



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**UNIVERSIDAD ANDINA**

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS**

**CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL**

**DE**

**INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA  
CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN  
TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. KRISTELL YAMILETH TORRES ESCALANTE.**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2015**



# UNIVERSIDAD ANDINA

## "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS

CARRERA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA

CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN

TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA

PRESENTADO POR:

Bach. KRISTELL YAMILETH TORRES ESCALANTE.

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL  
APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE** : Dr. Ing. Víctor J. Huamán Meza

**PRIMER MIEMBRO** : Mgtr .Ing.Orlando E.La Torre Barra

**SEGUNDO MIEMBRO** : Mgtr. Ing. Alfredo T. Zegarra Butrón





## NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

### RESOLUCIÓN DECANAL Nº 294-2015-D-FICP-UANCV

Juliaca, 27 de noviembre de 2015.

**VISTOS.**- El Informe N° 061-2015-D-CAPIC-UANCV, del Director de la CAP. de Ingeniería Civil, el Informe N° 378-2015-VJHM-CAPIC-UANCV del Presidente del Jurado dictaminador del Trabajo de Tesis, RESOLUCIÓN DECANAL Nº 215-2014-D-FICP-UANCV, y con el acta de calificación de Perfil de tesis de fecha 13 de noviembre de 2014, y el acta de calificación del Borrador de Tesis de fecha 26 de noviembre de 2015, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, con el tema titulado: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA".

**CONSIDERANDO:**

Que, el(los) Bachiller(es): **TORRES ESCALANTE, KRISTELL YAMILETH**, ha presentado su Trabajo de Tesis Titulado: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA".

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías, nominó como Jurado a los siguientes Docentes:

- \* **Presidente** : Dr.Ing. VICTOR JULIO, HUAMAN MEZA
- \* **1er Miembro** : Mgtr. Ing. ORLANDO E. LA TORRE BARRA
- \* **2do Miembro** : Mgtr. Ing. ALFREDO T. ZEGARRA BUTRÓN

Que, el Jurado Dictaminador ha aprobado en su integridad el Trabajo de Tesis titulado: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA".

**Estando** en la opinión favorable por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, en concordancia al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la Ley Universitaria 30220, Ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANR D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**SE RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR**, el TRABAJO DE TESIS, de el(los) Bachiller(es): **TORRES ESCALANTE, KRISTELL YAMILETH**, para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA".

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Tesis en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Carrera Académico Profesional de Ingeniería Civil.

**ARTICULO SEGUNDO.-** La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director de la Carrera Académico Profesional de Ingeniería Civil, el Secretario Académico de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c.  
Interesado  
Arch.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Mg. Ing. ALFREDO ZEGARRA BUTRÓN  
DECANO  
CIP: 32590



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Ing. Carlos A. Cáceres Vargas  
SECRETARIO ACADÉMICO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CIP: 72725



## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi padre Guiovani Torres Enriquez al recuerdo a mi madre Iris Geanet Escalante Paco, (mi madre ya partió a la presencia del Altísimo y que su espíritu, su bondad y su sentido del humor siga tocando mi vida.), quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación han sido mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad. Es por ellos todo lo que soy ahora. Los amo con mi corazón.

KRISTELL YAMILETH TORRES ESCALANTE.





## AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi padre a mi madre a mi hermano y a todos mis seres queridos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

KRISTELL YAMILETH TORRES ESCALANTE.



