45	355	II	806931	8941837	152.65	5.85	0.47	2.32	1.85	150.80
20	47	124	I	806211	8941950	144.47	2.87	0.43	1.4	0.97	143.50
21	51	508	I	805830	8942148	141.42	10.43	0.77	5.7	4.93	136.49
22	53	135	I	806016	8942432	137.16	7.97	0.54	1.71	1.17	135.99
23	54	177	-	804095	8943793	122.49	8.77	0.62	6.63	6.01	116.48
24	56	MN-56	-	804462	8943822	118.68	8.43	0.57	1.9	1.33	117.35

FUENTE: Elaboracion propia

**Cuadro 2.4 Monitoreo de nivel freático – agosto 2013**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	ZONA	COORDENADAS WGS84		C. Terr. msnm	Prof. De Pozo	PR (m)	N.E/PR (m)	Nivel Estatico (m)	Carga Hidráulica (msnm)
				ESTE	NORTE						
1	1	MN-1	IV	812651	8943305	212.29	6.43	0.00	2.01	2.01	210.28
2	2	497	IV	810401	8941870	189.88	8.93	0.67			
3	4	125	IV	809257	8941548	176.60	7.22	0.53	3.46	2.93	173.67
4	9	MN-9	IV	808975	8941854	171.88	6.42	0.25	1.72	1.47	170.41
5	13	517	IV	808472	8941764	165.58	4.50	0.88			
6	17	MN-17	IV	808626	8941411	172.07	8.15	1.10			
7	18	29	III	808113	8941364	167.46	6.02	0.73	5.41	4.68	162.78
8	19	28	III	807903	8941466	162.19	7.12	0.89	5.84	4.95	157.24
9	20	27	III	807739	8941448	165.77	6.59	0.00	7.4	7.40	158.37
10	25	514	III	807678	8941698	158.50	6.23	-1.00	2.15	3.15	155.35
11	27	131	II	807352	8941781	156.84	5.11	0.55			
12	29	MN-29	II	807270	8941629	160.96	4.28	0.98	4.84	3.86	157.10
13	31	MN-31	I	806611	8942602	144.09	3.48	0.30	1.36	1.06	143.03
14	35	31	II	807004	8942266	149.29		0.46	2.34	1.88	147.41
15	37	3	II	807449	8942079	155.11	4.81	0.68	2.91	2.23	152.88
16	39	154	II	807540	8942098	155.27	6.90	0.22	1.95	1.73	153.54
17	40	133	I	806613	8942054	147.82	4.34	0.85	2.81	1.96	145.86
18	44	353	II	806574	8941728	152.96	5.26	0.76	4.6	3.84	149.12
19	45	355	II	806931	8941837	152.65	5.85	0.39	2.51	2.12	150.53
20	47	124	I	806211	8941950	144.47	2.87	0.33	1.49	1.16	143.31
21	51	508	I	805830	8942148	141.42	10.43	0.92	5.62	4.70	136.72
22	53	135	I	806016	8942432	137.16	7.97	0.55	1.63	1.08	136.08
23	54	177	-	804095	8943793	122.49	8.77	0.62	6.83	6.21	116.28
24	56	MN-56	-	804462	8943822	118.68	8.43	0.55	2.03	1.48	117.20
25	PZ-02	PZ-02	III	807062	8941370	164.59		0.04	16.4	16.36	148.23
26	PZ-04	PZ-04	III	807457	8941303	168.44		0.04	19.63	19.59	148.85

FUENTE: Elaboracion propia

**Cuadro 2.5 Monitoreo de nivel freático – enero 2014**

N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS		C. Terr. msnm	Prof. De Pozo (m)	PR (m)	N.E/PR (m)	Nivel Estatico (m)	Carga Hidráulica (msnm)
			ESTE	NORTE						
1	1	MN-1	812651	8943305	212.29	6.43	0.00	2.19	2.19	210.10
2	2	497	810401	8941870	189.88	8.93	0.67	5.41	4.74	185.14
3	4	125	809257	8941548	176.60	7.22	0.53	3.41	2.88	173.72
4	9	MN-9	808975	8941854	171.88	6.42	0.25	2.25	2.00	169.88
5	13	517	808472	8941764	165.58	4.50	0.88	--	--	--
6	17	MN-17	808626	8941411	172.07	8.15	1.10	6.72	5.62	166.45
7	18	29	808113	8941364	167.46	6.02	0.73	5.91	5.18	162.28
8	19	28	807903	8941466	162.19	7.12	0.89	6.165	5.28	156.92
9	20	27	807739	8941448	165.77	6.59	0.00	--	--	--
10	25	514	807678	8941698	158.50	6.23	-1.00	3.06	4.06	154.44
11	27	131	807352	8941781	156.84	5.11	0.55	2.6	2.05	154.79
12	29	MN-29	807270	8941629	160.96	4.28	0.98	5.435	4.46	156.51
13	31	MN-31	806611	8942602	144.09	3.48	-0.62	1.2	1.82	142.27
14	35	31	807004	8942266	149.29		0.46	3.44	2.98	146.31
15	37	3	807449	8942079	155.11	4.81	0.68	2.8	2.12	152.99
16	39	154	807540	8942098	155.27	6.90	0.22	1.81	1.59	153.68
17	40	133	806613	8942054	147.82	4.34	0.85	2.27	1.42	146.40
18	44	353	806574	8941728	152.96	5.26	0.76	4.80	4.04	148.92
19	45	355	806931	8941837	152.65	5.85	0.39	4.68	4.29	148.36
20	47	124	806211	8941950	144.47	2.87	0.33	1.86	1.53	142.94
21	51	508	805830	8942148	141.42	10.43	0.92	5.67	4.75	136.67
22	53	135	806016	8942432	137.16	7.97	0.55	1.76	1.21	135.95
23	54	177	804095	8943793	122.49	8.77	0.62	6.67	6.05	116.44
24	56	MN-56	804462	8943822	118.68	8.43	0.55	1.965	1.42	117.27
25	PZ-02	PZ-02	807062	8941370	164.59	30	0.04	17.13	17.09	147.50
26	PZ-04	PZ-04	807457	8941303	168.44	30	0.04	20.47	20.43	148.01

FUENTE: Elaboracion propia




**Cuadro 2.6 Monitoreo de nivel freático – agosto 2014**


N° ORDEN	N° POZO MONITOREO	IRHS	COORDENADAS WGS84		C. Terr. msnm	Prof. De Pozo (m)	PR (m)	N.E/PR (m)	Nivel Estático (m)	Carga Hidráulica (msnm)
			ESTE	NORTE						
1	1	MN-1	812651	8943305	212.29	6.43	0.00			
2	2	497	810401	8941870	189.88	8.93	0.67			
3	4	125	809257	8941548	176.60	7.22	0.56	3.54	2.98	173.62
4	9	MN-9	808975	8941854	171.88	6.42	0.25			
5	13	517	808472	8941764	165.58	4.50	0.88			
6	17	MN-17	808626	8941411	172.07	8.15				
7	18	29	808113	8941364	167.46	6.02	0.79			
8	19	28	807903	8941466	162.19	7.12	0.84	6.1	5.26	156.93
9	20	27	807739	8941448	165.77	6.59	0.00			
10	25	514	807678	8941698	158.50	6.23	-1.00	2.6	3.60	154.90
11	27	131	807352	8941781	156.84	5.11	0.55	2.62	2.07	154.77
12	29	MN-29	807270	8941629	160.96	4.28	0.98	5.4	4.42	156.54
13	31	MN-31	806611	8942602	144.09	3.48	0.00	1.31	1.31	142.78
14	35	31	807004	8942266	149.29		0.45	2.28	1.83	147.46
15	37	3	807449	8942079	155.11	4.81	0.72	3.22	2.50	152.61
16	39	154	807540	8942098	155.27	6.90	-0.40	2.28	2.68	152.59
17	40	133	806613	8942054	147.82	4.34				
18	44	353	806574	8941728	152.96	5.26	0.77			
19	45	355	806931	8941837	152.65	5.85	0.40			
20	47	124	806211	8941950	144.47	2.87	0.40	1.62	1.22	143.25
21	51	508	805830	8942148	141.42	10.43	0.88	5.755	4.88	136.55
22	53	135	806016	8942432	137.16	7.97	0.55	1.69	1.14	136.02
23	54	177	804095	8943793	122.49	8.77	0.63	6.615	5.99	116.51
24	56	MN-56	804462	8943822	118.68	8.43	0.57	1.95	1.38	117.30
25	PZ-02	PZ-02	807062	8941370	164.59	30	0.04	16.92	16.88	147.71
26	PZ-04	PZ-04	807457	8941303	168.44	30	0.04	20.29	20.25	148.19

FUENTE: Elaboracion propia


Cuadro 2.7 Prueba de bombeo Pozo P-2 - Recuperación

		<b>Pumping Test - Water Level Data</b> <span style="float: right;">Page 1 of 2</span>	
LA MOLINA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		Project: Estudio hidrogeológico del Acuífero Casma	
		Number:	
		Client: UNALM	
Location: San Rafael – Casma		Pumping Test: Pozo N°02	Pumping Well: Pozo N°02
Test Conducted by: Karin Carbajo D.		Test Date: 24/02/2013	Discharge Rate: 39 [l/s]
Observation Well: Pozo N°02		Static Water Level [m]: 11.72	Radial Distance to PW [m]: -
	Time [s]	Water Level [m]	Drawdown [m]
1	86430	13.41	1.69
2	86460	13.03	1.31
3	86490	13.09	1.37
4	86520	13.08	1.36
5	86550	13.06	1.34
6	86580	13.05	1.33
7	86610	13.03	1.31
8	86640	13.02	1.30
9	86670	13.005	1.285
10	86700	12.995	1.275
11	86730	12.985	1.265
12	86760	12.97	1.25
13	86790	12.96	1.24
14	86820	12.95	1.23
15	86850	12.94	1.22
16	86880	12.94	1.22
17	86910	12.93	1.21
18	86940	12.92	1.20
19	86970	12.91	1.19
20	87000	12.90	1.18
21	87060	12.89	1.17
22	87120	12.88	1.16
23	87180	12.875	1.155
24	87240	12.87	1.15
25	87300	12.855	1.135
26	87360	12.85	1.13
27	87420	12.84	1.12
28	87480	12.83	1.11
29	87540	12.82	1.10
30	87600	12.81	1.09
31	87720	12.80	1.08
32	87840	12.78	1.06
33	87960	12.77	1.05
34	88080	12.76	1.04
35	88200	12.75	1.03
36	88500	12.72	1.00
37	88800	12.69	0.97
38	89100	12.67	0.95
39	89400	12.65	0.93
40	89700	12.63	0.91
41	90000	12.61	0.89
42	90600	12.57	0.85
43	91200	12.53	0.81
44	91800	12.51	0.79
45	92400	12.48	0.76
46	93000	12.46	0.74
47	93600	12.44	0.72
48	94800	12.39	0.67
49	96000	12.36	0.64
50	97200	12.32	0.60
51	98400	12.295	0.575
52	99600	12.27	0.55


Cuadro 2.7 &lt;&lt;continuación&gt;&gt;

		LA MOLINA		<b>Pumping Test - Water Level Data</b> Page 2 of 2	
		UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA		Project: Estudio hidrogeológico del Acuífero Casma	
		FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		Number:	
				Client: UNALM	
	Time [s]	Water Level [m]	Drawdown [m]		
53	100800	12.25	0.53		
54	102000	12.23	0.51		
55	103200	12.21	0.49		
56	104400	12.19	0.47		
57	105600	12.17	0.45		
58	106800	12.155	0.435		
59	108000	12.135	0.415		
60	109200	12.115	0.395		
61	110400	12.105	0.385		
62	111600	12.085	0.365		
63	112800	12.075	0.355		
64	114000	12.065	0.345		
65	115200	12.05	0.33		
66	116400	12.04	0.32		
67	117600	12.03	0.31		
68	118800	12.02	0.30		
69	120000	12.01	0.29		
70	121200	12.00	0.28		
71	122400	11.98	0.26		
72	124200	11.97	0.25		
73	126000	11.96	0.24		
74	127800	11.95	0.23		
75	129600	11.94	0.22		
76	131400	11.92	0.20		
77	133200	11.90	0.18		
78	135000	11.89	0.17		
79	136800	11.88	0.16		
80	138600	11.87	0.15		
81	140400	11.87	0.15		
82	142200	11.86	0.14		
83	144000	11.85	0.13		
84	145800	11.84	0.12		
85	147600	11.835	0.115		
86	149400	11.82	0.10		
87	151200	11.815	0.095		
88	154800	11.80	0.08		
89	158400	11.785	0.065		
90	162000	11.77	0.05		
91	165600	11.76	0.04		
92	169200	11.74	0.02		
93	172800	11.73	0.01		
94	173400	11.73	0.01		
95	177000	11.72	0.00		
96	180600	11.71	-0.01		
97	184200	11.70	-0.02		
98	187800	11.69	-0.03		
99	191400	11.69	-0.03		
100	195000	11.68	-0.04		
101	198600	11.67	-0.05		
102	202200	11.66	-0.06		
103	205800	11.65	-0.07		
104	209400	11.66	-0.06		
105	213000	11.66	-0.06		
106	216600	11.65	-0.07		


Cuadro 2.8 Prueba de bombeo Pozo P-4 - Recuperación

	LA MOLINA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		<b>Pumping Test Analysis Report</b> <span style="float: right;">Page 1 of 1</span>	
	Project: Estudio hidrogeologico del Acuífero Casma			
	Number:			
	Client: UNALM			
Location: San Rafael - Casma		Pumping Test: Pozo N°4 - Recuperación		Pumping Well: Pozo N°04
Test Conducted by: Karin Carbajo D.		Test Date: 27/02/2013		Discharge Rate: 38 [l/s]
Observation Well: Pozo N°04		Static Water Level [m]: 18.18		Radial Distance to PW [m]: -
	Time [s]	Water Level [m]	Drawdown [m]	
1	140400	24.04	5.86	
2	140430	19.95	1.77	
3	140460	19.57	1.39	
4	140490	19.58	1.40	
5	140520	19.55	1.37	
6	140550	19.52	1.34	
7	140580	19.485	1.305	
8	140610	19.45	1.27	
9	140640	19.415	1.235	
10	140670	19.39	1.21	
11	140700	19.37	1.19	
12	140730	19.34	1.16	
13	140760	19.32	1.14	
14	140790	19.30	1.12	
15	140820	19.29	1.11	
16	140850	19.27	1.09	
17	140880	19.26	1.08	
18	140910	19.25	1.07	
19	140940	19.24	1.06	
20	140970	19.23	1.05	
21	141000	19.22	1.04	
22	141060	19.21	1.03	
23	141120	19.19	1.01	
24	141180	19.17	0.99	
25	141240	19.16	0.98	
26	141300	19.15	0.97	
27	141360	19.14	0.96	
28	141420	19.12	0.94	
29	141480	19.11	0.93	
30	141540	19.10	0.92	
31	141600	19.09	0.91	
32	141720	19.08	0.90	
33	141840	19.04	0.86	
34	141960	19.03	0.85	
35	142080	19.02	0.84	
36	142200	19.00	0.82	
37	142500	18.98	0.80	
38	142800	18.95	0.77	
39	143100	18.96	0.78	
40	143400	18.92	0.74	
41	143700	18.88	0.70	
42	144000	18.88	0.70	
43	144600	18.82	0.64	
44	145200	18.81	0.63	
45	145800	18.78	0.60	
46	146400	18.75	0.57	

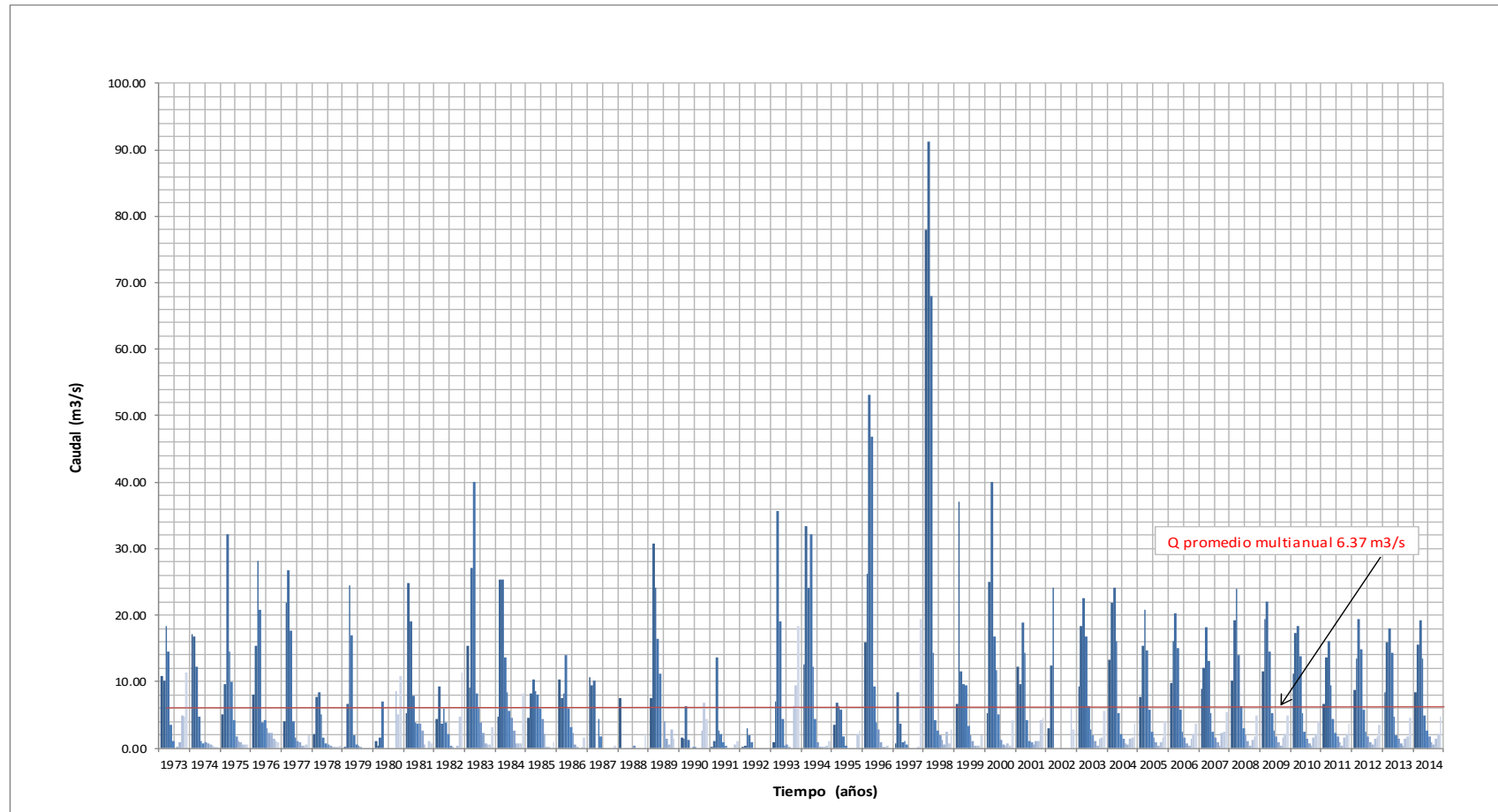
Cuadro 2.9 Prueba de bombeo pozo P-4 - pozo de obs. IRHS 27

	LA MOLINA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		<b>Pumping Test Analysis Report</b> <span style="float: right;">Page 1 of 1</span>	
	Project: Estudio hidrogeologico del Acuífero Casma			
	Number:			
	Client: UNALM			
Location: San Rafael – Casma		Pumping Test: Pozo "Jass Los Arenales"		Pumping Well: Pozo N°04
Test Conducted by: Karin Carbajo D.		Test Date: 15/02/2013		Discharge Rate: 38 [l/s]
Observation Well: Pozo IRHS 27		Static Water Level [m]: 6.35		Radial Distance to PW [m]: 137.88
	Time [s]	Water Level [m]	Drawdown [m]	
1	0	6.35	0.00	
2	18000	6.36	0.01	
3	25200	6.37	0.02	
4	39600	6.38	0.03	
5	46800	6.39	0.04	
6	72000	6.40	0.05	
7	97200	6.41	0.06	
8	104400	6.42	0.07	
9	118800	6.437	0.087	
10	140400	6.445	0.095	

Cuadro 2.10 Prueba de bombeo pozo P-4 - Pz-04

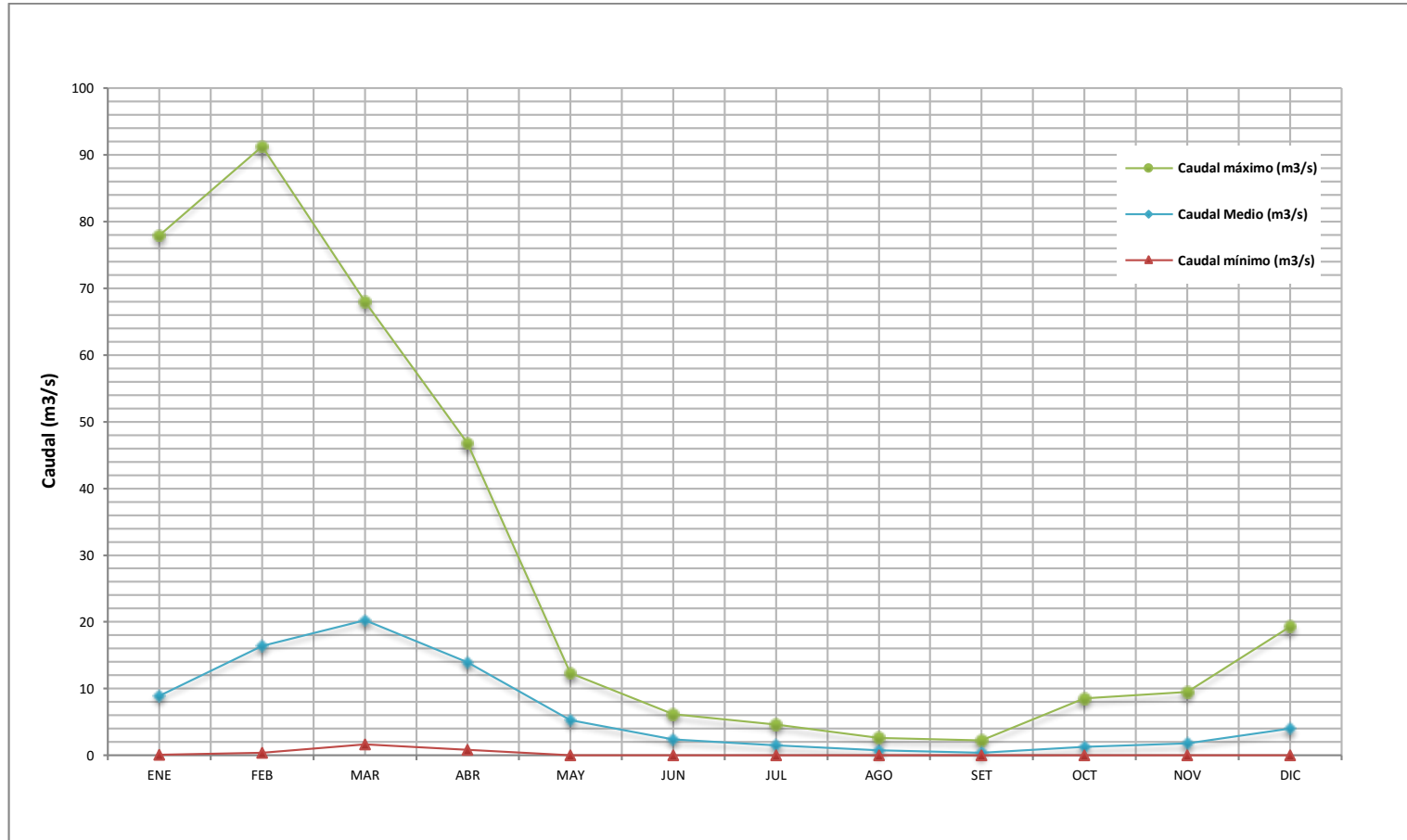
	LA MOLINA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		<b>Pumping Test - Water Level Data</b> Page 1 of 1	
	Project: Prueba de Interferencia de los Pozos N° 02 y 04			
	Number:			
	Client: Agrícola CHAPI SAC			
Location: San Rafael - Casma		Pumping Test: Pozo N° 04 - Pz N°04		Pumping Well: Pozo N°04
Test Conducted by: karin Carbajo			Discharge Rate: 38 [l/s]	
Observation Well: Piezometro N°04		Static Water Level [m]: 18.64		Radial Distance to PW [m]: 233.86
	Time [s]	Water Level [m]	Drawdown [m]	
1	0	18.64	0.00	
2	18000	18.65	0.01	
3	57600	18.67	0.03	
4	61200	18.68	0.04	
5	64800	18.69	0.05	
6	68400	18.70	0.06	
7	89400	18.72	0.08	
8	100800	18.73	0.09	
9	126000	18.74	0.10	
10	127800	18.75	0.11	
11	140400	18.76	0.12	

**Figura 2.1 Hidrograma de descargas medias mensuales ( $m^3/s$ )  
Estacion Tutuma, periodo (1973-2014)**



FUENTE: Elaboracion propia

Figura 2.2 Hidrograma de descarga máxima, mínima y media mensual del río Casma

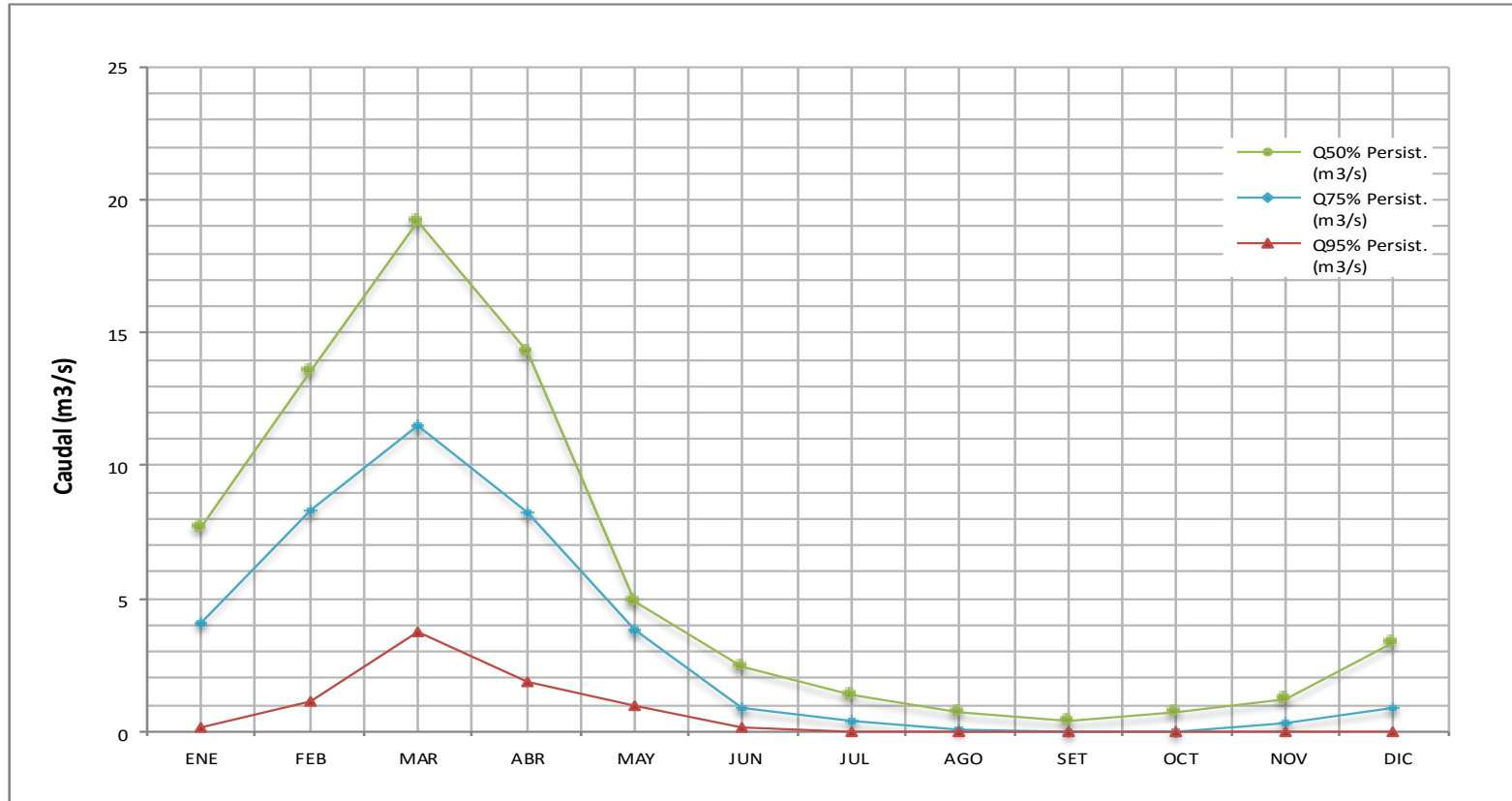


FUENTE: Elaboracion propia



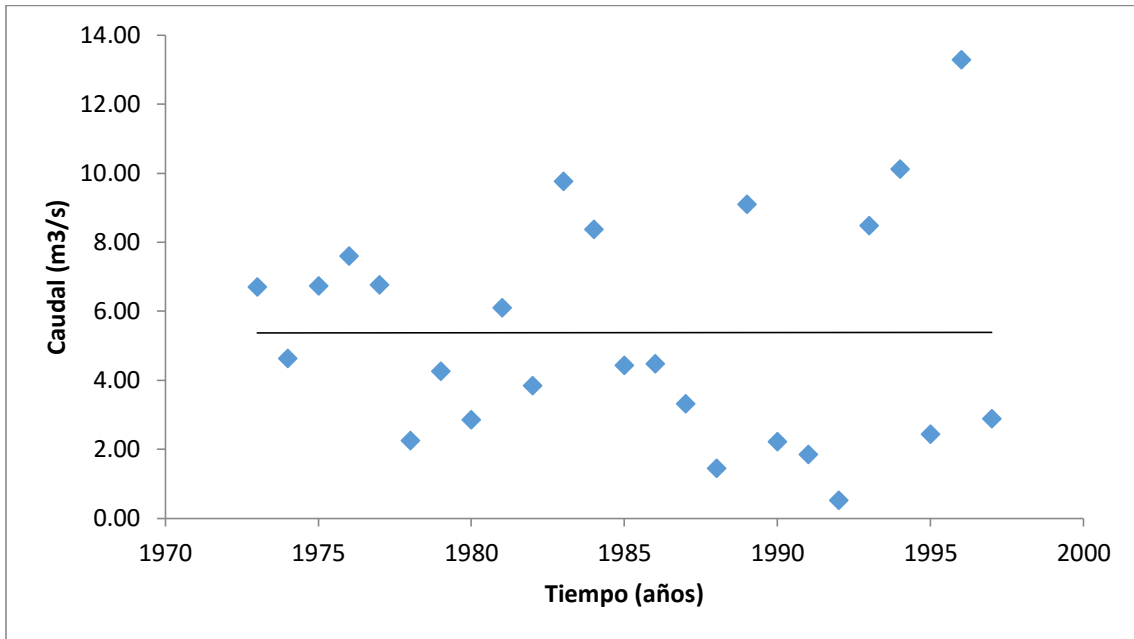
**Figura 2.3 persistencia de descargas medias mensuales (m<sup>3</sup>/s)**

**Estación hidrométrica Tutuma, Período 1973-2014**



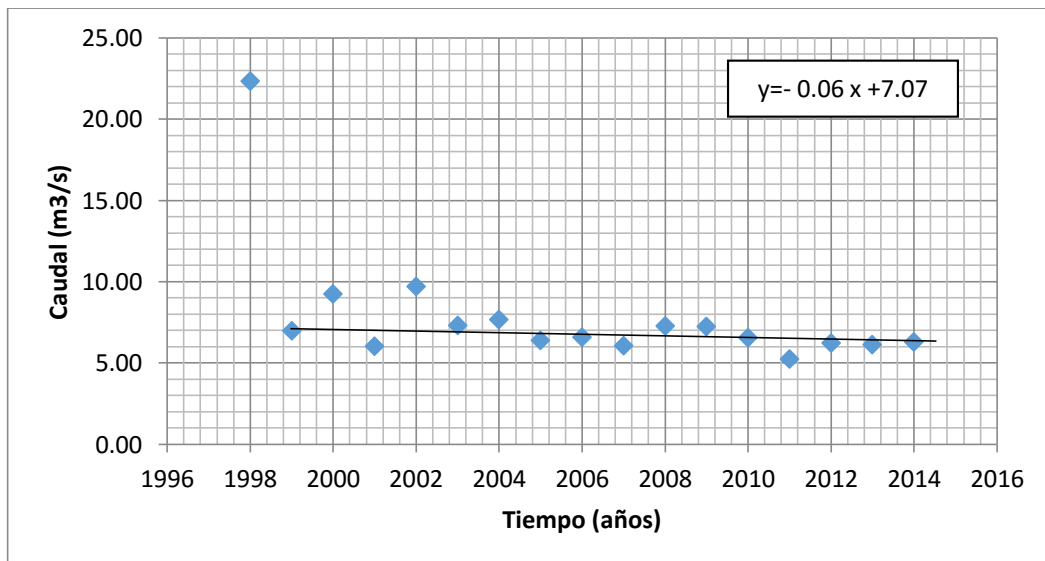
FUENTE: Elaboracion propia

**Figura 2.4 Análisis de Tendencia de los caudales medios mensuales  
Estación Tutuma (período 1973 - 1997)**



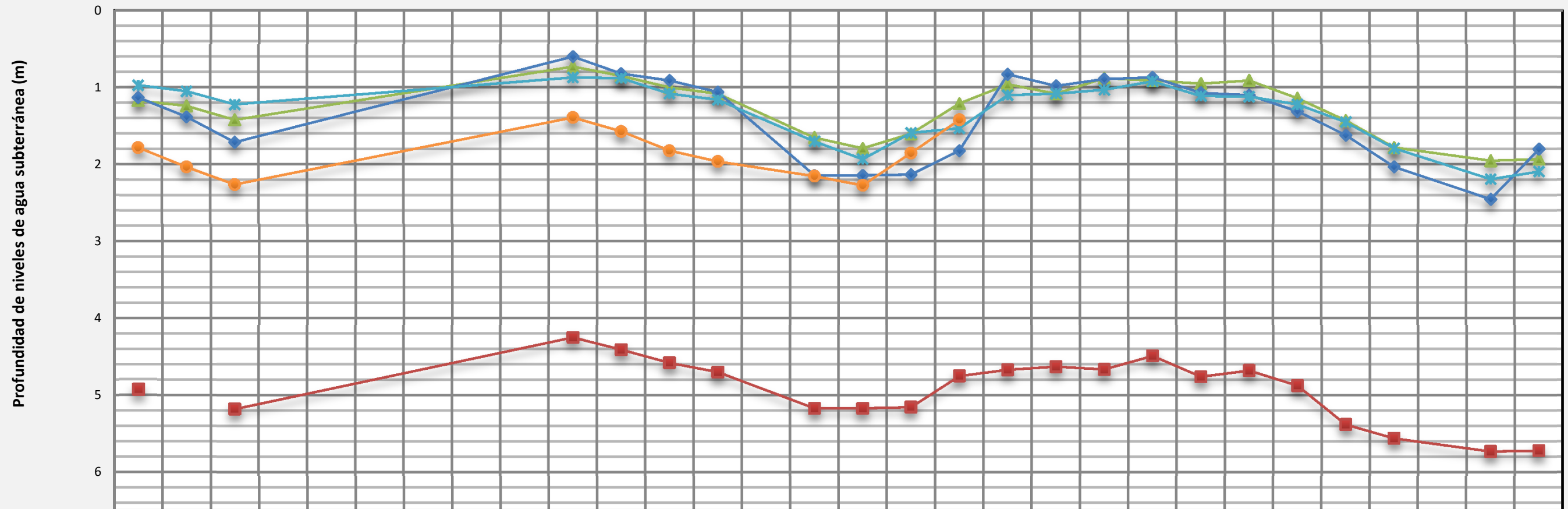
FUENTE: Elaboración propia

**Figura 2.5 Análisis de Tendencia de los caudales medios mensuales  
Estación Tutuma (período 1998 - 2014)**



FUENTE: Elaboración propia

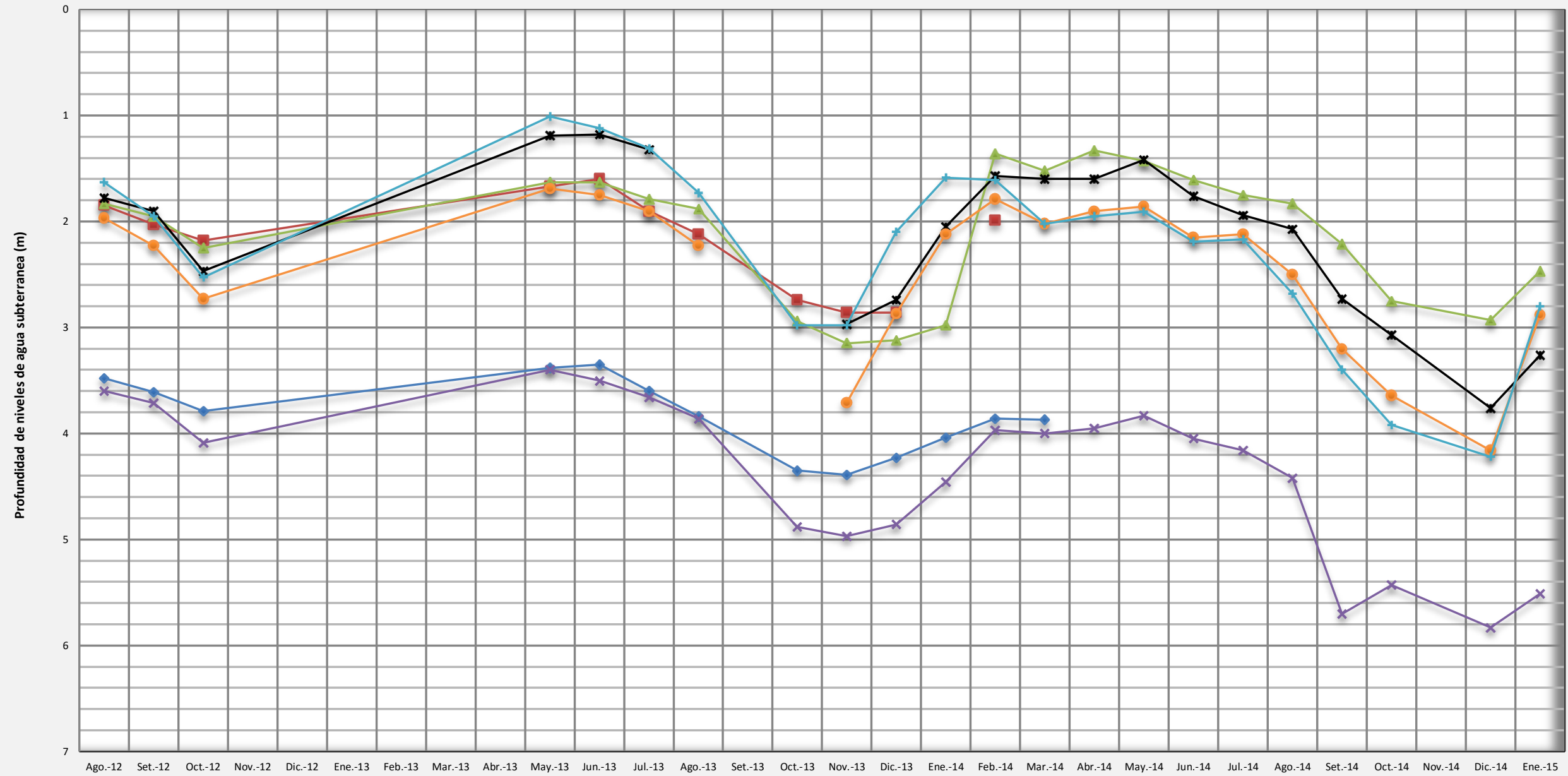
**Figura 2.6 Variación temporal de la profundidad (m) de los niveles de agua subterránea  
Zona I**



Ago.-12 Set.-12 Oct.-12 Nov.-12 Dic.-12 Ene.-13 Feb.-13 Mar.-13 Abr.-13 May.-13 Jun.-13 Jul.-13 Ago.-13 Set.-13 Oct.-13 Nov.-13 Dic.-13 Ene.-14 Feb.-14 Mar.-14 Abr.-14 May.-14 Jun.-14 Jul.-14 Ago.-14 Set.-14 Oct.-14 Nov.-14 Dic.-14 Ene.-15

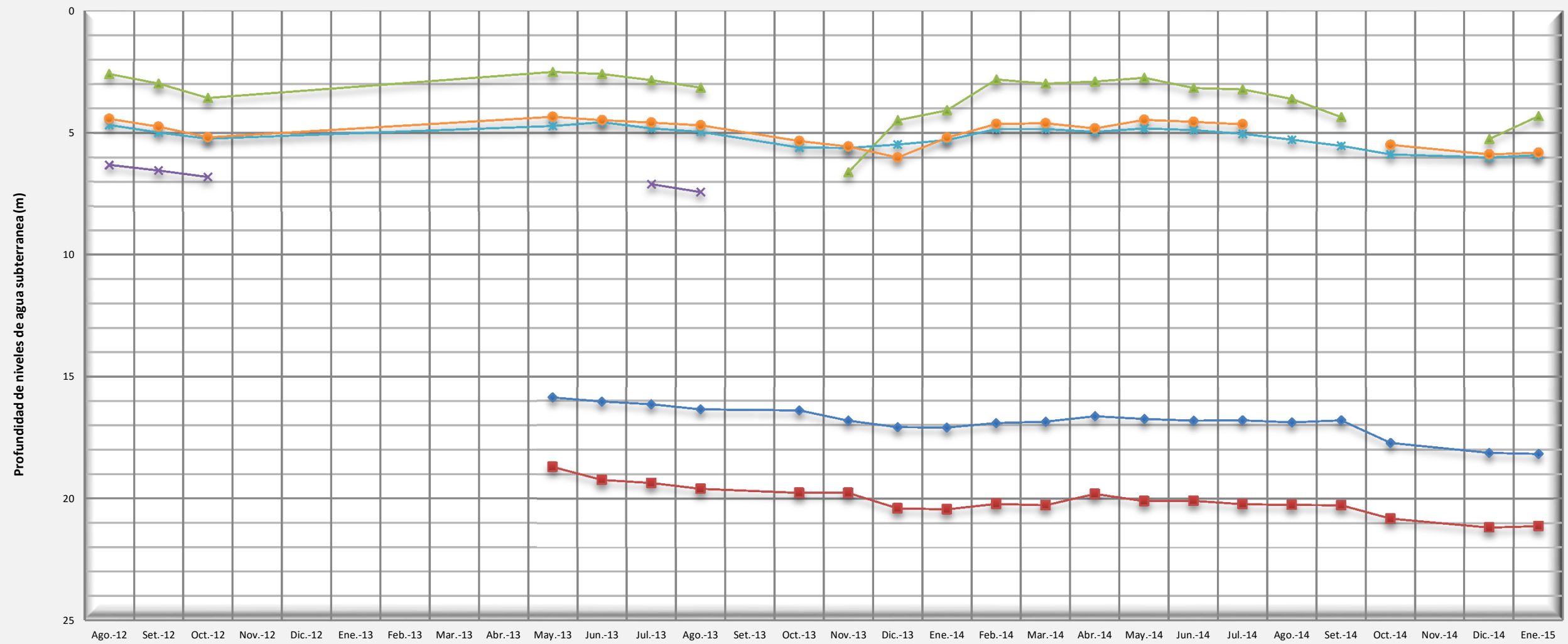
	Ago.-12	Set.-12	Oct.-12	May.-13	Jun.-13	Jul.-13	Ago.-13	Oct.-13	Nov.-13	Dic.-13	Ene.-14	Feb.-14	Mar.-14	Abr.-14	May.-14	Jun.-14	Jul.-14	Ago.-14	Set.-14	Oct.-14	Dic.-14	Ene.-15
53	1.17	1.24	1.42	0.73	0.85	1	1.08	1.65	1.79	1.6	1.21	0.96	1.08	0.88	0.91	0.95	0.91	1.14	1.43	1.78	1.95	1.93
31	1.13	1.38	1.71	0.6	0.82	0.91	1.06	2.14	2.14	2.13	1.82	0.83	0.98	0.89	0.87	1.07	1.1	1.31	1.62	2.03	2.45	1.8
47	0.97	1.05	1.22	0.87	0.88	1.08	1.16	1.7	1.93	1.59	1.53	1.1	1.08	1.03	0.92	1.11	1.12	1.22	1.45	1.79	2.19	2.09
40	1.78	2.03	2.26	1.39	1.57	1.82	1.96	2.15	2.27	1.85	1.42											
51	4.93		5.18	4.25	4.41	4.58	4.7	5.17	5.17	5.155	4.75	4.67	4.63	4.665	4.49	4.76	4.68	4.875	5.38	5.56	5.73	5.72

**Figura 2.7 Variación temporal de la profundidad (m) de los niveles de agua subterránea Zona II**



	Ago.-12	Set.-12	Oct.-12	May.-13	Jun.-13	Jul.-13	Ago.-13	Oct.-13	Nov.-13	Dic.-13	Ene.-14	Feb.-14	Mar.-14	Abr.-14	May.-14	Jun.-14	Jul.-14	Ago.-14	Set.-14	Oct.-14	Dic.-14	Ene.-15	
44	3.48	3.61	3.79	3.38	3.35	3.6	3.84	4.35	4.39	4.23	4.04	3.86	3.87										
45	1.85	2.03	2.18	1.67	1.6	1.9	2.12	2.74	2.86	2.86		1.99											
35	1.83	1.95	2.25	1.63	1.63	1.79	1.88	2.94	3.15	3.12	2.98	1.36	1.52	1.33	1.43	1.61	1.75	1.83	2.21	2.75	2.93	2.47	
29	3.6	3.71	4.09	3.40	3.5	3.66	3.86	4.88	4.97	4.86	4.455	3.97	4	3.95	3.83	4.05	4.16	4.42	5.7	5.43	5.83	5.51	
27	1.78	1.9	2.47	1.19	1.18	1.32			2.97	2.74	2.05	1.57	1.6	1.6	1.42	1.76	1.94	2.07	2.73	3.07	3.76	3.26	
37	1.97	2.23	2.73	1.69	1.75	1.9	2.23		3.71	2.87	2.12	1.79	2.02	1.9	1.86	2.15	2.12	2.5	3.2	3.64	4.16	2.88	
39	1.63	1.95	2.53	1.01	1.12	1.31	1.73	2.98	2.98	2.1	1.59	1.61	2.02	1.95	1.91	2.19	2.17	2.68	3.4	3.92	4.22	2.8	