## RESUMEN

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la tierra, únicamente 2.53 % del total es agua dulce y el resto es agua salada, aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentra inmobilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas. Por otro lado la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca, no se cuenta con agua potable conectado a los servicios públicos de la EPS Sedajuliaca; peor aún su sistema de desagüe, esta atendido por silos de desagüe que se contribuye también artesanalmente y se ubican cerca a los pozos domésticos de agua, siendo inevitable la contaminación por el desagüe las aguas de pozos, como esta demostrado en los análisis de agua efectuados. Para abastecerse de agua para el consumo humano los pobladores de viviendas de esta urbanización han construido pozos domésticos para la extracción de agua subterránea; situación al no tener un sistema de evacuación de desagüe, se sospecha que las referidas aguas en la actualidad estén contaminadas; para lo que se ha seleccionado quince (15) pozos para efectuar el análisis físico, químico y bacteriológico, a fin de establecer el nivel de potabilidad; al mismo tiempo efectuar una evaluación del proceso constructivo de tales pozos, lo que no garantiza la protección de la potabilidad del agua, más por el contrario permite su contaminación. Finalmente se efectúa propuesta recomendaciones a fin de que la construcción y el funcionamiento de estos pozos sea más técnico y permita vía tratamiento y/o protección adecuada de la potabilidad, debido a que las dolencias relacionadas con el agua son una de las causas más comunes de enfermedad y de muerte y afectan principalmente a los pobres en los países en desarrollo, como es el caso del Perú. Las enfermedades transmitidas por el agua que originan dolencias gastrointestinales son causadas por beber agua contaminada. Los puntos abordados en el presente trabajo, que están considerados en los objetivos específicos, nos indican que debe de solucionarse la contaminación de aguas subterráneas, empleadas mediante los pozos domésticos; puesto que su nivel de contaminación física, química y bacteriológica efectúa son preocupante.

**PALABRAS CLAVES:** Pozos domésticos, potabilidad del agua, aguas subterráneas.



## ABSTRACT

Although water is the most common element on earth, only 2.53% of the total is fresh water and the rest is salt water, about two-thirds of the fresh water is immobilized in glaciers and permanent snow cover. Furthermore the urbanization Taparachi - Sector III Juliaca, do not have drinking water utilities connected to the EPS Sedajuliaca; Worse its drainage system, is run by silos drain while contributing also handmade and are located close to household wells, contamination by drain water from wells is inevitable, as is demonstrated in the analysis of water made .For water for human consumption housing residents of this urbanization they have built domestic wells for groundwater extraction; situation having no sewer drainage system, it is suspected that those waters are polluted today; for what has been selected fifteen (15) wells for physical, chemical and bacteriological analysis, in order to establish the level of potability; while an assessment of the construction process of such wells, which does not guarantee protection of the drinking water, on the other hand allows more pollution. Finally proposal makes recommendations to the construction and operation of these wells is more technical way and allow treatment and / or adequate protection of the drinking, because the water-related diseases are one of the most common causes of disease and death, affecting mainly the poor in developing countries, such as Peru. The waterborne diseases that cause gastrointestinal ailments are caused by drinking contaminated water. The points covered in this paper, which are considered in the specific objectives, indicate that needs to be addressed groundwater contamination, employed by domestic wells; since their level of physical, chemical and bacteriological contamination carried out they are worrying.

**KEYWORDS:** domestic wells, drinkable water, groundwater





## INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas cumplen un rol importante, y en numerosos casos vital para el suministro de agua potable para centros poblados y/o urbanizaciones que no tienen los servicios de agua potable conectados a los públicos, como es el caso de la urbanización Municipal Taparachi III Sector. Por lo general los profesionales en la materia, poco informados tienden a ver el flujo de aguas subterráneas, como algo que se asemeja a lo místico o metafísico. Por lo tanto existe dificultad acerca de la percepción de la contaminación de aguas subterráneas y una ignorancia o complacencia sobre los riesgos de contaminación. Por tanto no se ha prestado mucha atención a la prevención sw la contaminación de estas mismas fuentes de agua subterránea, y aún menos a la protección de los acuíferos en su conjunto.