**Figura 2.8 Variación temporal de la profundidad (m) de los niveles de agua subterránea  
Zona III**



	Ago.-12	Set.-12	Oct.-12	May.-13	Jun.-13	Jul.-13	Ago.-13	Oct.-13	Nov.-13	Dic.-13	Ene.-14	Feb.-14	Mar.-14	Abr.-14	May.-14	Jun.-14	Jul.-14	Ago.-14	Set.-14	Oct.-14	Dic.-14	Ene.-15
◆ PZ-02				15.87	16.04	16.15	16.36	16.39	16.82	17.08	17.09	16.91	16.85	16.64	16.75	16.81	16.8	16.88	16.8	17.72	18.12	18.17
■ PZ-04				18.7	19.23	19.36	19.59	19.76	19.76	20.39	20.43	20.205	20.26	19.8	20.09	20.08	20.22	20.25	20.26	20.81	21.17	21.11
▲ 25	2.59	2.98	3.56	2.5	2.59	2.84	3.15		6.59	4.47	4.06	2.81	2.97	2.89	2.74	3.16	3.22	3.6	4.35		5.24	4.3
✕ 20	6.29	6.52	6.78			7.08	7.4															
* 19	4.67	4.97	5.22	4.71	4.55	4.81	4.95	5.59	5.6	5.465	5.275	4.83	4.83	4.95	4.8	4.87	5.03	5.26	5.51	5.86	5.99	5.89
● 18	4.42	4.74	5.16	4.33	4.47	4.56	4.68	5.32	5.54	5.99	5.18	4.62	4.6	4.81	4.46	4.54	4.63			5.47	5.87	5.8



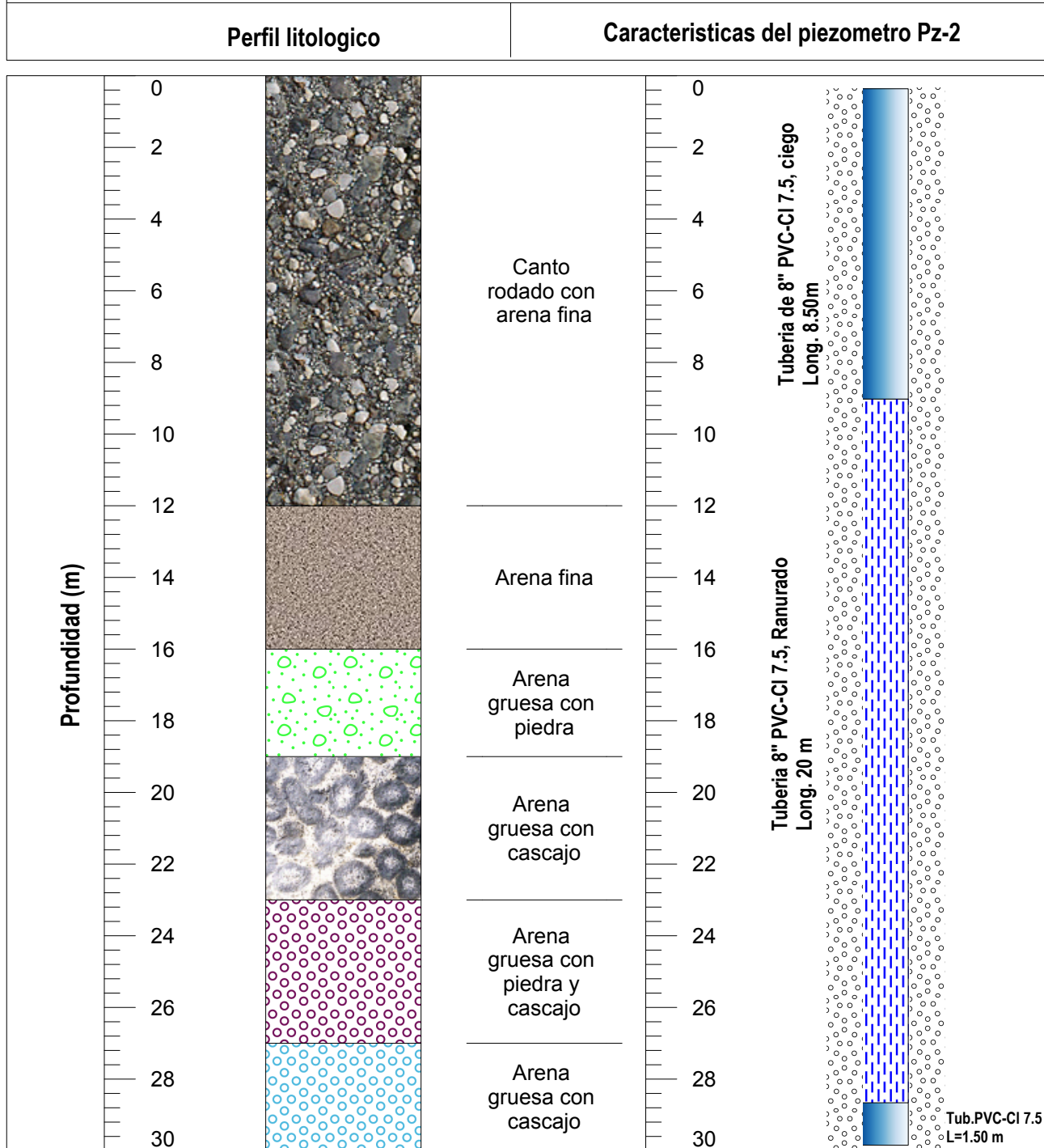
Figura 2.10 Perfil litológico del piezómetro Pz-2



Universidad Nacional Agraria La Molina  
Facultad de Ingeniería Agrícola

**"Evaluación hidrogeológica del acuífero del río Casma - Sector San Rafael"**

PERFIL LITOLÓGICO DEL PIEZÓMETRO Pz-2



Zona: San Rafael  
Distrito: San Rafael  
Provincia: Casma  
Departamento: Ancash

Coordenadas UTM - Zona 17  
UTM E807062m, N8941303m  
Datum: WGS-84



Figura 2.11 Perfil litológico del piezómetro Pz-4

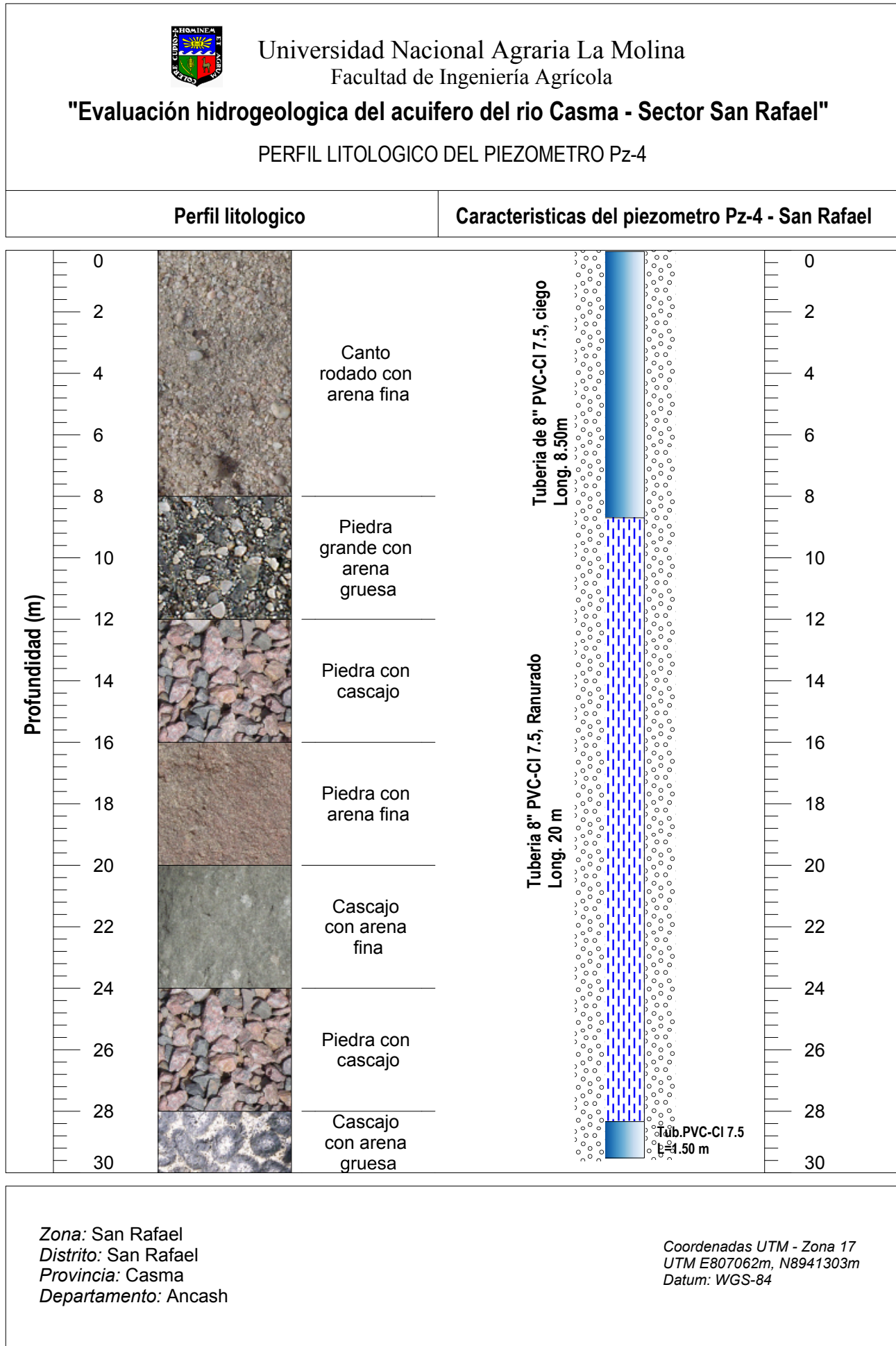




Figura 2.12 Análisis de la prueba de bombeo Pozo P-2 - Recuperación

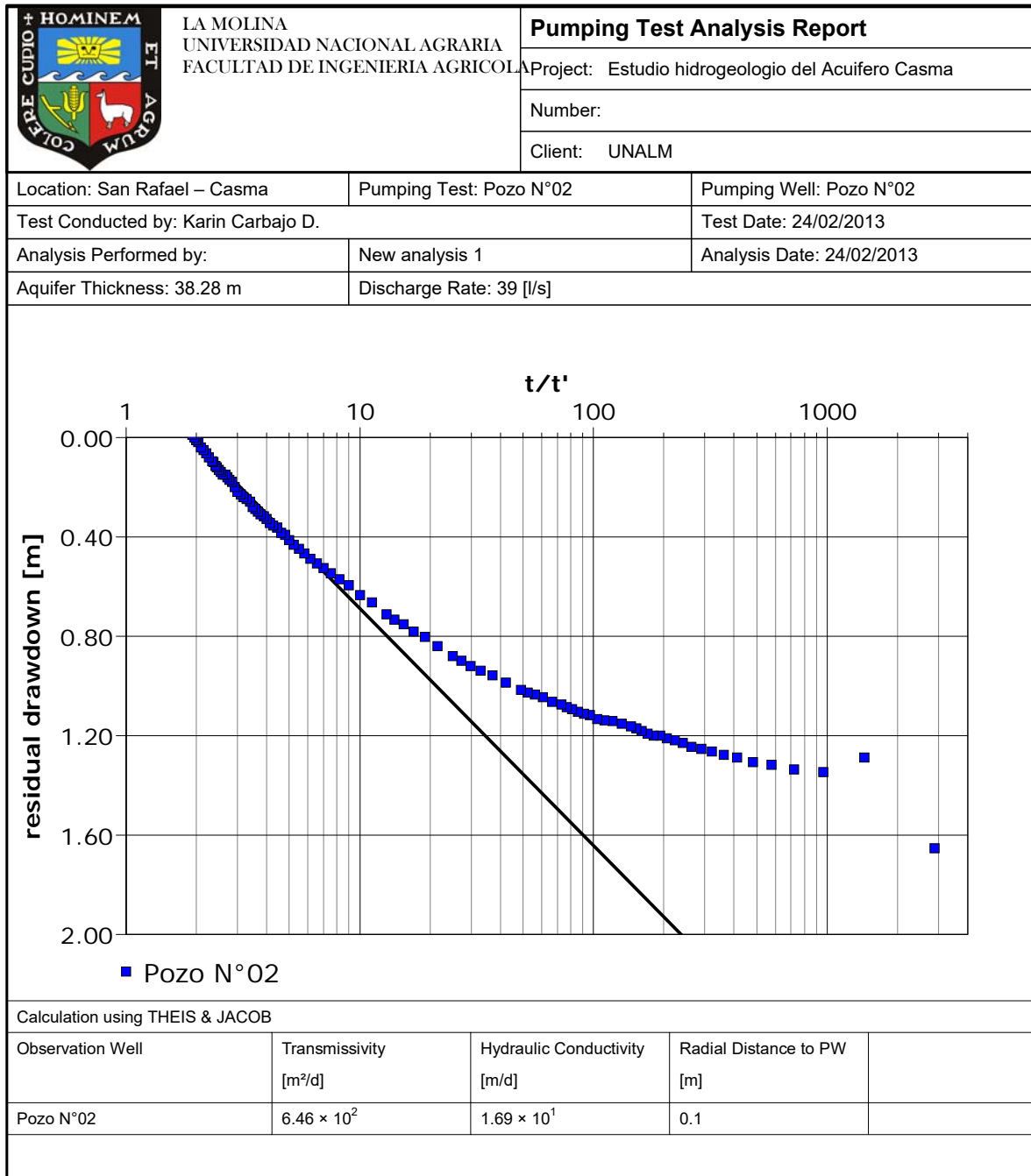


Figura 2.13 Análisis de la prueba de bombeo Pozo P-4 - Recuperación

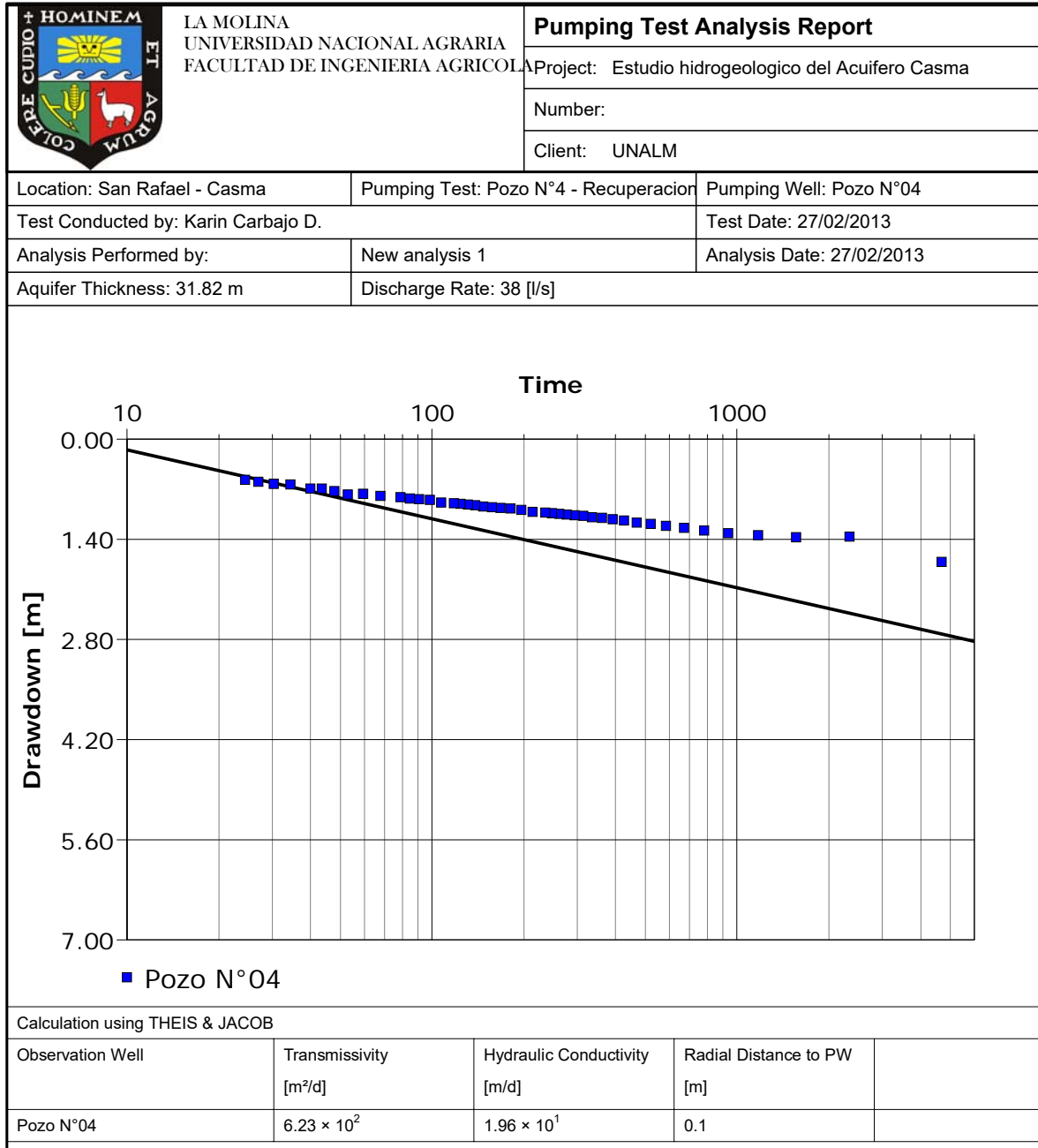


Figura 2.14 Análisis Prueba de bombeo pozo P-4 - pozo de obs. IRHS 27

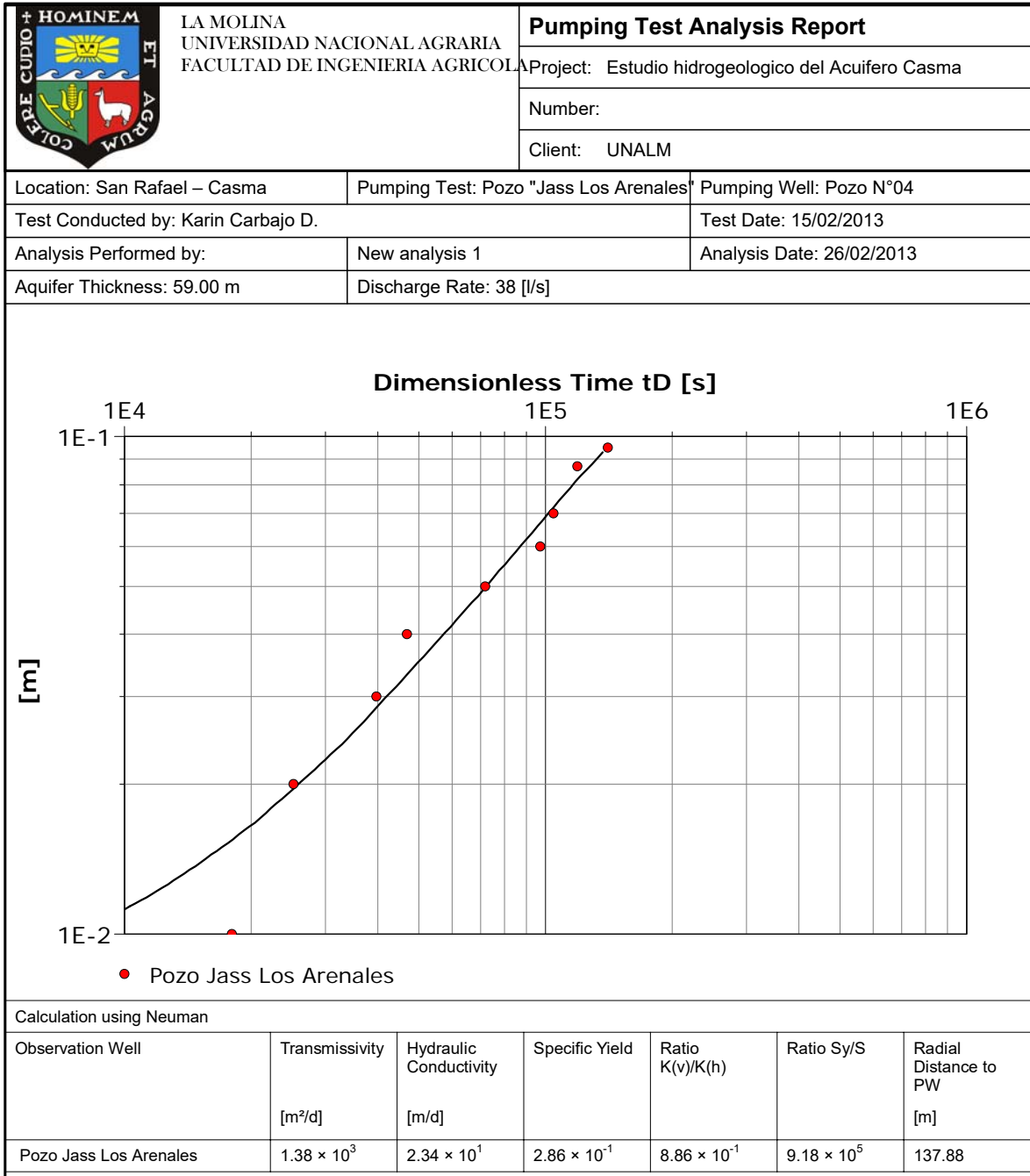
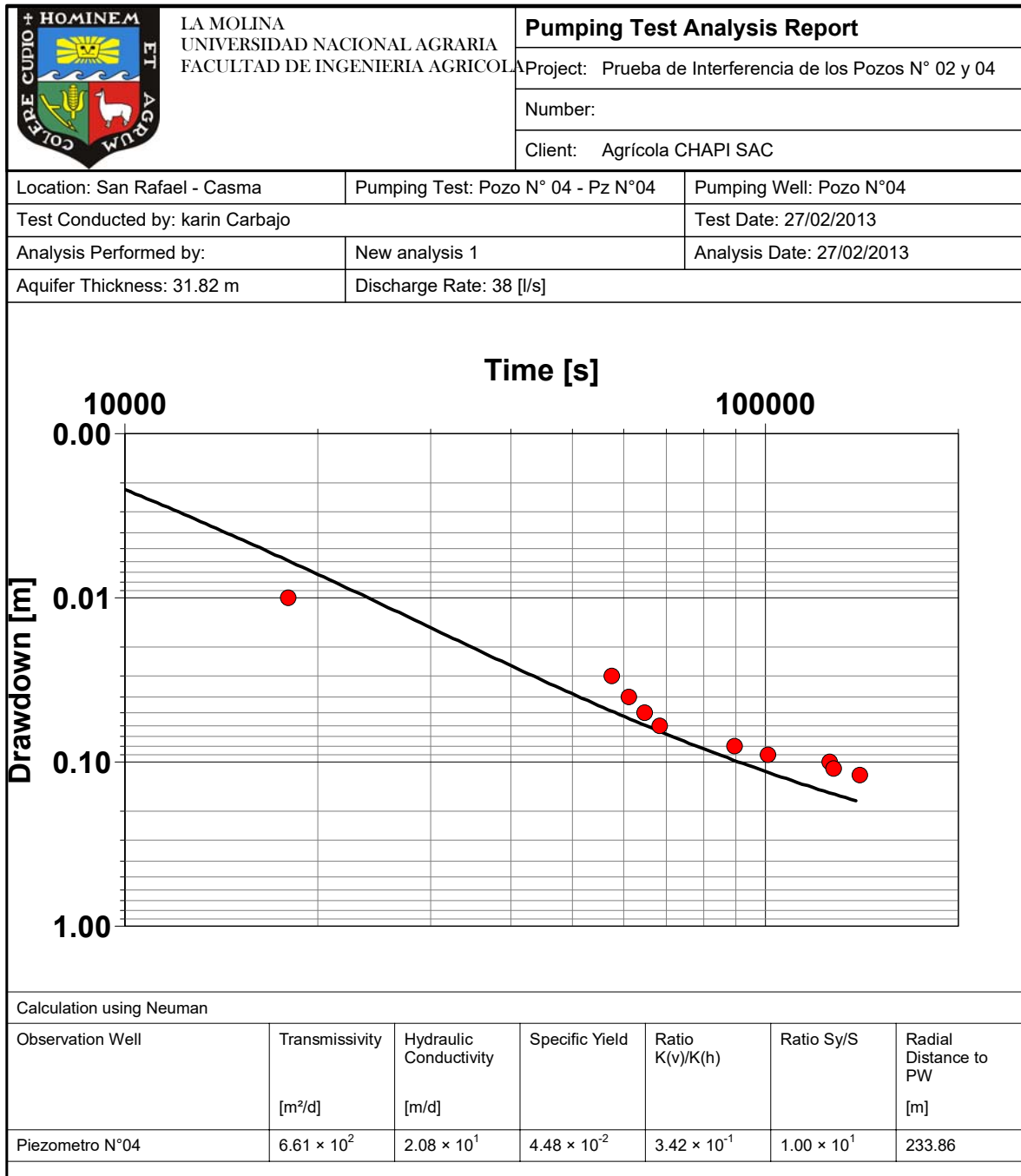
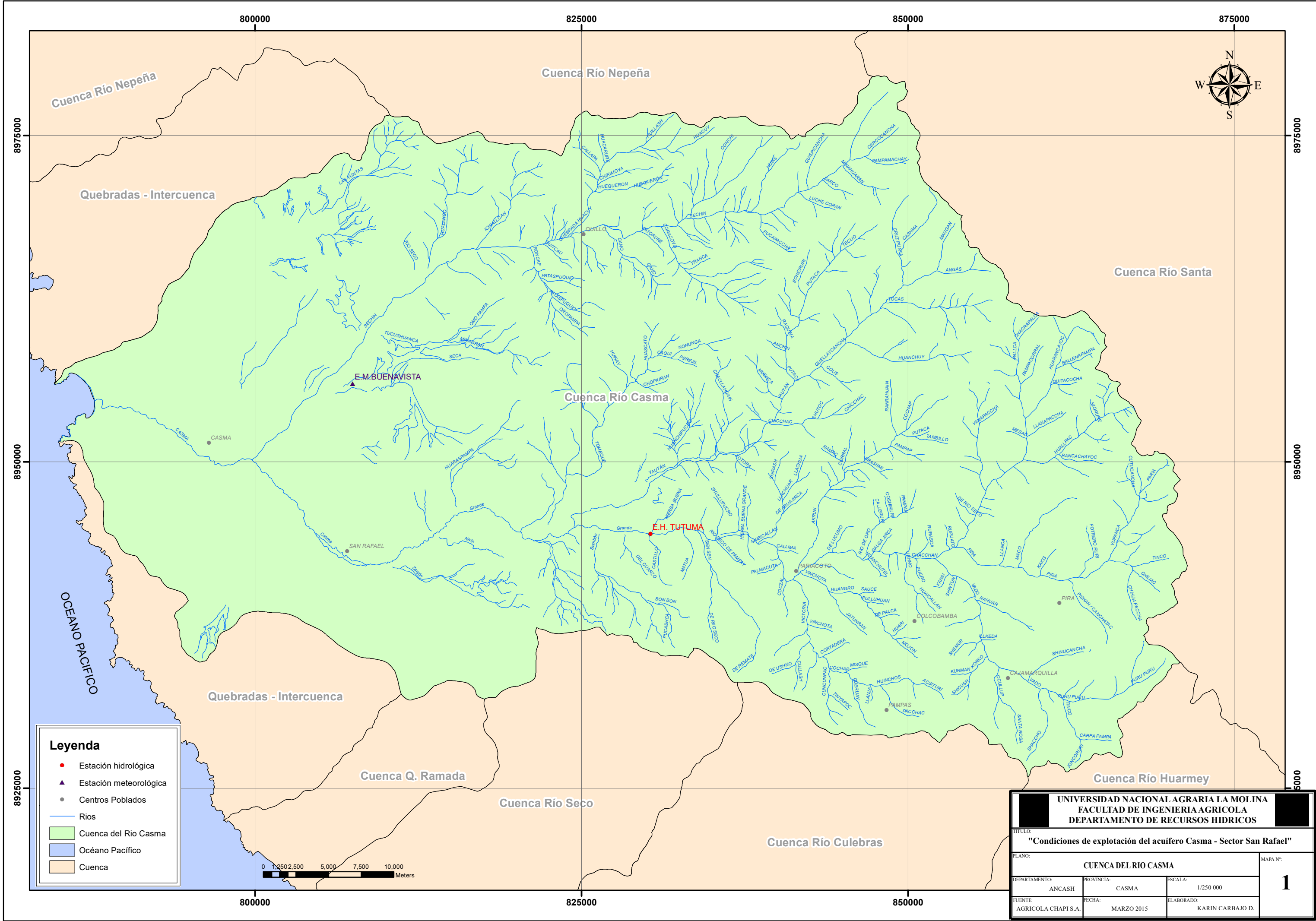