Las actividades que tienen el mayor impacto sobre la calidad del agua subterránea son: urbanizaciones con densidad elevada con saneamiento sin alcantarillado, inadecuada disposición de efluentes líquidos industriales y cambios en las prácticas de cultivo agrícola. Las consecuencias probadas son: concentraciones de nitratos que se incrementan grandemente en las aguas subterráneas por solventes orgánicos sintéticos, desinfectantes y patógenos fecales. Estos casos llegan a ser una amenaza seria para la calidad del agua potable de acuerdo con las guías de la OMS. En el caso específico de las aguas subterráneas de la Urbanización Taparachi – III Sector, su contaminación esta sobre todo en el aspecto bacteriológico, debido a que su desagüe esta atendido por silos de desagüe, que significa solo una excavación, una tapa; sin impermeabilización, lo que viene a contaminar directamente el agua de pozos domésticos, que la mayoría de ellos se encuentran a poca distancia de los silos referidos.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTO.</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>V</b>

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

	<b>PÁG</b>	
1.1	EXPOSICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.	11
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
1.2.1	PROBLEMA GENERAL.	12
1.2.2	PROBLEMAS ESPECÍFICOS.	13
1.3	JUSTIFICACIÓN.	13
1.3.1	JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.	13
1.3.2	JUSTIFICACIÓN SOCIO - AMBIENTAL.	14
1.4	OBJETIVOS.	14
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.	14
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	14
1.5	HIPÓTESIS.	15
1.5.1	HIPÓTESIS GENERAL.	15
1.5.2	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.	15
1.6	VARIABLES E INDICADORES.	15
1.7	MATRIZ DE CONSISTENCIA.	16

## CAPÍTULO II

### DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1	CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN.	18
2.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.	18
2.3	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES CONSIDERADO.	19
2.3.1	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES	



	DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.	19
2.3.2	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.	20

### CAPÍTULO III

#### MARCO REFERENCIAL

3.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.	21
3.1.1	PRIMER ANTECEDENTE.	21
3.1.2	SEGUNDO ANTECEDENTE.	22
3.2	MARCO TEÓRICO.	24
3.2.1	IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.	24
3.2.2	SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	25
3.2.3	GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA NOTABLE EN RELACIÓN CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	27
3.2.4	PRINCIPIOS PARA LA PROTECCIÓN DA LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	29
3.2.5	CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA EXPLOTACIÓN IRRACIONAL Y EXCESIVA.	31
3.2.6	PROBLEMAS Y EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	34
3.2.7	DISTRIBUCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y TRANSPORTE DE CONTAMINANTES.	36
3.2.8	CONCEPTO DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	38
3.2.9	IMPORTANCIA DE LA ZONA NO SATURADA	39
3.2.10	EVALUACIÓN DEL BALANCE DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO.	41
3.2.11	CONTROL DE PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE POZOS.	44
3.2.12	CONTROL DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	46
3.2.13	EL PROBLEMA DE POZOS ABANDONADOS.	49
3.2.14	ACTIVIDADES PRINCIPALES QUE CAUSAN CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS.	50
3.2.15	ZONIFICACION DEL TERRENO PARA LA PROTECCION CONTRA CONTAMINACION.	60
3.2.16	CONTROL DE FUENTES DE CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	73
3.2.17	EL AGUA EN LOS SUELOS	80
3.2.18	ASCENSION CAPILAR DEL AGUA EN LOS SUELOS.	82
3.2.19	CONTRACCION EN SUELOS FINOS.	85



3.2.20	PERMEABILIDAD DE SUELOS.	87
3.2.21	PROCEDENCIA DEL AGUA EN LOS SUELOS.	96
3.2.22	MOVIMIENTOS DEL AGUA EN LOS SUELOS.	97
3.2.23	NIVEL FREÁTICO.	99
2.2.24	PRESIÓN INTERGRANULAR Y PRESIÓN NEUTRA.	99
3.2.25	SIFONAMIENTO.	100
3.2.26	CAPILARIDAD.	103
3.2.27	HUMEDAD EN EL SUELO.	105
3.2.28	CICLO DEL AGUA.	107
3.2.28.1	REPRESENTACIÓN DEL CICLO DE AGUA.	109
3.2.28.2	CICLO HIDROLÓGICO.	110
3.2.29	CALIDAD DE AGUA.	113

## CAPÍTULO IV

### **CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y POTABILIDAD DE AGUAS EN POZOS DOMÉSTICOS DE LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR**