Figura 2.15 Analisis de la prueba de bombeo pozo P-4 - Pz-04

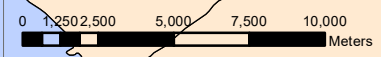


**ANEXO 3**

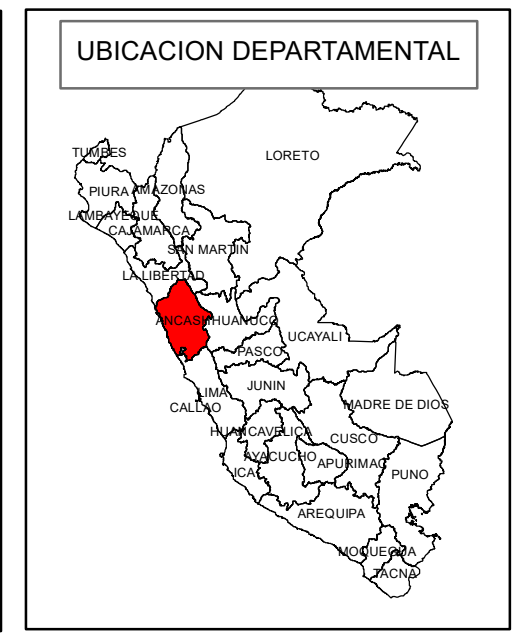
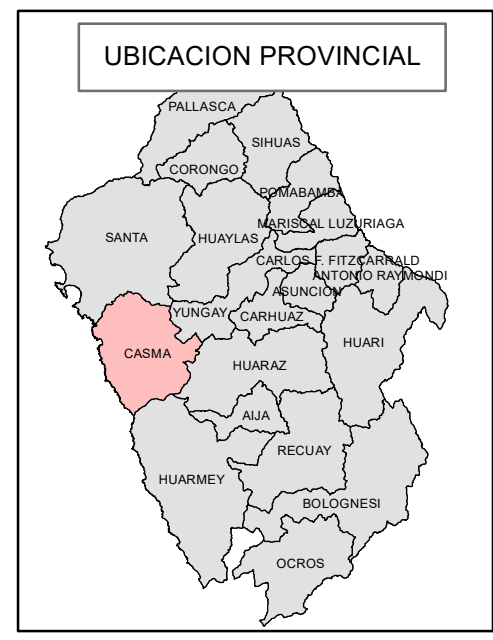
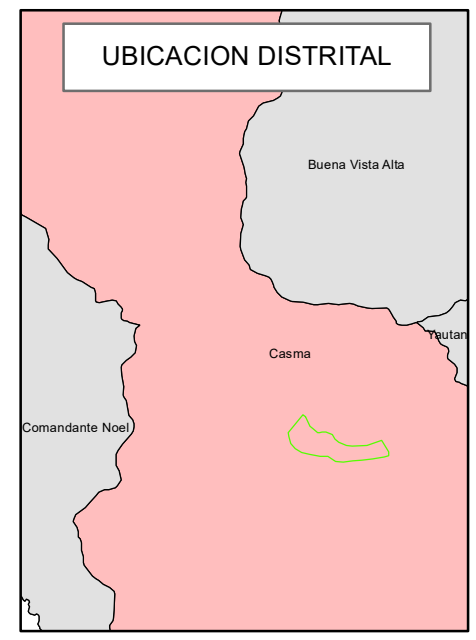
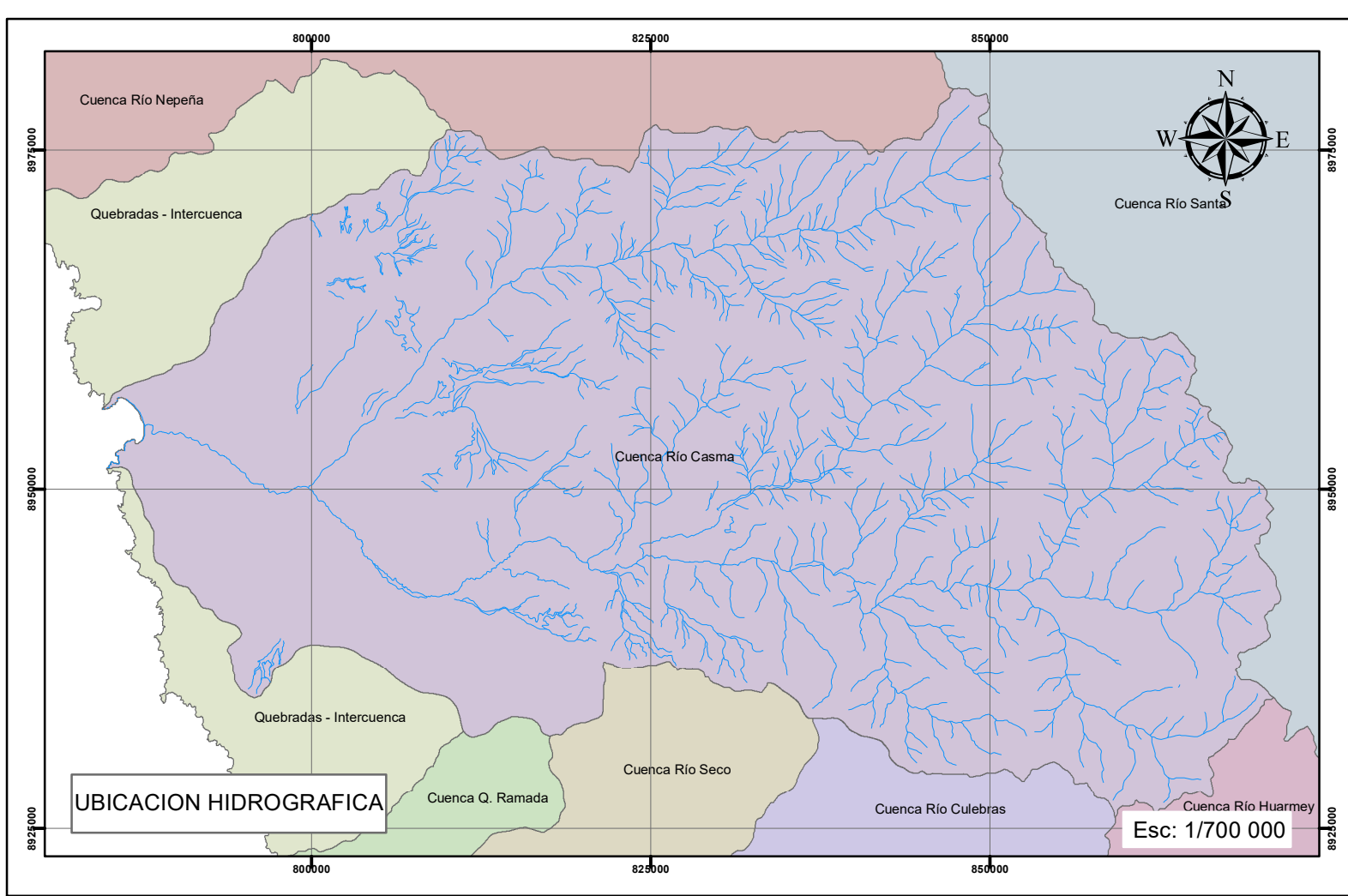
**PLANOS**



- Leyenda**
- Estación hidrológica
  - ▲ Estación meteorológica
  - Centros Poblados
  - Ríos
  - Cuenca del Río Casma
  - Océano Pacífico
  - Cuenca



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b>			
<b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>			
TITULO:			
<b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO:			
<b>CUENCA DEL RIO CASMA</b>			
MAPA N°:			
<b>1</b>			
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:	
ANCASH	CASMA	1/250 000	
FUENTE:	FECHA:	ELABORADO:	
AGRICOLA CHAPI S.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAJO D.	

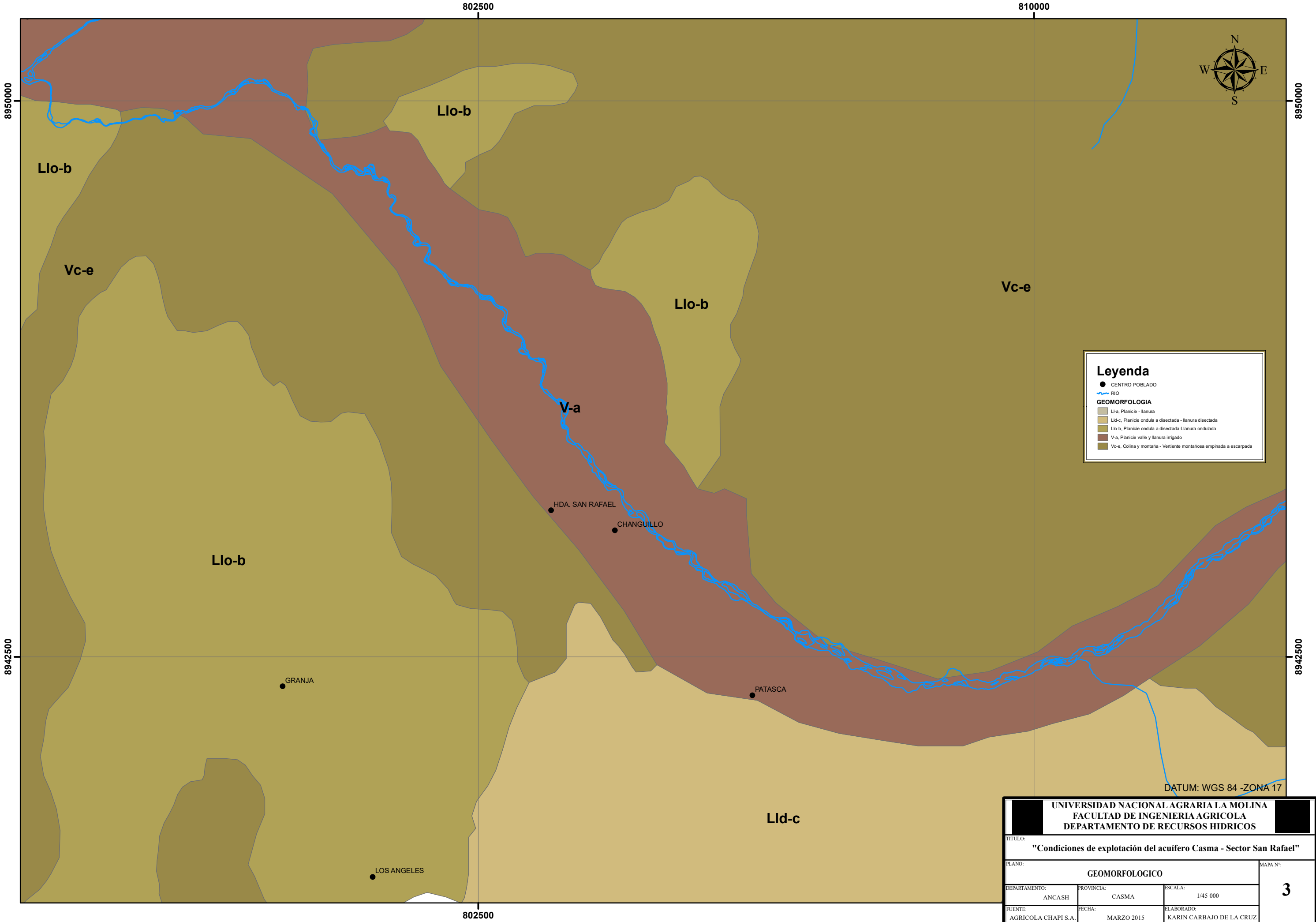


**Leyenda**

- Zonas
- ⊕ Area de proyecto
- Límite distrital

<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b>  <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b></p>			
<p>TITULO:  <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b></p>			
<p>PLANO:  <b>UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO</b></p>			<p>MAPA N°:  <b>2</b></p>
<p>DEPARTAMENTO:          ANCASH</p>	<p>PROVINCIA:          CASMA</p>	<p>ESCALA:          INDICADA</p>	
<p>FUENTE:          AGRICOLA CHAPI S.A.</p>	<p>FECHA:          MARZO 2015</p>	<p>ELABORADO:          KARIN CARBAJO DE LA CRUZ</p>	





**Leyenda**

- CENTRO POBLADO
- RÍO

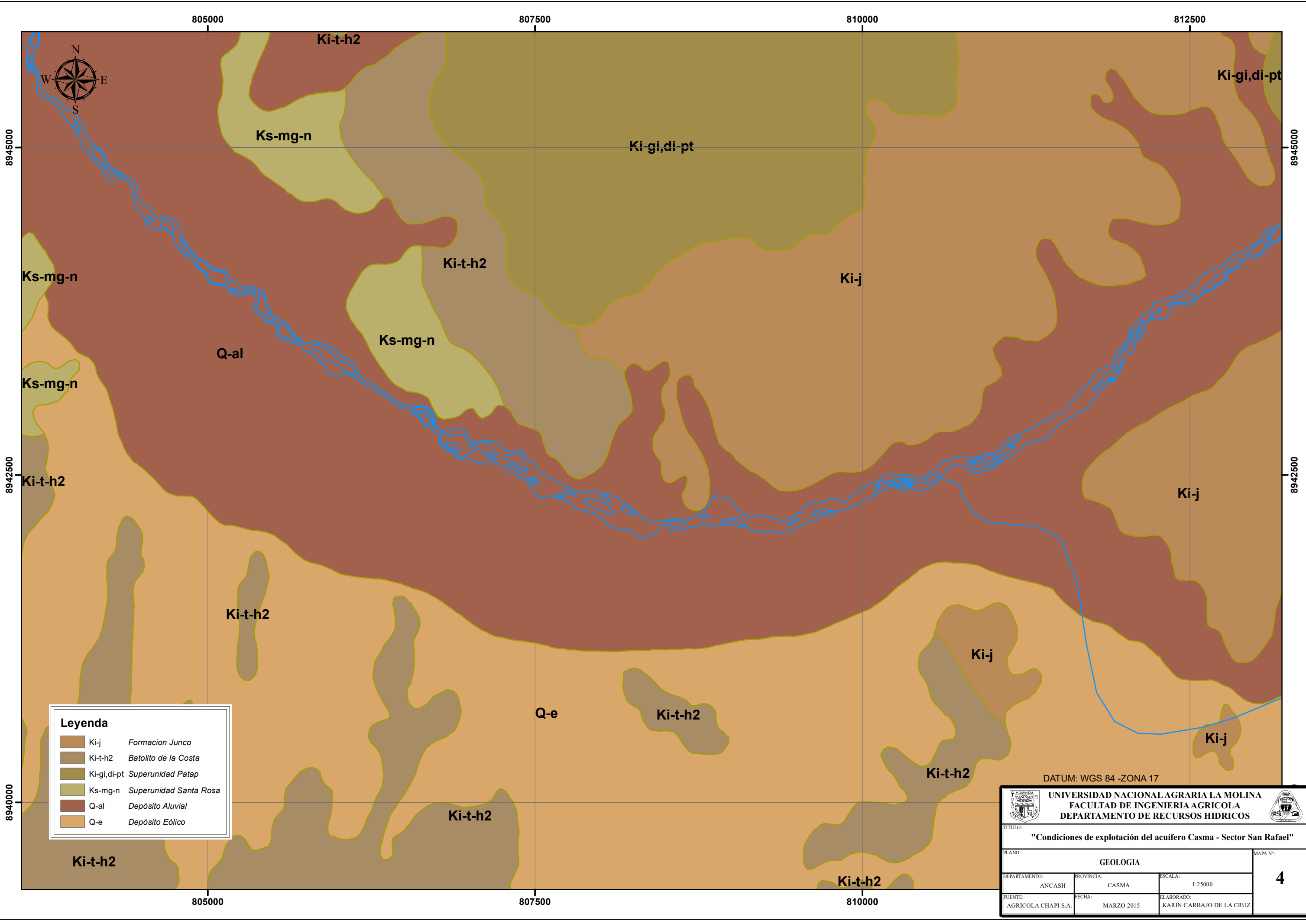
**GEOMORFOLOGIA**

- Llo-b, Planicie - llanura
- Lld-c, Planicie ondulada a disectada - llanura disectada
- Llo-b, Planicie ondulada a disectada-Llanura ondulada
- V-a, Planicie valle y llanura irrigado
- Vc-e, Colina y montaña - Vertiente montañosa empinada a escarpada

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b>			
<b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>			
TITULO:		<b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>	
PLANO:		<b>GEOMORFOLOGICO</b>	
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:	<b>3</b>
ANCASH	CASMA	1/45 000	
FUENTE:	FECHA:	ELABORADO:	
AGRICOLA CHAPI S.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	

DATUM: WGS 84 -ZONA 17



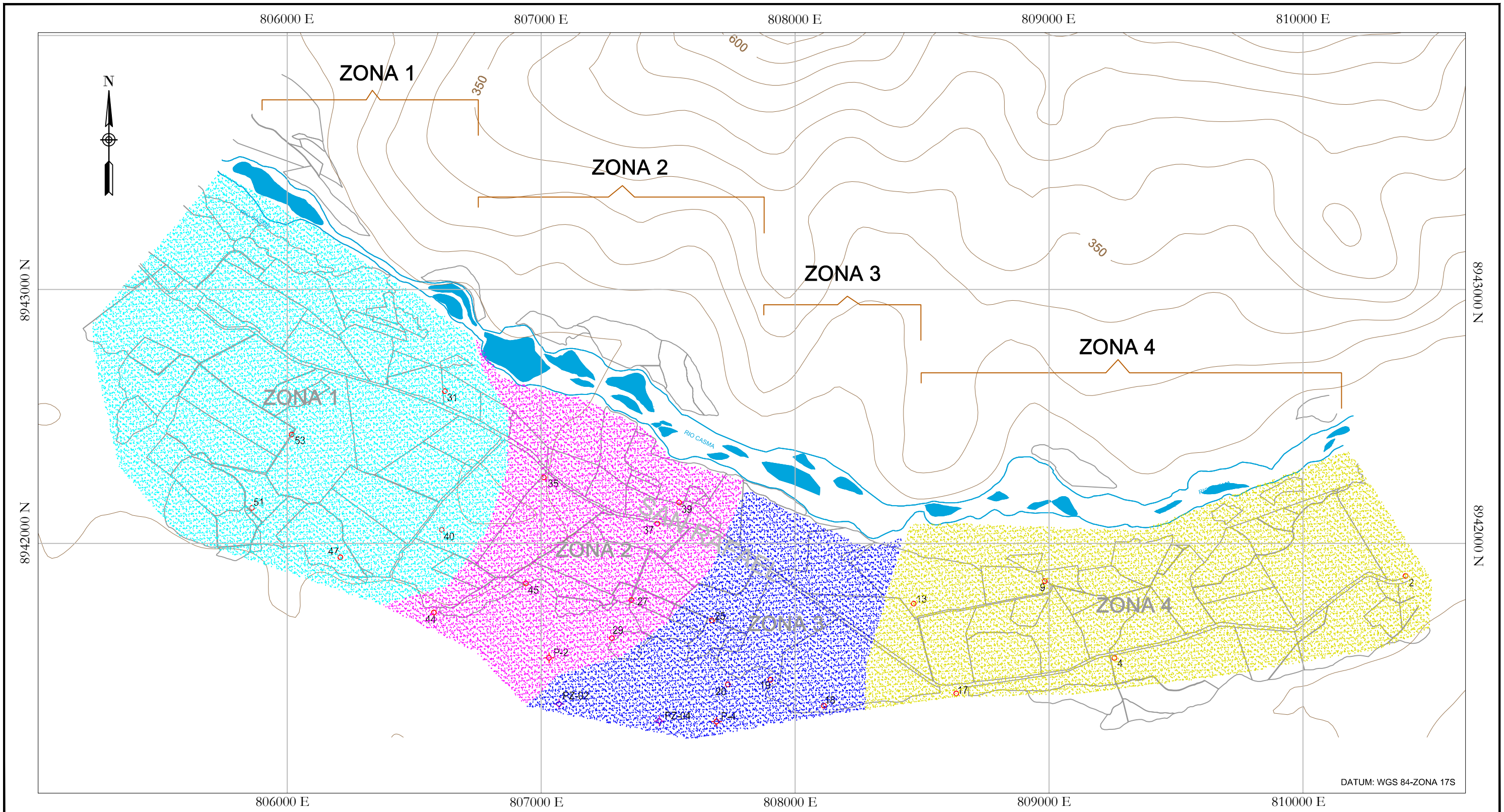


**Leyenda**

	Ki-j	Formación Junco
	Ki-t-h2	Batolito de la Costa
	Ki-gi,di-pt	Superunidad Patap
	Ks-mg-n	Superunidad Santa Rosa
	Q-al	Depósito Aluvial
	Q-e	Depósito Eólico

DATUM: WGS 84 -ZONA 17

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b> <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>		
<b>TITULO:</b> <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>		
<b>PLANO:</b> <b>GEOLOGIA</b>		<b>MAPA N°:</b> <b>4</b>
<b>DEPARTAMENTO:</b> ANCASH	<b>PROVINCIA:</b> CASMA	<b>ESCALA:</b> 1:25000
<b>FUENTE:</b> AGRICOLA CHAPI S.A.	<b>FECHA:</b> MARZO 2015	<b>ELABORADO:</b> KARIN CARBAJO DE LA CRUZ

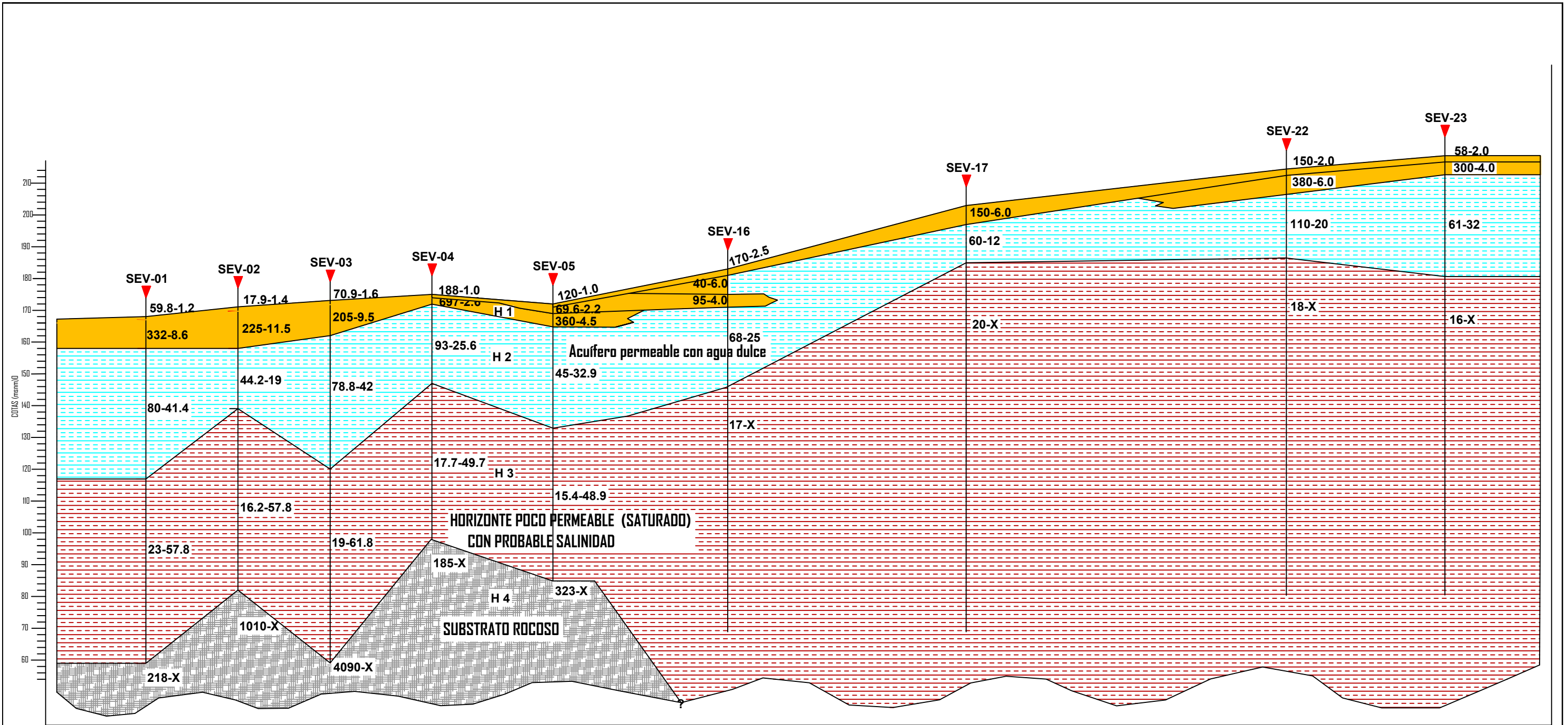


DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

2	Pozos a tajo abierto		Cauce de rio
PZ-02	Pozos tubulares		Zona 1
PZ-04	Piezometros		Zona 2
	Curvas topográficas		Zona 3
	Parcelas		Zona 4

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: "Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO: ZONA I, II, III y IV DEL ACUIFERO CASMA - SECTOR SAN RAFAEL			MAPEO N°: <b>5</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:15000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	

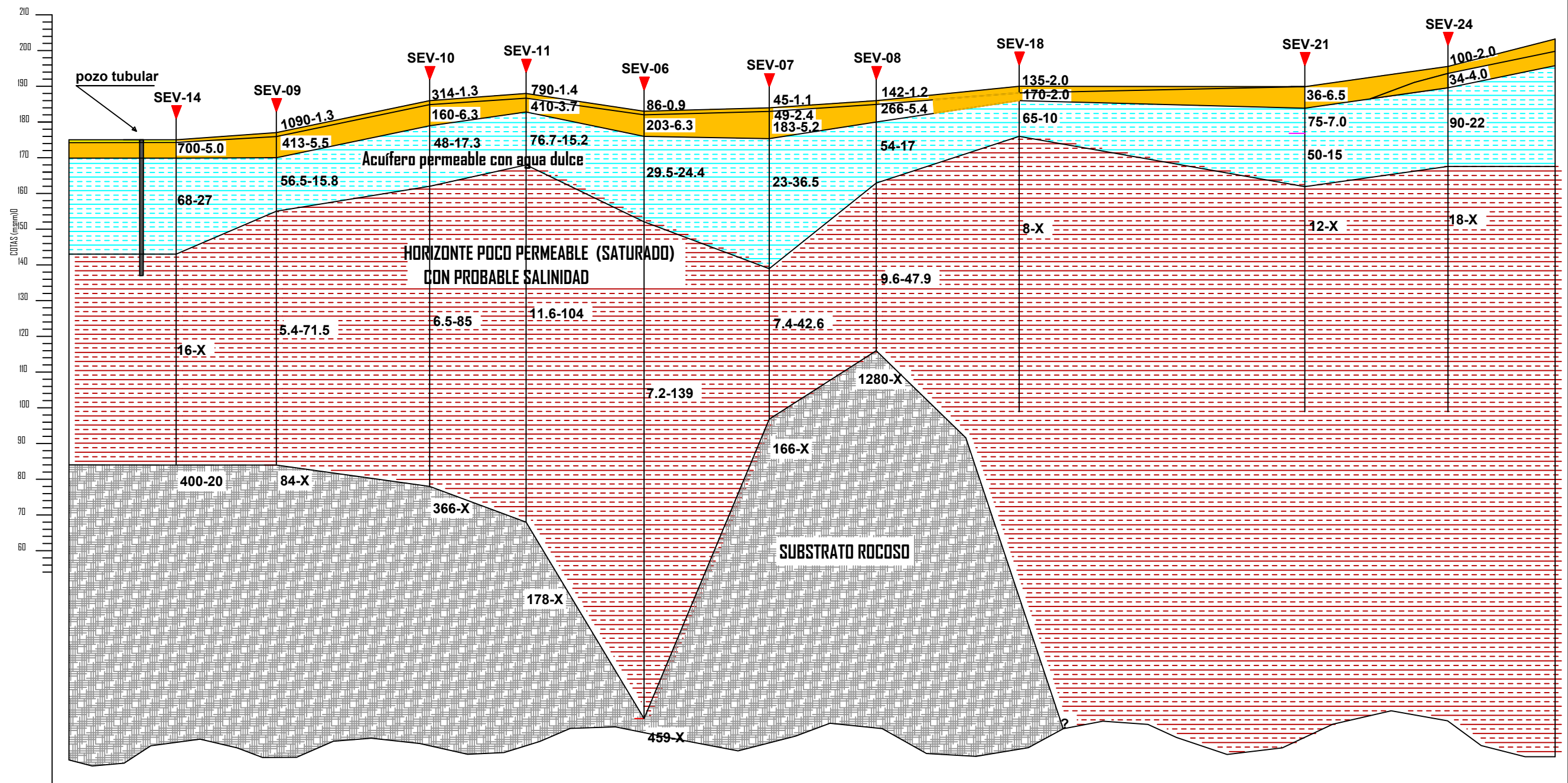


**SIMBOLOGIA**  
 ▼ : Sondaje Electrico Vertical  
 20.6 - 19.5 : Resistividad - Espesor

**LEYENDA**  
 H 1 : Clastos de mediana a muy alta permeabilidad en estado seco.  
 H 2 : Clastos de alta permeabilidad acuífero a partir del nivel estatico.  
 H 3 : Clastos de baja a mediana permeabilidad saturados.  
 H 4 : Substrato rocoso.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO "Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO <b>SECCION GEOELECTRICA A-A'</b>			
DEPARTAMENTO ANCASH	PROVINCIA CASMA	ESCALA 1:1250	<b>6</b>
FUENTE AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA MARZO 2015	ELABORADO KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	





**SIMBOLOGIA**

▼ : Sondaje Electrico Vertical

20.6 - 19.5 : Resistividad - Espesor



**LEYENDA**

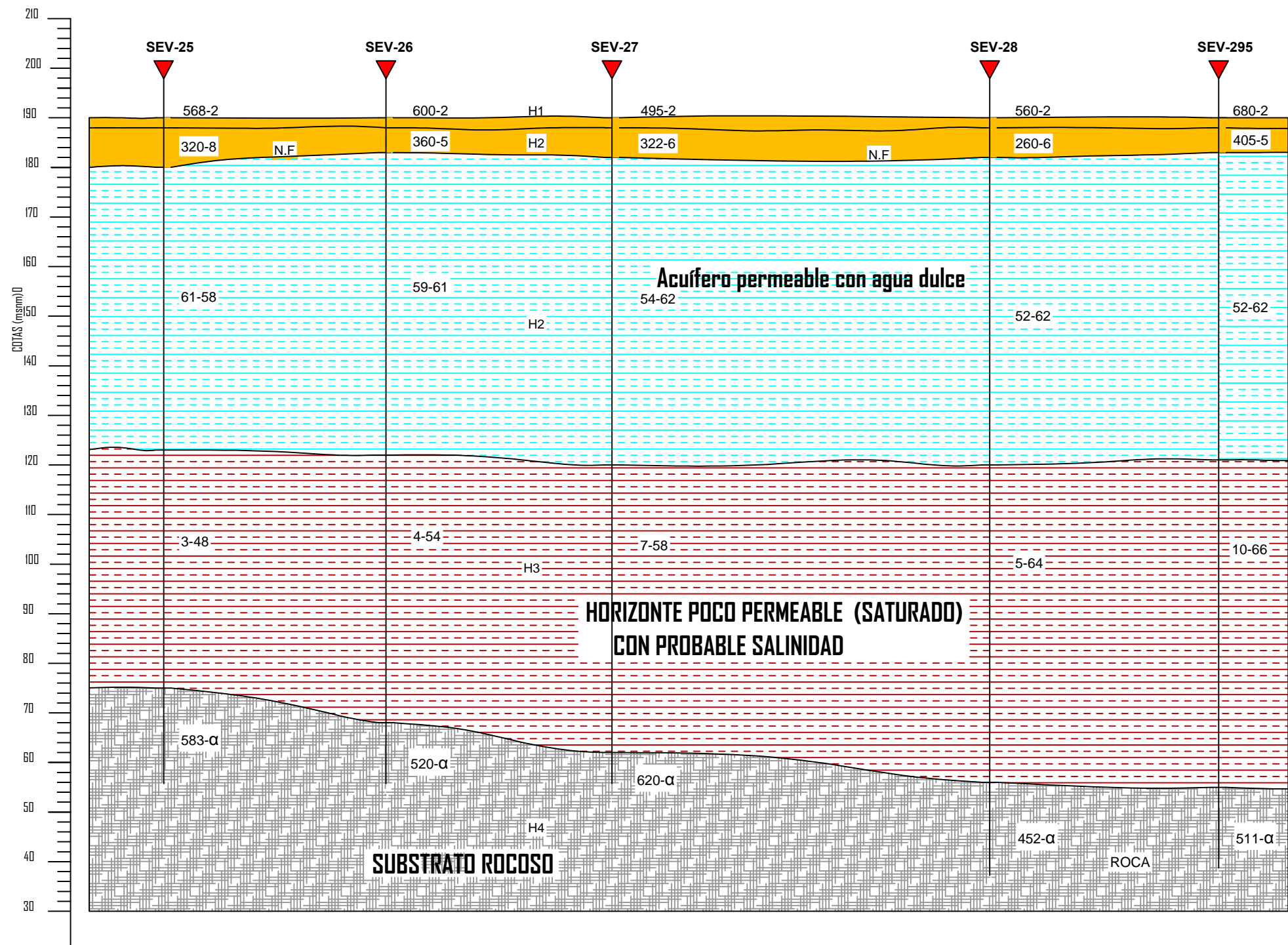
H 1 : Clastos de mediana a muy alta permeabilidad en estado seco.

H 2 : Clastos de alta permeabilidad acuifero a partir del nivel estatico.

H 3 : Clastos de baja a mediana permeabilidad saturados.

H 4 : Substrato rocoso.

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO "Condiciones de explotacion del acuifero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO <b>SECCION GEOELECTRICA B-B'</b>			NÚMERO <b>7</b>
DEPARTAMENTO ANCASH	PROVINCIA CA SMA	ESCALA 1:1 250	
FUENTE AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA MARZO 2015	ELABORADO KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	



**SIMBOLOGIA**  
 ▼ : Sondaje Electrico Vertical  
 20.6 - 19.5 : Resistividad - Espesor

**LEYENDA**

- H 1 : Clastos de mediana a muy alta permeabilidad en estado seco.
- H 2 : Clastos de alta permeabilidad acuífero a partir del nivel estatico.
- H 3 : Clastos de baja a mediana permeabilidad saturados.
- H 4 : Substrato rocoso.



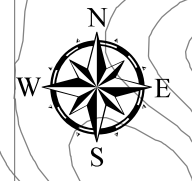
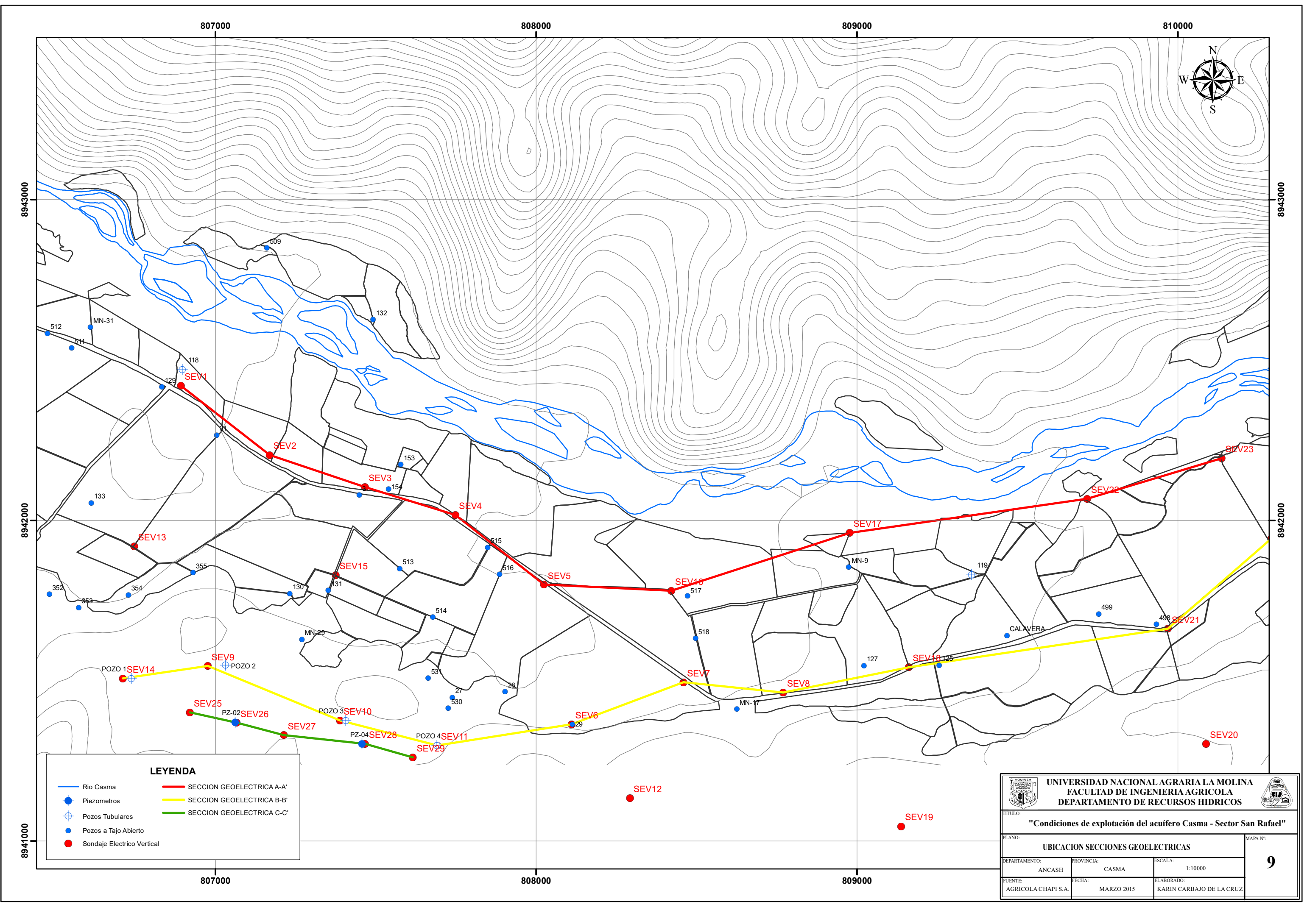
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA  
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS



TITULO  
 "Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"

PLANO  
 SECCION GEOELECTRICA C-C'

DEPARTAMENTO ANCASH	PROVINCIA CASMA	ESCALA 1:1000
FUENTE AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA MARZO 2015	ELABORADO KARIN CARBAJO DE LA CRUZ

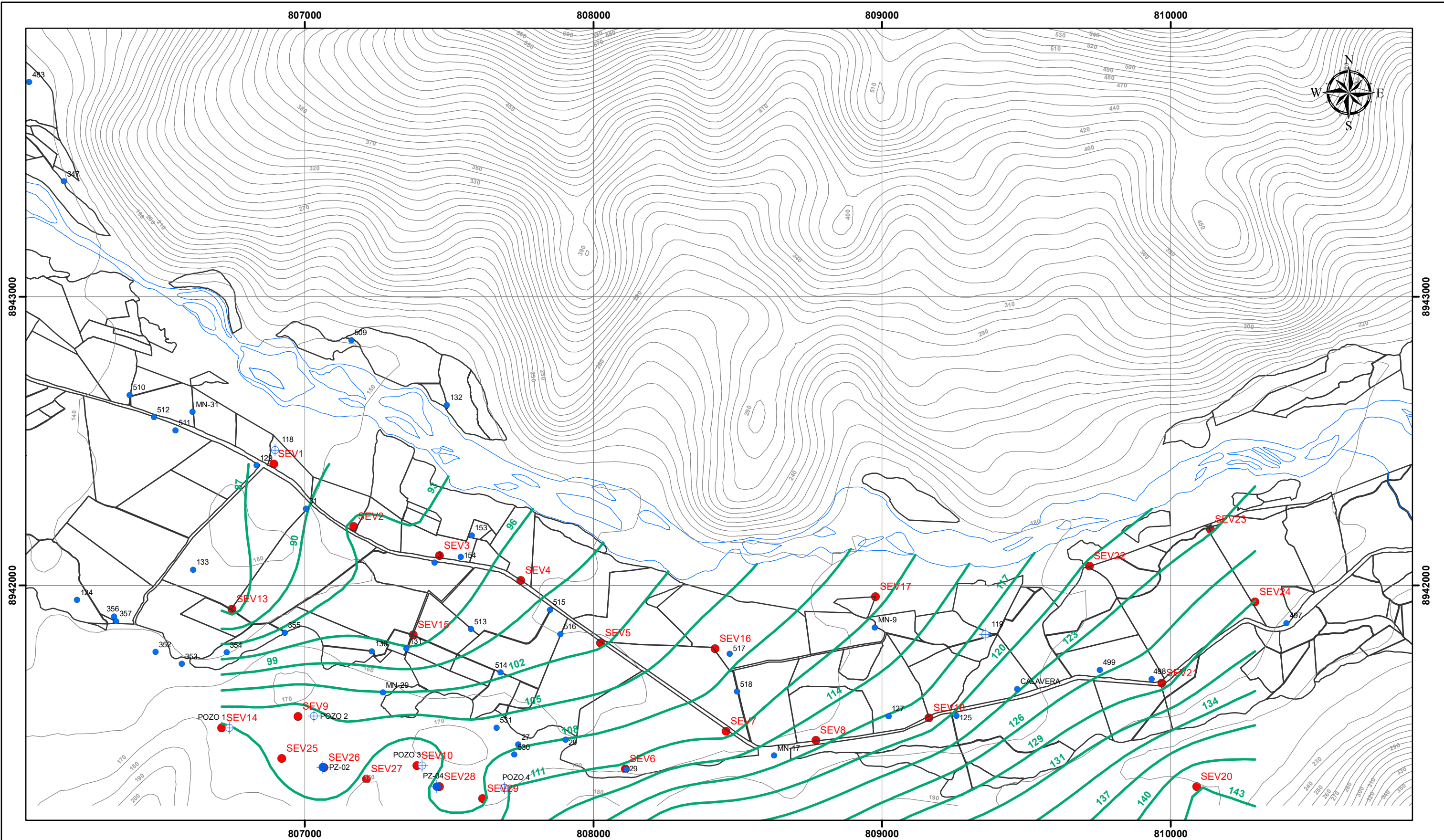


**LEYENDA**

- Rio Casma
- Piezómetros
- ⊕ Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Sondaje Eléctrico Vertical
- SECCION GEOELECTRICA A-A'
- SECCION GEOELECTRICA B-B'
- SECCION GEOELECTRICA C-C'

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b> <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>		
TITULO: <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>		
PLANO: <b>UBICACION SECCIONES GEOELECTRICAS</b>		MAPA N°: <b>9</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:10000
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