4.1	IMPORTANCIA DEL USO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL CONSUMO HUMANO.	115
4.2	ALCANCES PARA EL USO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO AGUA POTABLE.	116
4.3	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL ACUÍFERO.	118
4.4	SITUACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PERU.	120
4.5	CARACTERÍSTICAS GEMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES DE POZOS DOMÉSTICOS SELECCIONADOS EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR – JULIACA.	121
4.6	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	124
4.6.1	TIPOS DE POZOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	124
4.6.2	MÉTODOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.	125
4.6.3	CONSTRUCCIÓN DE POZOS CON EQUIPO DE PERFORACIÓN MANUAL.	129
4.6.4	EQUIPO DE PERFORACIÓN MANUAL MODELO CEPIS.	130
4.7	CONSTRUCCIÓN DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERÁNEA PARA EL CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.	135
4.7.1	CONSTRUCCIÓN DE POZOS ENTUBADOS.	135
4.7.2	CONSTRUCCIÓN DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA EXTRACCIÓN	



	DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EXCABADOS MANUALMENTE EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.	137
4.8	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE POTABILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN POZOS DOMESTICOS DE LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.	139
4.9	ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA.	154
4.9.1	CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA	156
4.9.2	BACTERIAS TRANSMITIDAS POR EL AGUA.	156
4.9.3	CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA.	157
4.10	PRINCIPALES CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	160
4.11	CARACTERÍSTICAS FISICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.	163
4.11.1	TURBIEDAD	164
4.11.2	COLOR.	164
4.11.3	POTENCIAL DE HIDROGENO	164
4.11.4	TEMPERATURA.	164
4.11.5	CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.	165
4.11.6	ALCALINIDAD.	165
4.11.7	DUREZA.	165
4.11.8	SÓLIDOS TOTALES.	166
4.11.9	ACIDEZ.	166
4.12	ESQUEMA DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS.	166
4.12.1	ZONA SUBSATURADA.	170
4.12.3	PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA FRENTE A LA CONTAMINACIÓN Y AL AGOTAMIENTO.	171
4.13	PROPUESTA DE DISEÑOS MEJORADOS DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.	174
4.13.1	DISEÑO DE POZOS DE AGUA	174
4.13.2	OTROS FACTORES A CONSIDERAR	177
4.13.3	DEFINIR LAS DIMENSIONES DEL POZO.	181
4.13.4	EJEMPLO DE UN DISEÑO DE POZO	
4.13.5	DISEÑO ALTERNATIVO.	184
4.14	EVALUACIÓN Y COMENTARIO GENERAL DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICRO BIOLÓGICO DEL AGUA DE POZOS DE CONSUMO DOMÉSTICO DE LA URB. TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA.	185
4.14.1	COMENTARIO ESPECÍFICO DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN DOS POZOS DOMÉSTICOS SELECCIONADOS.	187
4.14.2	COMENTARIO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA	



	EN POZOS SELECCIONADOS.	191
4.15	PROPUESTA DE DISEÑO DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.	192
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>194</b>
	<b>RECOMEDACIONES.</b>	<b>196</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>197</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>201</b>
	<b>ANEXO 01</b>	<b>202</b>
	<b>ANEXO 02</b>	<b>212</b>
	<b>ANEXO 03</b>	<b>213</b>







## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1 : VIVIENDAS CON POZOS DOMÉSTICOS DE AGUA SELECCIONADAS EN LA URBA. TAPARACHI – III SECTOR	19
CUADRO 2: CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES DE POZOS DOMÉSTICOS PARA USO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA URBANIZACIÓN MUNICIPAL TAPARACHI III SECTOR	122
CUADRO 3 : VIVIENDAS CON POZOS DOMÉSTICOS DE AGUA SELECCIONADAS EN LA URBA. TAPARACHI – III SECTOR	139
CUADRO 4: POZO DOMÉSTICO JR. SENEGAL, MZ. F-9, LOTE 1.	140
CUADRO 5: POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. F-11, LOTE 15.	141
CUADRO 6: POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. J-28, LOTE 4.	142
CUADRO 7: POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-8, LOTE 1.	143
CUADRO 8: POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-7, LOTE 1.	144
CUADRO 9: POZO DOMÉSTICO JR. SUCHES, MZ. F-12, LOTE 1.	145
CUADRO 10: POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-6, LOTE 1.	146
CUADRO 11: POZO DOMÉSTICO JR. AMAZONAS, MZ. D-11, LOTE 1.	147
CUADRO 12: POZO DOMÉSTICO JR. EUFRATES, MZ. D-7, LOTE 1.	148
CUADRO 13: POZO DOMÉSTICO JR. NAPO, MZ. D-8, LOTE 1.	149
CUADRO 14: POZO DOMÉSTICO JR. DESAGUADERO, MZ. D-10, LOTE 1.	150
CUADRO 15: POZO DOMÉSTICO JR. EUFRATES, MZ. D-9, LOTE 2.	151
CUADRO 16: POZO DOMÉSTICO JR. PUTUMAYO, MZ. D-13, LOTE 1.	152
CUADRO 17: POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. F-11, LOTE 4.	153
CUADRO 18: POZO DOMÉSTICO JR. NAPO, MZ. D-12, LOTE 1.	154



## ÍNDICE DE FIGURAS

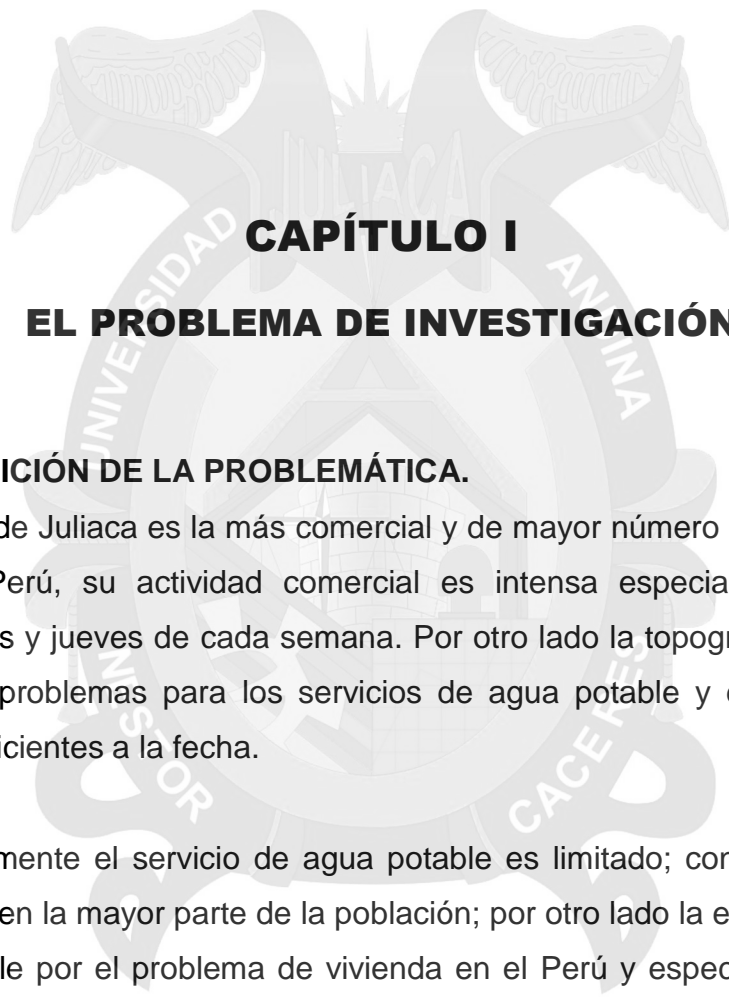
FIGURA 1 : DISTINCIÓN EXPERIMENTAL OBJETIVA ENTRE EL FLUJO LAMINAR Y EL TURBULENTO.	87
FIGURA 2 : FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	108
FIGURA 3 : REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CICLO DEL AGUA	109
FIGURA 4 : CONTAMINACIÓN ÁREA, SUPERICIAL Y SUBTERÁNEA	168
FIGURA 5 : SALINIZACIÓN POR ASCENSO VERTICAL	169
FIGURA 6 : CONTAMINACIÓN DE LA ZONA SATURADA	170
FIGURA 7 : COMPONENTES HIDRÁULICOS DEL SUB SUELO	171