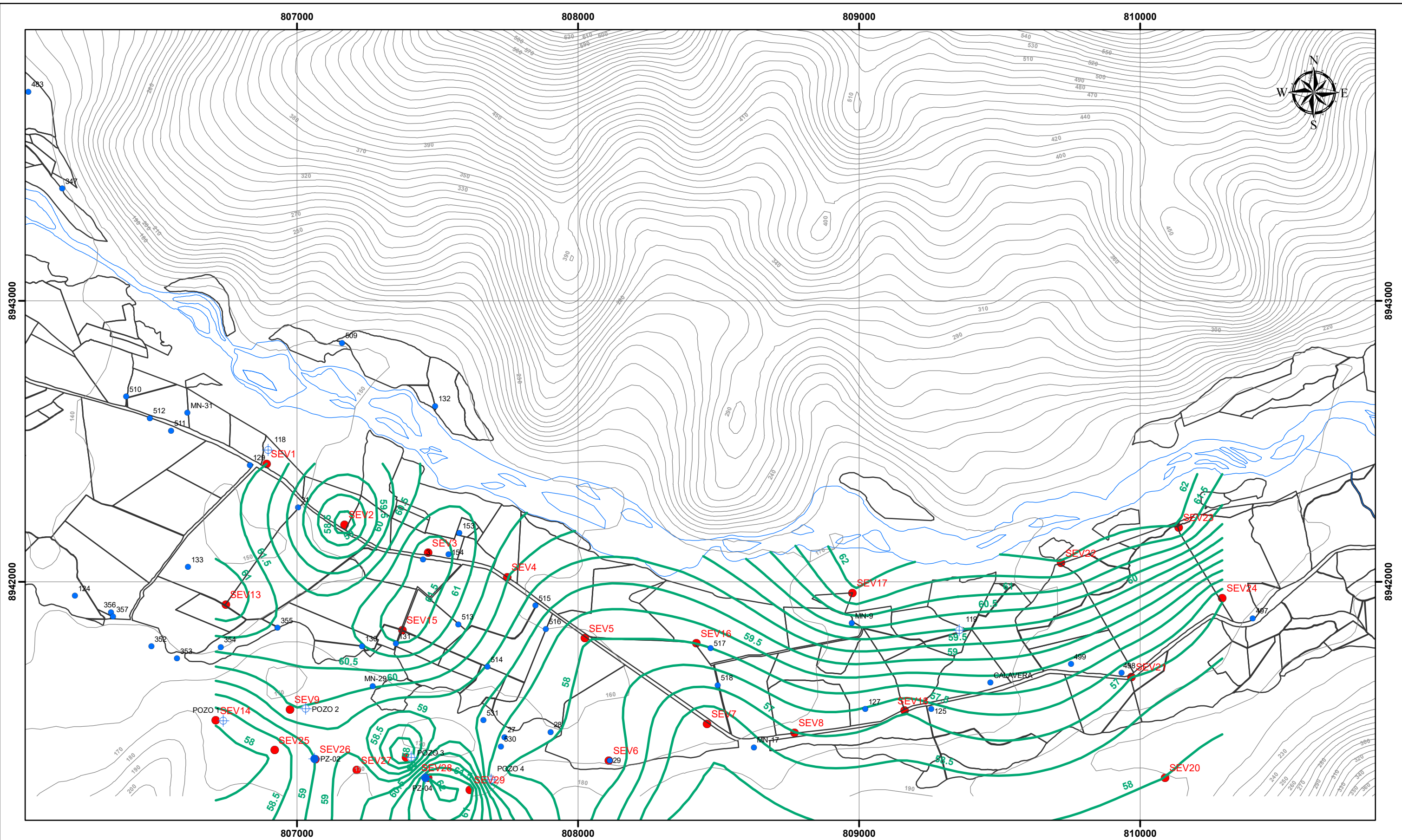


**LEYENDA**

- Rio Casma
- Isobatas (m)
- Piezometros
- ⊕ Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Sondaje Electrico Vertical

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS		
<b>TITULO:</b> "Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"		
<b>PLANO:</b> ISOBATAS		<b>MAPA N°:</b> <span style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">10</span>
<b>DEPARTAMENTO:</b> ANCASH	<b>PROVINCIA:</b> CASMA	<b>ESCALA:</b> 1:12500
<b>FUENTE:</b> AGRICOLA CHAPI S.A.	<b>FECHA:</b> MARZO 2015	<b>ELABORADO:</b> KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



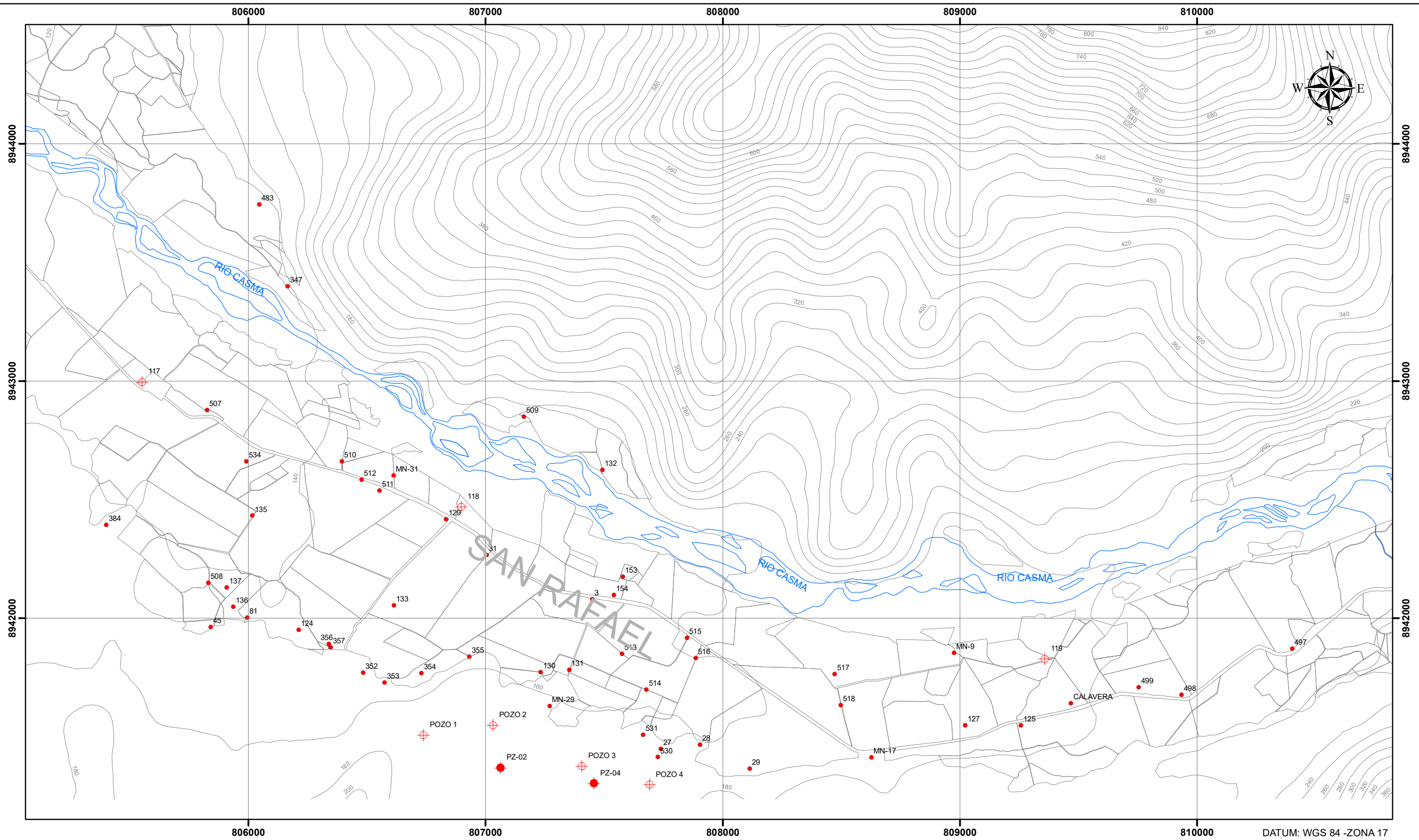


**LEYENDA**

- Rio Casma
- Isopacas (m)
- Piezometros
- ⊕ Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Sondaje Electrico Vertical

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS		
TITULO: <b>"Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>		
PLANO: <b>ISOPACAS</b>		MAPA N°: <b>11</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:12500
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ





DATUM: WGS 84 -ZONA 17

**LEYENDA**

- Piezometros
- ⊕ Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Curvas de nivel (m)
- Rio Casma

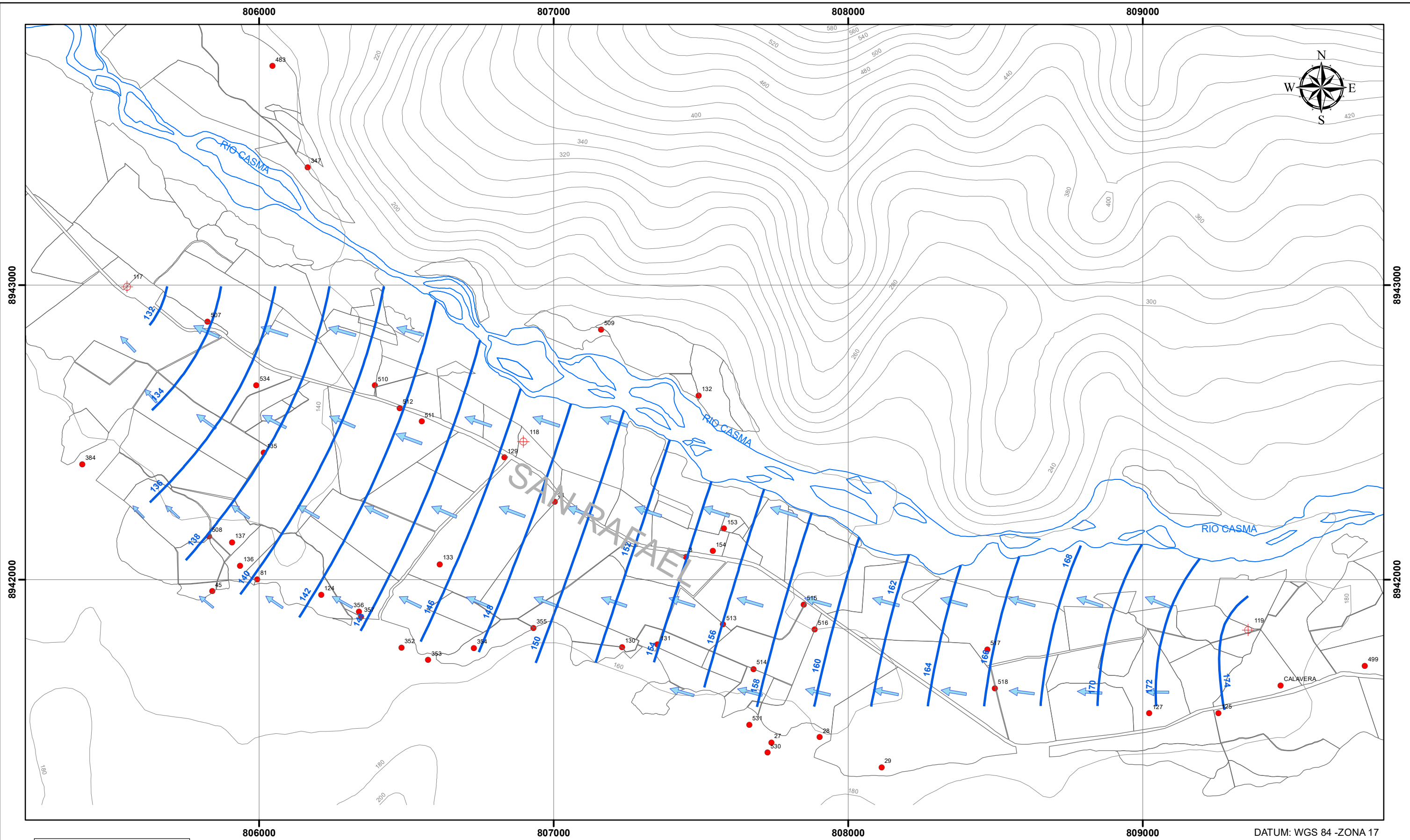
INVENTARIO DE FUENTES DE AGUAS SUBTERRANEA														
IRHS	ESTE	NORTE	IRHS	ESTE	NORTE	IRHS	ESTE	NORTE	IRHS	ESTE	NORTE	IRHS	ESTE	NORTE
497	810401	8941870	530	807726	8941414	510	806393	8942660	356	806339	8941892	384	805400	8942392
498	809934	8941676	513	807575	8941849	511	806552	8942538	357	806346	8941876	534	805991	8942661
499	809754	8941708	514	807678	8941698	512	806477	8942583	133	806613	8942054	117	805551	8942997
119	809357	8941830	515	807849	8941916	509	807161	8942850	124	806211	8941950	483	806045	8943744
125	809257	8941548	516	807886	8941832	118	806897	8942470	81	805994	8942002	347	806165	8943400
127	809022	8941547	531	807664	8941508	129	806833	8942416	45	805841	8941962	3	807449	8942079
517	808472	8941764	153	807578	8942174	31	807004	8942266	135	806016	8942432	CALAVERA	809468	8941641
518	808497	8941632	154	807540	8942098	352	806483	8941770	136	805936	8942048	POZO 2	807031	8941549
27	807739	8941448	130	807232	8941772	353	806574	8941728	137	805908	8942128	POZO 4	807691	8941298
28	807903	8941466	131	807352	8941781	354	806729	8941768	507	805825	8942877	POZO 1	806738	8941507
29	808113	8941364	132	807492	8942626	355	806931	8941837	508	805830	8942148	POZO 3	807406	8941376

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS**

TITULO: **"Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"**

PLANO: **INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA SUBTERRANEA** MAPA N°: **12**

DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:15 000
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



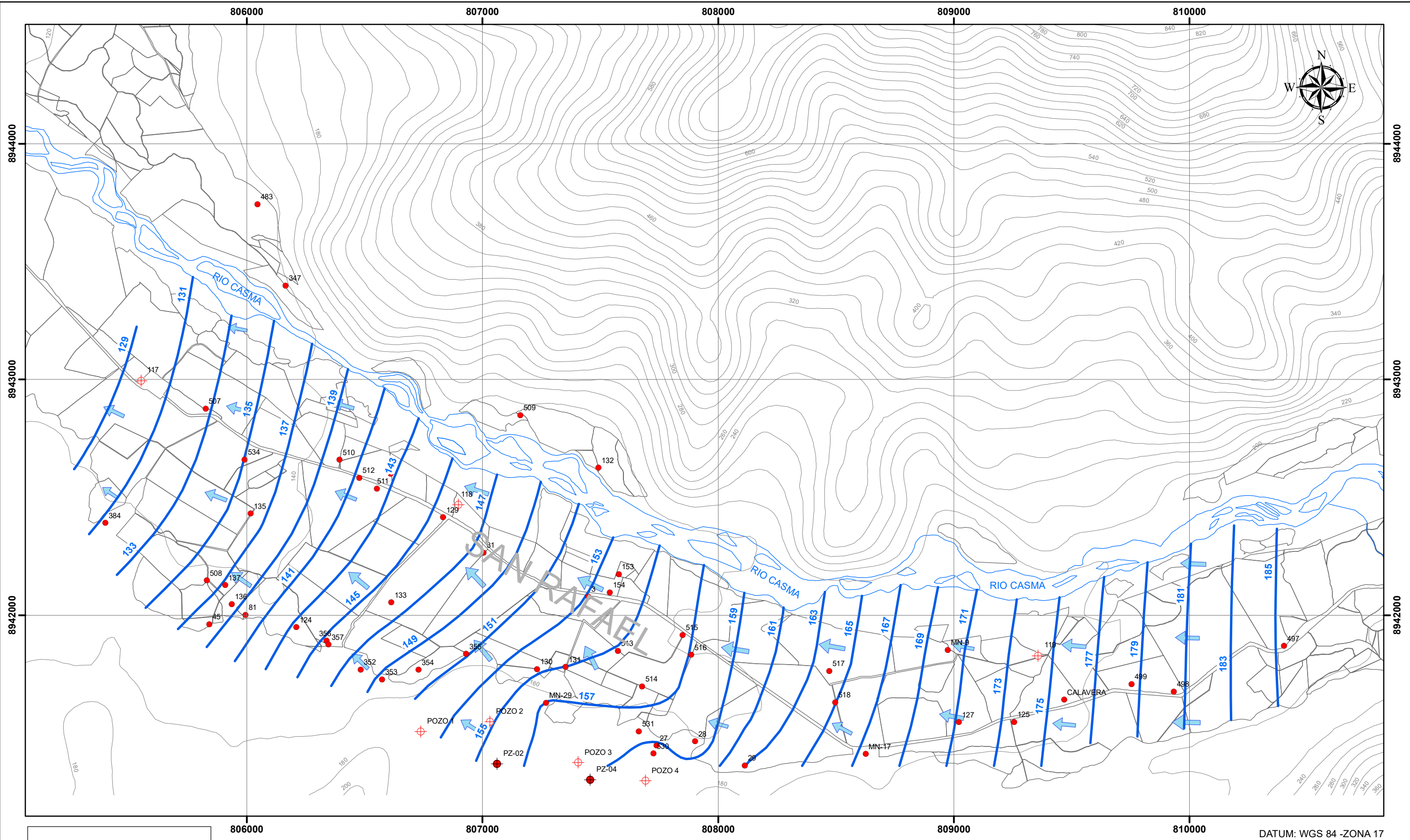
**LEYENDA**

- Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Curvas de nivel (m)
- Curvas Equipotenciales (m)
- Rio Casma
- Sentido de flujo

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: <b>"Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO: <b>HIDROISOHIPSAS (ABRIL 2008)</b>			MAPA N°: <b>13</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:14000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	

DATUM: WGS 84 -ZONA 17



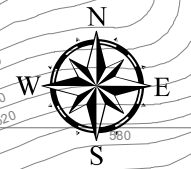
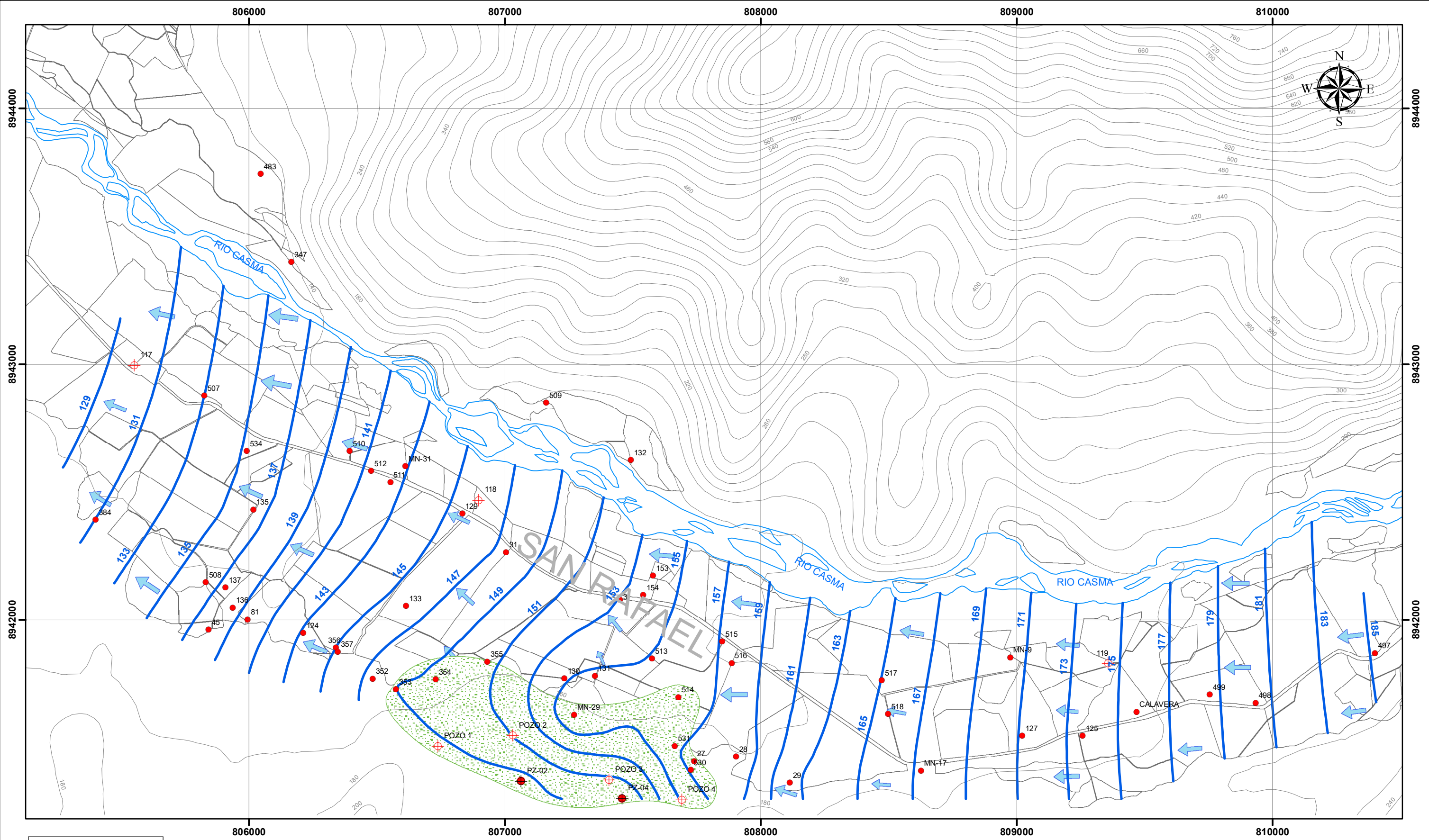


**LEYENDA**

- ◆ Piezómetros
- ⊕ Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Curvas Equipotenciales (m)
- Curvas de nivel (m)
- Rio Casma
- ↖ Sentido de flujo

DATUM: WGS 84 -ZONA 17

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO:			14
"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO:	HIDROISOHIPSAS (AGOSTO 2012)		
DEPARTAMENTO:	ANCASH	PROVINCIA:	
FUENTE:	AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA:	MARZO 2015
		ESCALA:	1:15000
		ELABORADO:	KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



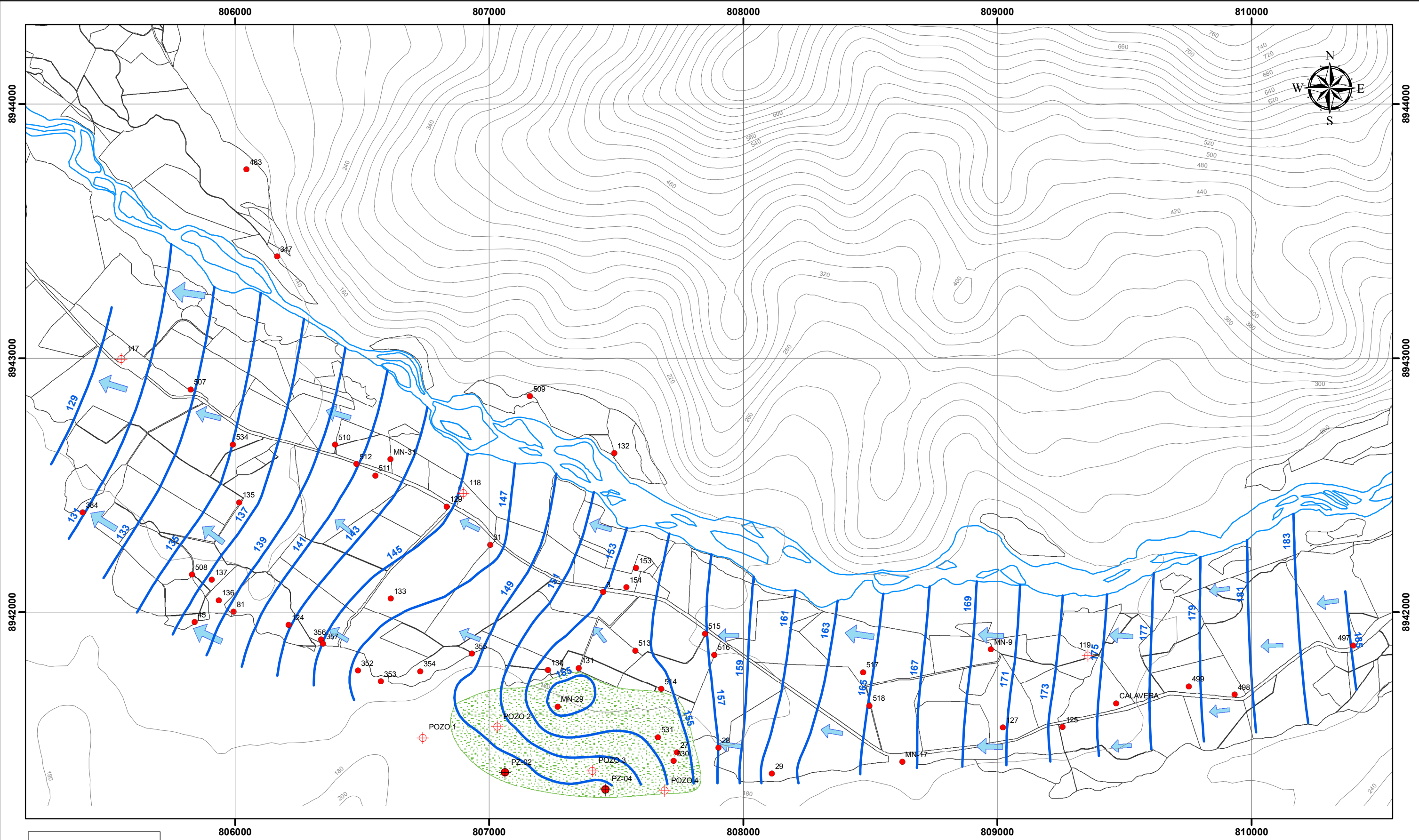
**LEYENDA**

- Piezómetros
- Pozos Tubulares
- Pozos a Tajo Abierto
- Curvas hidroisohipsas
- Rio Casma
- Curvas de nivel (m)
- Area Interferida (49.23 ha)
- Línea de flujo

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b> <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>			
<b>TITULO:</b> <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
<b>PLANO:</b> <b>HIDROISOHIPSAS (AGOSTO 2013)</b>		<b>MAPA N°:</b> <b>15</b>	
<b>DEPARTAMENTO:</b> ANCASH	<b>PROVINCIA:</b> CASMA	<b>ESCALA:</b> 1:14000	
<b>FUENTE:</b> AGRICOLA CHAPI S.A.	<b>FECHA:</b> MARZO 2015	<b>ELABORADO:</b> KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	

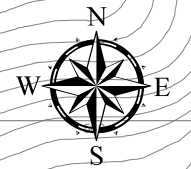
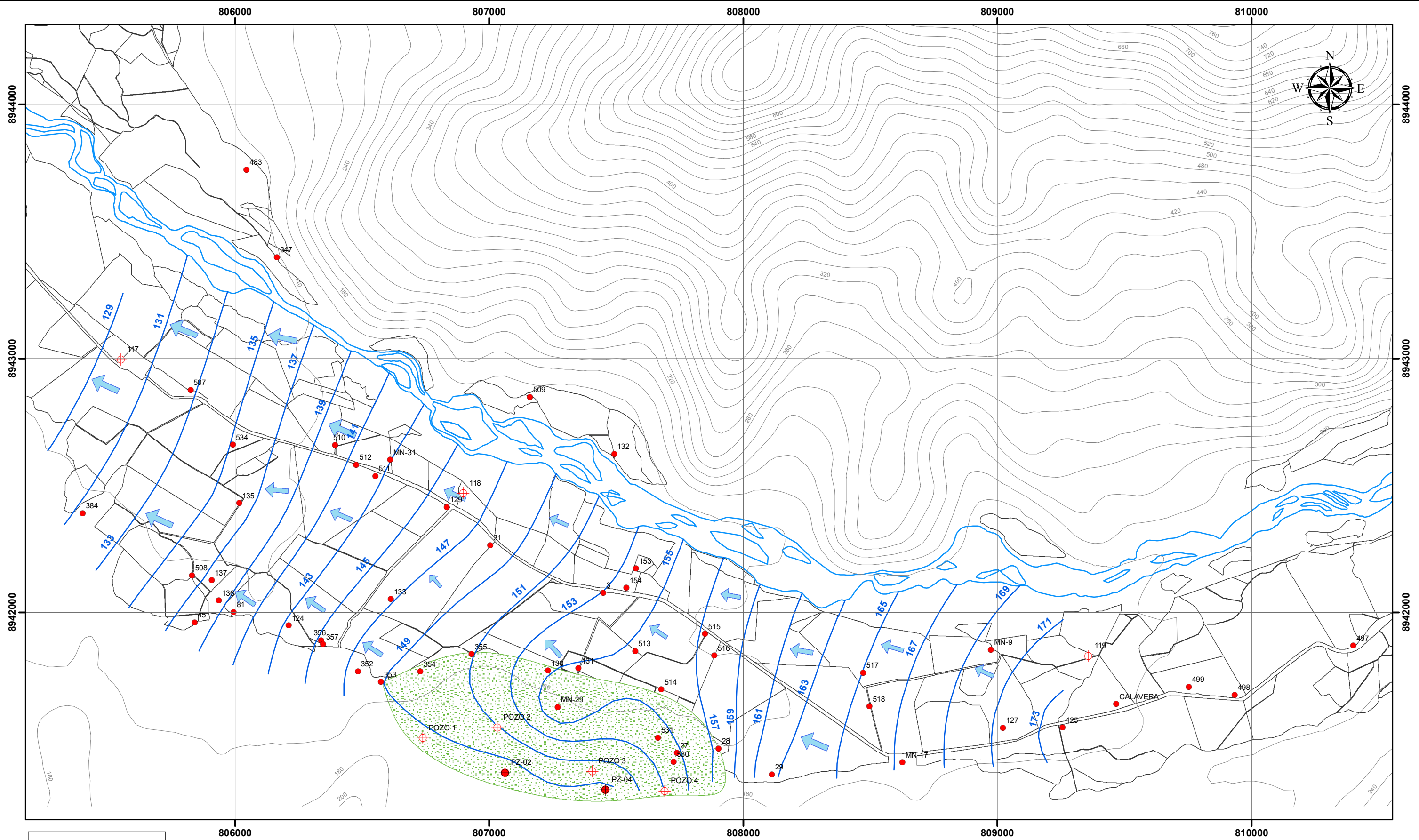
DATUM: WGS 84 -ZONA 17





- LEYENDA**
- Piezómetros
  - ⊕ Pozos Tubulares
  - Pozos a Tajo Abierto
  - Curvas hidroisohipsas
  - Río Casma
  - Curvas de nivel (m)
  - Área de influencia (37 ha)
  - Línea de flujo

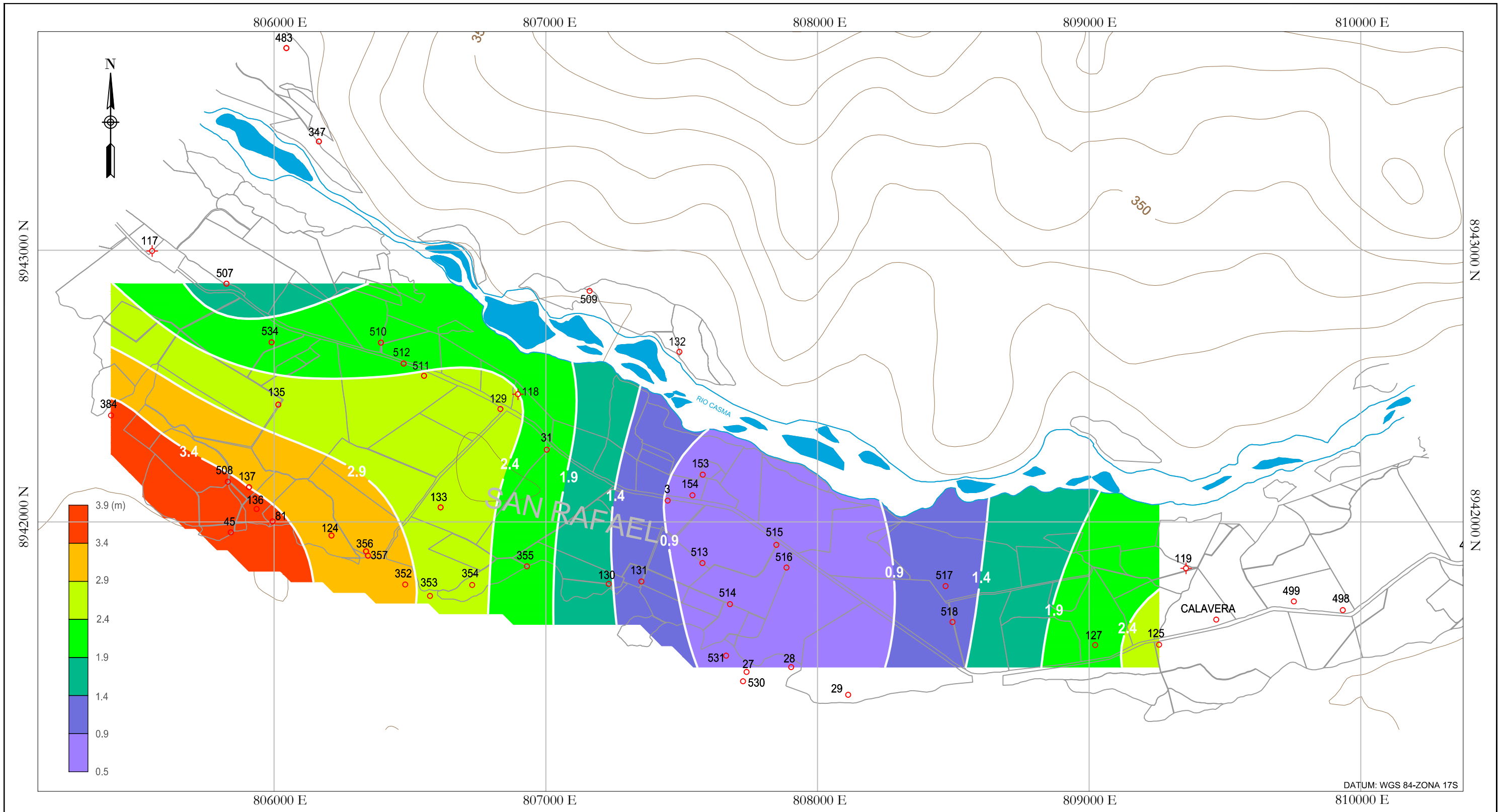
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b> <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>		
<b>TITULO:</b> <b>"Condiciones de explotación del acuífero de Casma - Sector San Rafael"</b>		
<b>PLANO:</b> <b>HIDROISOHIPSAS (ENERO 2014)</b>		<b>MAPA N°:</b> <b>16</b>
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:
ANCASH	CASMA	1:14000
FUENTE:	FECHA:	ELABORADO:
AGRICOLA CHAPI S.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



- LEYENDA**
- Piezómetros
  - Pozos Tubulares
  - Pozos a Tajo Abierto
  - Curvas equipotenciales (m)
  - Río Casma
  - Curvas de nivel (m)
  - Área interferida (55.45 ha)
  - Línea de flujo

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b> <b>DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS</b>		
<b>TÍTULO:</b> <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>		
<b>PLANO:</b> <b>HIDROISOHIPSAS (AGOSTO 2014)</b>		<b>MAPA N°:</b> <b>17</b>
<b>DEPARTAMENTO:</b> ANCASH	<b>PROVINCIA:</b> CASMA	<b>ESCALA:</b> 1:14000
<b>FUENTE:</b> AGRICOLA CHAPI S.A.	<b>FECHA:</b> MARZO 2015	<b>ELABORADO:</b> KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



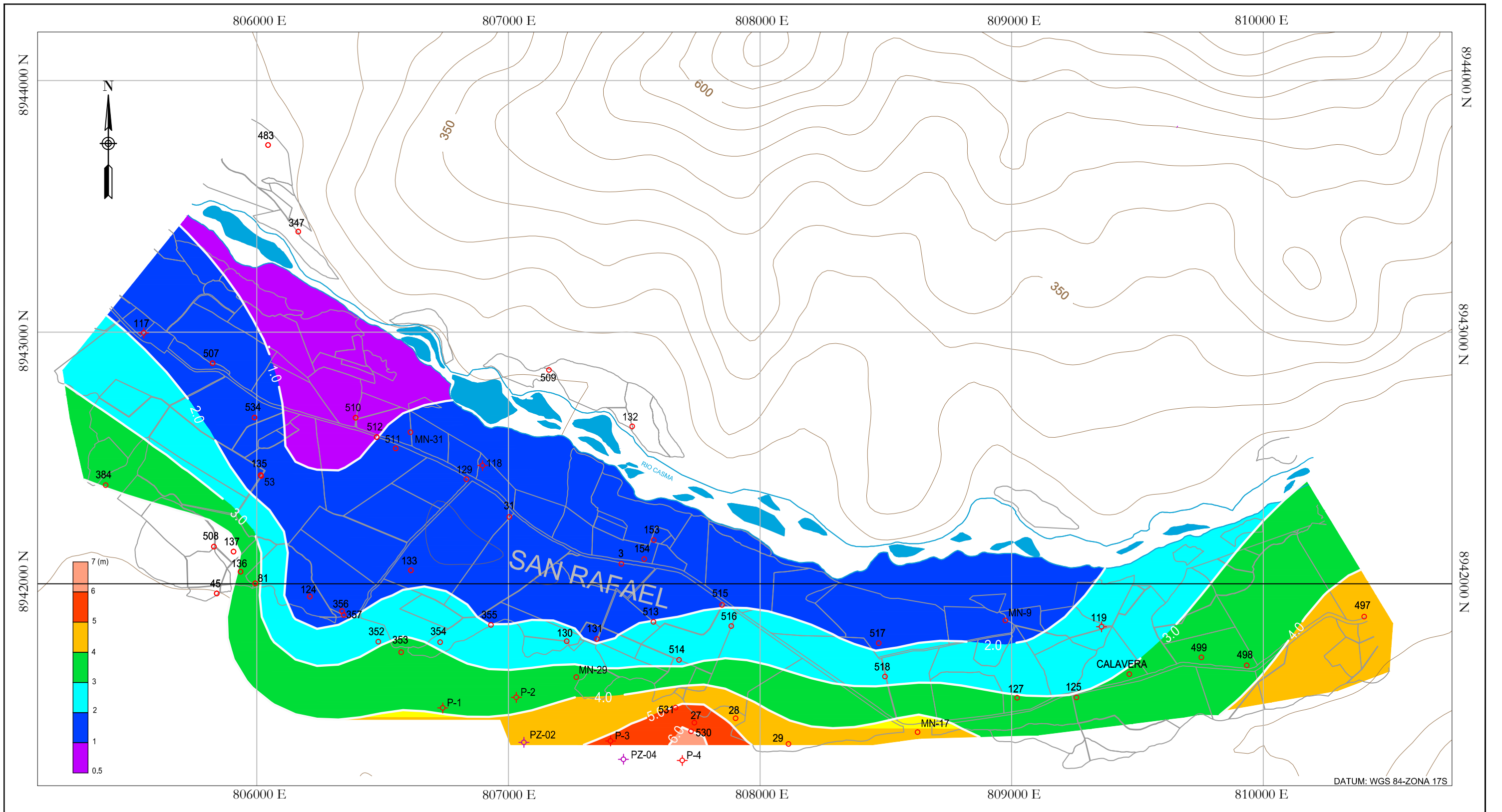


DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

- Parcelas
- Pozos a tajo abierto
- Pozos tubulares
- Curvas topográficas
- Cauce de río
- Isoprofundidad de la napa freática (m)

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO: <b>ISOPROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO (Abril 2008)</b>		HOJA Nº: <b>18</b>	
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:14000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	



**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ✦ Pozos tubulares
- ✧ Piezómetros
- Curvas topográficas
- ▭ Parcelas
- Cauce de río
- Isoprofundidad de la napa freática ( m )

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
 FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA  
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS

TITULO: "Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"

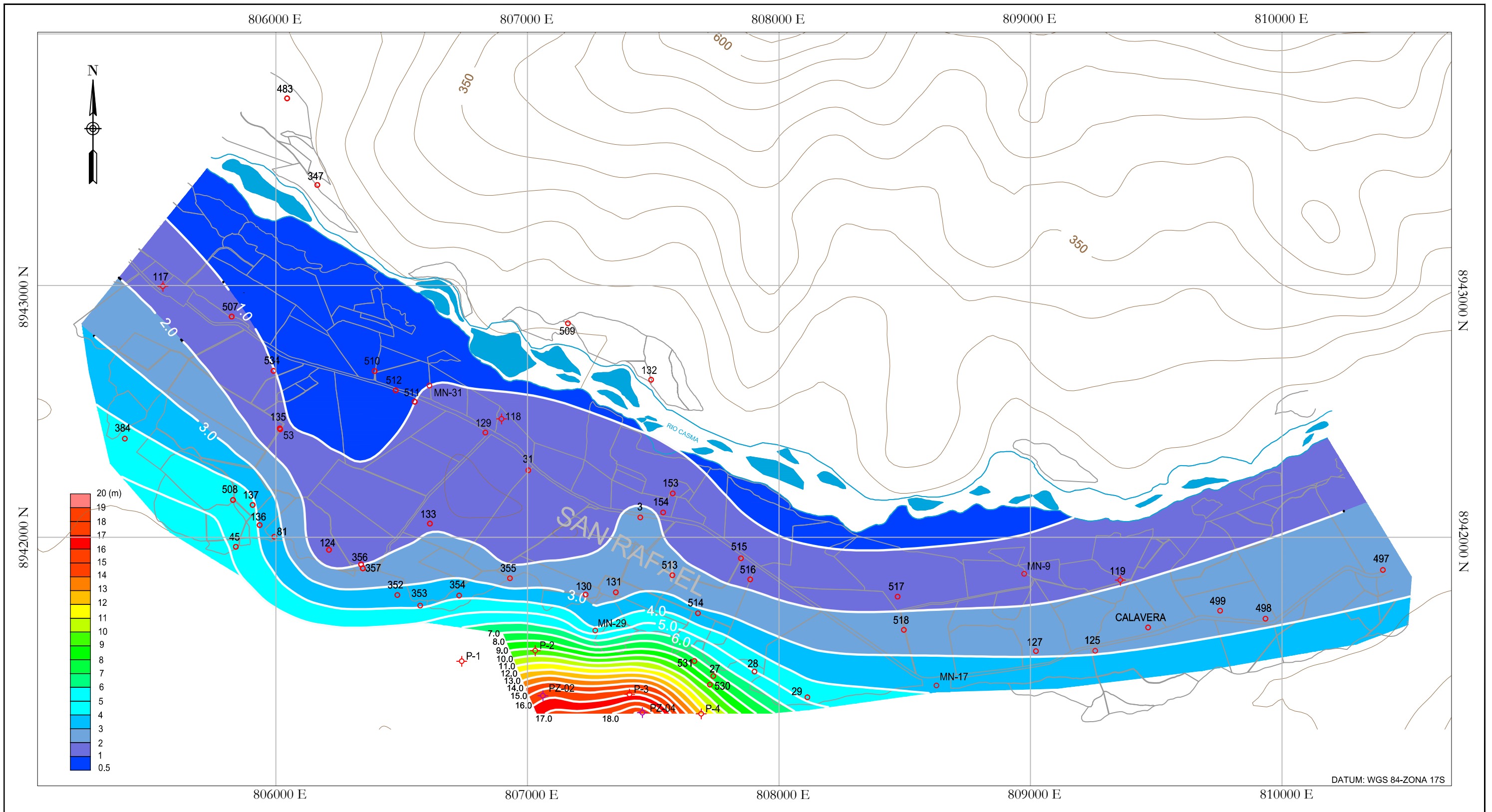
PLANO: ISOPROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO ( Agosto 2012 )

DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:14000
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ

MAPA N°: 19

DATUM: WGS 84-ZONA 17S

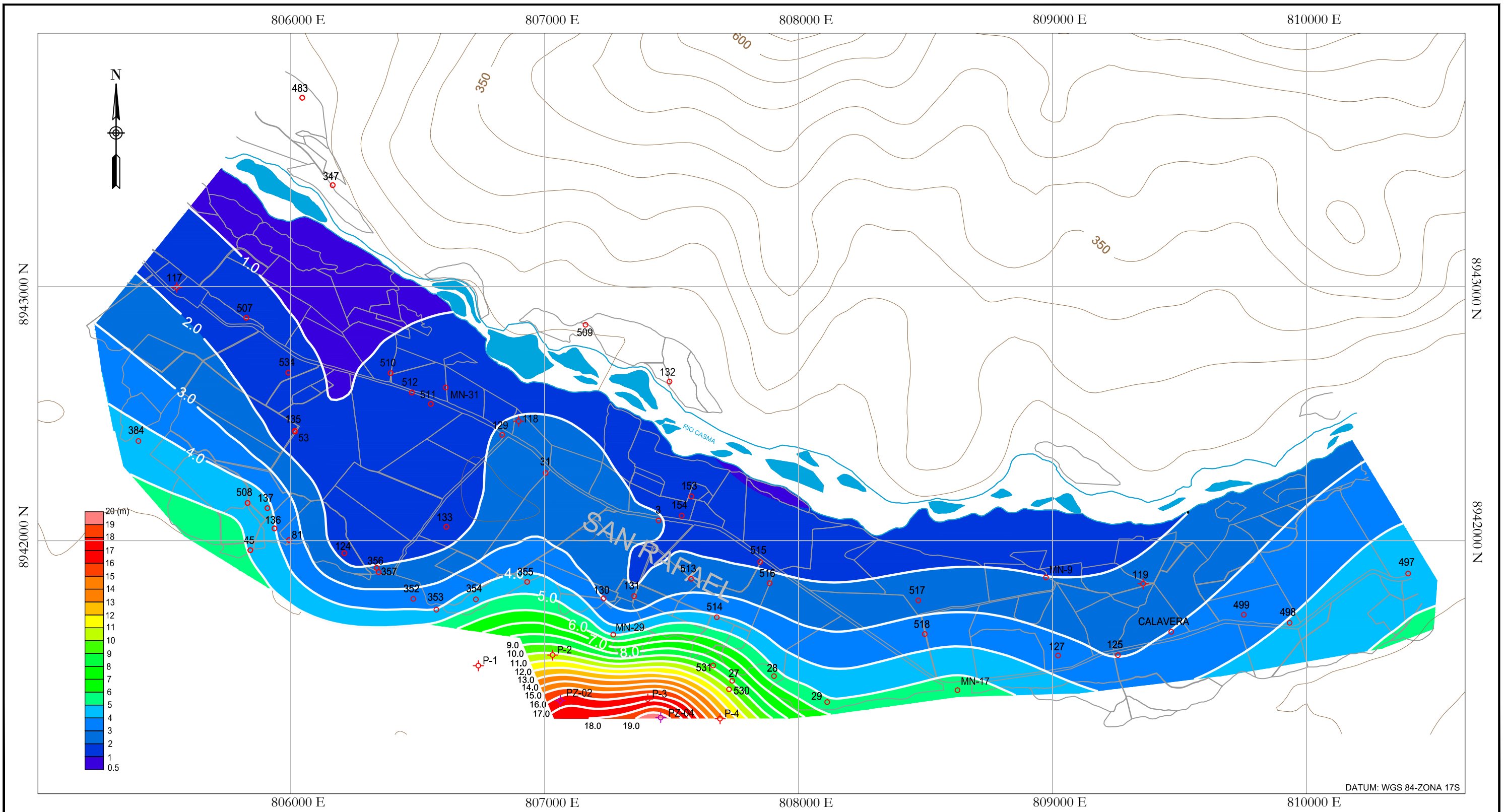




**LEYENDA**

	Pozos a tajo abierto		Parcelas
	Pozos tubulares		Cauce de rio
	Piezometros		Isopropfundidad de la napa freatica ( m )
	Curvas topograficas		

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: <b>"Condiciones de explotacion del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO: <b>ISOPROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO ( Agosto 2013 )</b>			MAPA N°: <b>20</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:15000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	

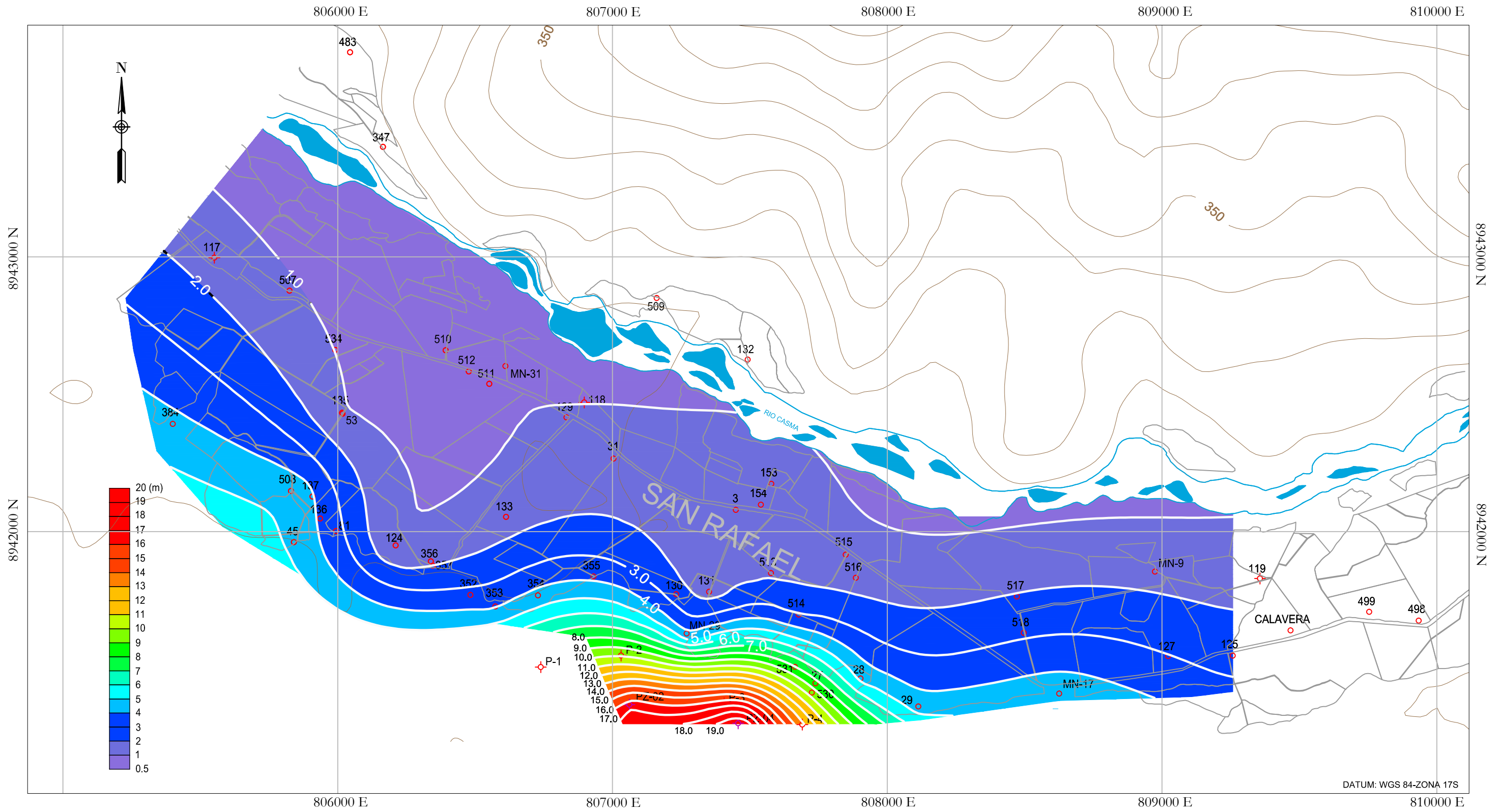


DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ✦ Pozos tubulares
- ✦ Piezómetros
- Curvas topográficas
- Parcelas
- Cauce de río
- Isoprofundidad de la napa freática (m)

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TÍTULO: <b>"Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO: <b>ISOPROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO (ENERO 2014)</b>		MAPA N°: <b>21</b>	
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:	
ANCASH	CASMA	1:14000	
FUENTE:	FECHA:	LABORADO:	
AGRICOLA CHAPI S.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAÑO DE LA CRUZ	



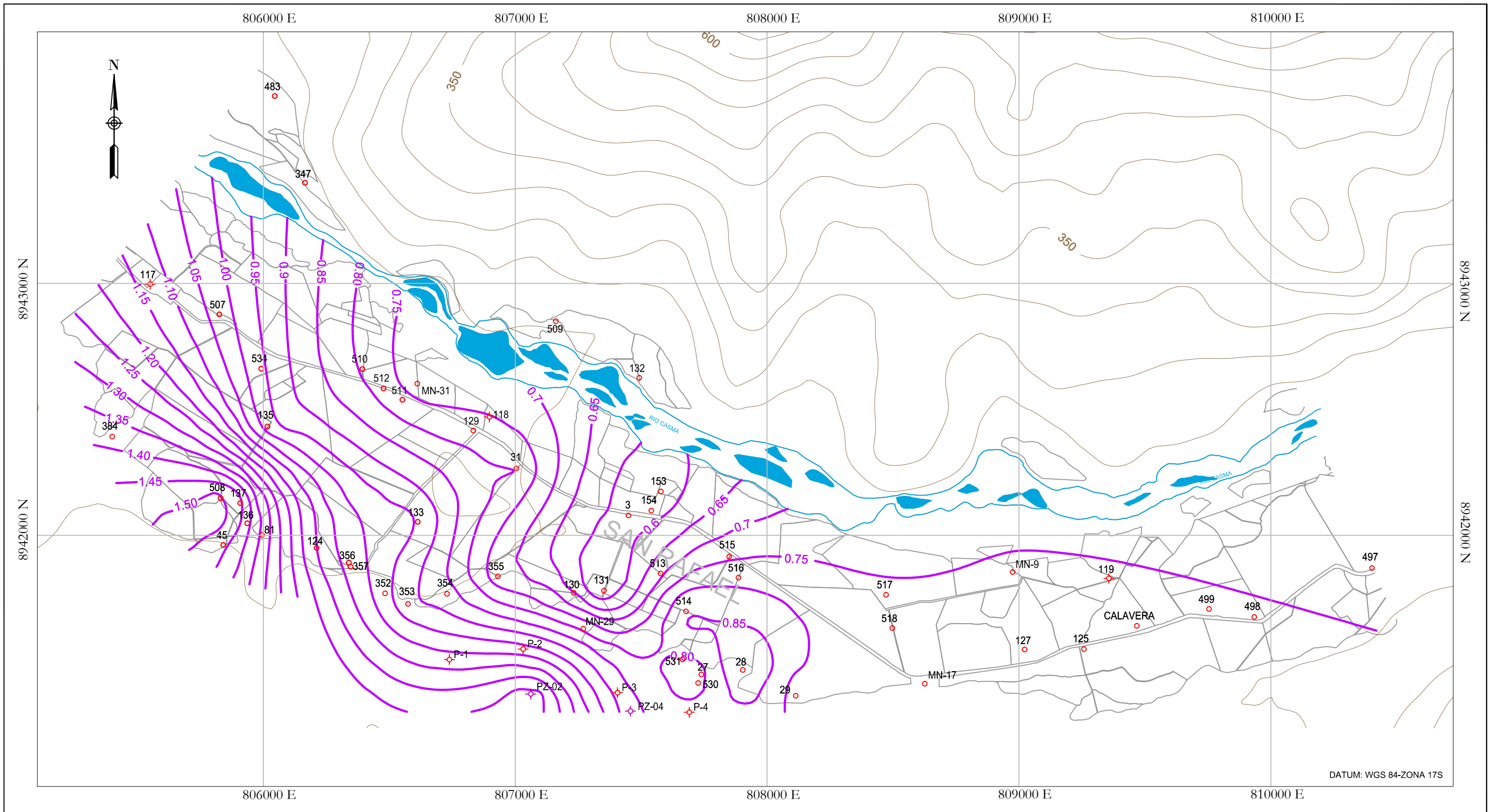
DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

○ Pozos a tajo abierto	□ Parcelas
⊕ Pozos tubulares	▬ Cauce de río
⊕ Piezómetros	— Isoprofundidad de la napa freática (m)
— Curvas topográficas	

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TÍTULO: "Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO: <b>ISOPROFUNDIDAD NIVEL FREÁTICO (AGOSTO 2014)</b>			MAPA N°: <b>22</b>
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:14000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	



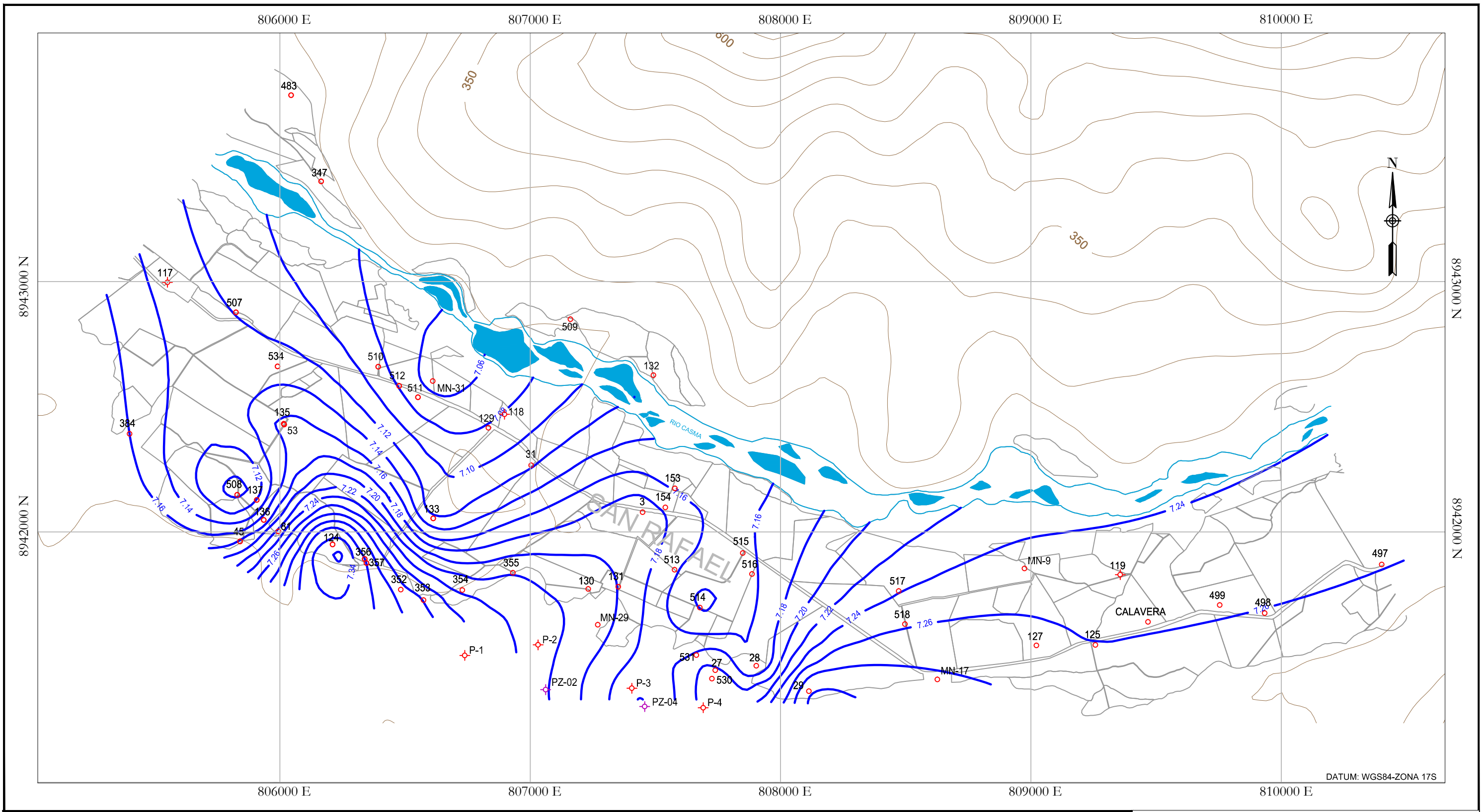


DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ◆ Pozos tubulares
- ◆ Piezómetros
- Curvas topográficas
- Parcelas
- Cauce de río
- Isoconductividad eléctrica del agua subterránea ( ds/m)

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: <b>"Evaluación hidrogeológica del acuífero del río Casma - Sector San Rafael"</b>			
PLANO: <b>DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</b> (AGOSTO 2013)			
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:	
ANCASH	CASMA	1:14000	
FUENTE:	FECHA:	ELABORADO:	
AGRICOLA CHAPI S.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	
			23



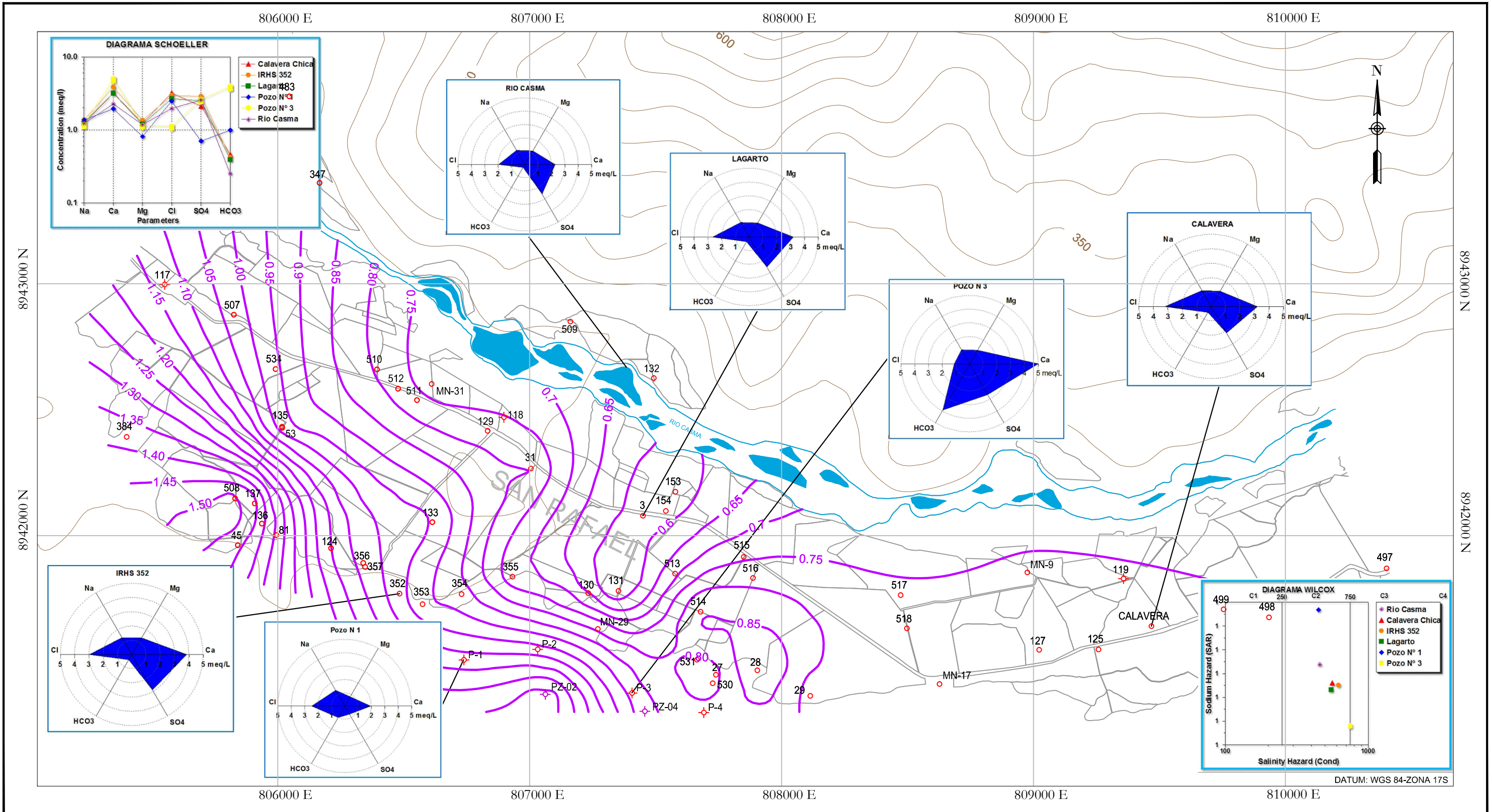
DATUM: WGS84-ZONA 17S

**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ◇ Pozos tubulares
- ◇ Piezómetros
- Curvas topográficas
- Parcelas
- Cauce de río
- Curvas de distribución espacial de PH

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: "Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"			
PLANO: <b>DISTRIBUCION ESPACIAL DEL Ph</b> (AGOSTO 2013)			
DEPARTAMENTO:	PROVINCIA:	ESCALA:	24
ANCA SH	CASMA	1:14000	
FUENTE:	FECHA:	ELABORADO:	
AGRICOLA CHAPIS.A.	MARZO 2015	KARIN CARBAJODE LA CRUZ	





**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ◇ Pozos tubulares
- ◆ Piezómetros
- Curvas topográficas
- ▭ Parcelas
- Cauce de río
- Isoconductividad eléctrica del agua subterránea ( ds/m)

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Nombre de Fuente	C.E	pH	Cationes (meq/l)					Aniones (meq/l)					RAS	SP	CRS	Dureza (mg/l CaCO3)	Boro (ppm)	Clasif. Para Riego	
			Ca++	Mg++	Na+	K+	Suma	HCO3-	SO4=	NO3-	Cl-	CaCO3							Suma
Calavera Chica	0.56	7.00	3.19	1.23	1.28	0.06	5.76	0.46	2.11	0.04	3.20	0.00	5.81	0.86	4.26	-3.96	221.14	0.00	C2S1
IRHS 352	0.62	7.35	3.83	1.35	1.37	0.05	6.60	0.42	2.87	0.09	2.96	0.00	6.34	0.85	4.40	-4.76	259.19	0.02	C2S1
Lagarto	0.55	7.11	3.18	1.19	1.23	0.05	5.65	0.39	2.52	0.04	2.66	0.00	5.61	0.83	3.92	-3.98	218.65	0.10	C2S1
Rio Casma	0.46	8.21	2.26	1.18	1.23	0.06	4.73	0.25	2.56	0.00	1.96	0.00	4.77	0.94	3.24	-3.19	172.06	0.00	C2S1
Pozo 3	0.75	7.27	4.99	1.15	1.19	0.03	7.35	3.91	2.61	0.04	1.12	0.00	7.68	0.68	2.43	-2.22	307.08	0.08	C2S1
Pozo 1	0.45	7.44	1.94	0.81	1.37	0.05	4.16	0.99	0.70	0.01	2.47	0.00	4.17	1.17	2.82	-1.75	137.24	0.10	C2S1
MIN	0.46	7.00	1.94	0.81	1.19	0.03	4.16	0.25	0.70	0.00	1.12	0.00	4.17	0.68	2.43	-4.76	137.24	0.00	
MAX	0.75	8.21	4.99	1.35	1.37	0.06	7.35	3.91	2.87	0.09	3.20	0.00	7.68	1.17	4.40	-1.75	307.08	0.10	

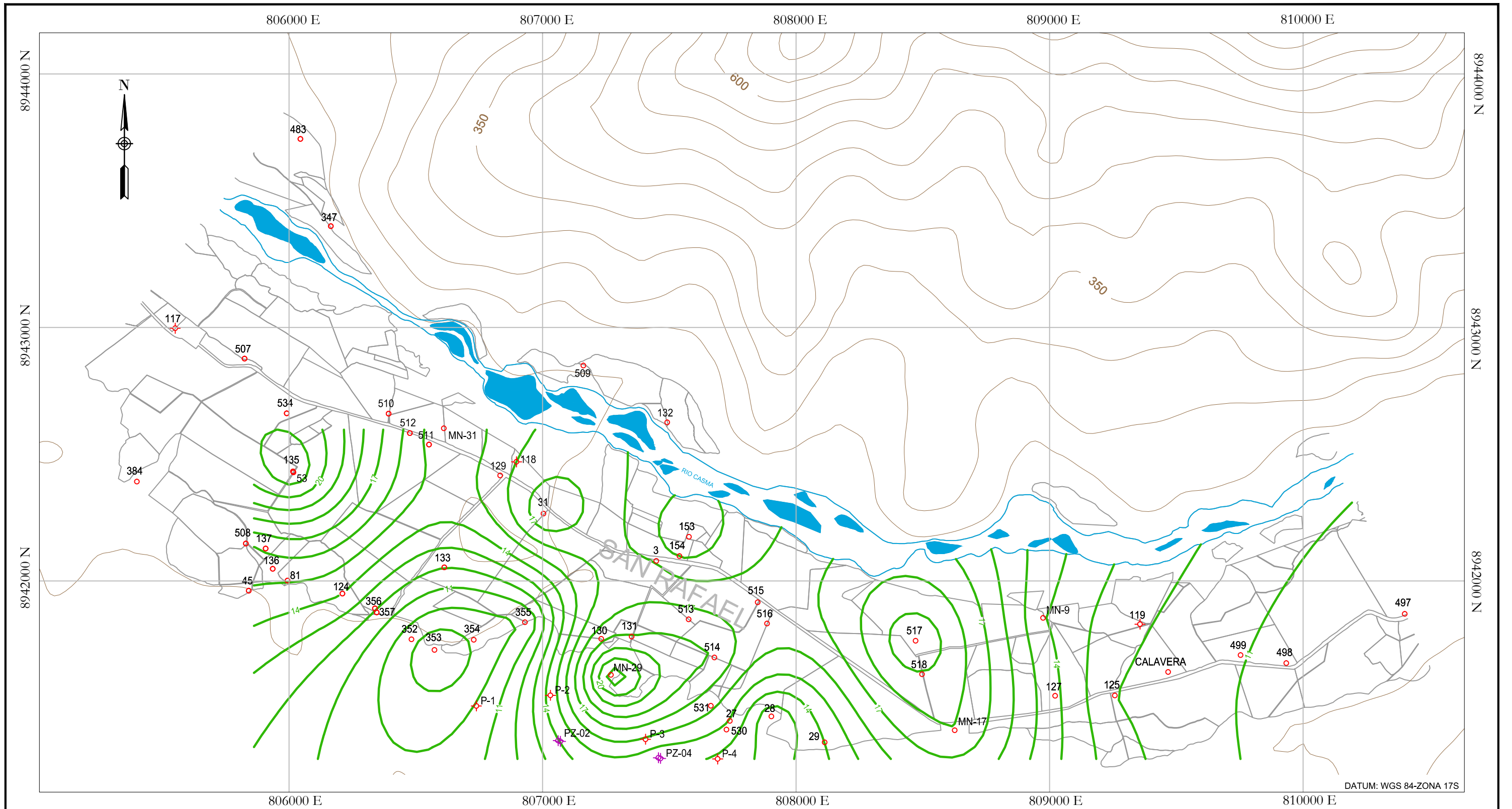
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**  
**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS**

TÍTULO: "Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"

PLANO: **HIDROGEOQUÍMICA** MAPA Nº: **25**

DEPARTAMENTO: ANCASH PROVINCIA: CASMA ESCALA: 1:14 000

PUNTE: AGRICOLA CHAPI S.A. FECHA: MARZO 2015 ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ



DATUM: WGS 84-ZONA 17S

**LEYENDA**

- Pozos a tajo abierto
- ✦ Pozos tubulares
- ✦ Piezometros
- Curvas topográficas
- Parcelas
- Cauce de río
- Conductividad Hidraulica (m/d)

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA</b> FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS			
TITULO: "Condiciones de explotación del acuífero Casma - Sector San Rafael"			26
PLANO: ISOCONDUCTIVIDAD HIDRAULICA			
DEPARTAMENTO: ANCASH	PROVINCIA: CASMA	ESCALA: 1:14000	
FUENTE: AGRICOLA CHAPI S.A.	FECHA: MARZO 2015	ELABORADO: KARIN CARBAJO DE LA CRUZ	