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO	119
GRÁFICO 2: TORRE DE PERFORACIÓN ENSAMBLADA	133
GRÁFICO 3: UBICACIÓN DE POZOS Y LETRINAS	134
GRÁFICO 4: UBICACIÓN SANITARIA DE POZOS	135
GRÁFICO 5: DISEÑO DE POZOS DE AGUA	179
GRÁFICO 6: DISEÑO DE POZOS DE AGUA	184
GRÁFICO 7: DISEÑO DE POZOS DE AGUA	185





# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 EXPOSICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.**

La ciudad de Juliaca es la más comercial y de mayor número de habitantes en el país del Perú, su actividad comercial es intensa especialmente los días domingo, lunes y jueves de cada semana. Por otro lado la topografía plana es un factor de los problemas para los servicios de agua potable y desagüe, siendo estos muy deficientes a la fecha.

Específicamente el servicio de agua potable es limitado; con funcionamiento solo de horas en la mayor parte de la población; por otro lado la expansión urbana es incontrolable por el problema de vivienda en el Perú y específicamente en la ciudad e Juliaca. Los pobladores construyen de inmediato sus viviendas y las ocupan. Los servicios de agua es resultado inmediato con la construcción de pozos domésticos, aspecto que no reviste mayor inconveniente.

En el caso de la Urbanización Taparachi – III Sector; es una de las primeras urbanizaciones de la zona nueva de Juliaca, se ubica al margen derecho de la vía asfaltada Juliaca – Puno; es la más grande tal es así que esta sectorizada en la zona I, zona II y zona III. La zona III, es materia del presente estudio, sus sistema

de agua potable esta en el uso de pozos artesanales y su sistema de agua potable esta en el uso de pozos artesanales y su sistema de desague por el funcionamiento de silos, sin impermeabilización alguna recibe el desague directamente, y este contamina de inmediato las aguas subterráneas del lugar.

Sus pobladores y/o propietarios cuentan con pozos domésticos en cada lote establecido. Los pozos domésticos son construidos artesanalmente, la mayoría de ellos in el control técnico y de potabilidad; que es el motivo del plantear el presente trabajo de investigación. La situación actual de los pozos domésticos es que están en las condiciones siguientes:

- Uso permanente.
- Se extrae el agua para el consumo humano.
- Se ignora su potabilidad.
- No cuenta con servicios de mantenimiento.
- Su construcción no obedece a recomendaciones técnicas.

Por tanto el desarrollo del trabajo estará enmarcado a:

- Análisis de las características constructivas de los pozos domésticos.
- Análisis de la potabilidad del agua.

Análisis de las actividades de mantenimiento a fin de garantizar la potabilidad del agua.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1 PROBLEMA GENERAL.**

¿Cuáles son las características estructurales y el nivel de potabilidad de las aguas para consumo humano en los pozos domésticos de la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?

### 1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

1. ¿Cómo son las características y componentes estructurales de los pozos domésticos construidos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?
2. ¿Qué particularidades tiene el nivel de potabilidad de las aguas para el consumo humano en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?
3. ¿Cómo debe ser la nueva estructura que proteja la potabilidad del agua en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN.

#### 1.3.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.

El asentamiento humano de la urbanización Taparachi III – Sector de la ciudad de Juliaca, creada más de 20 años; no cuenta con servicios de agua potable administrados por Seda Juliaca; todos los lotes y/o viviendas cuentan con pozos domésticos de donde se usa agua para el consumo humano. La construcción inadecuada y la falta de actividades de mantenimiento ocasionan problemas de contaminación; trayendo consecuentemente peligros a la salud del ser humano; estos pozos están fundamentados solamente en excavaciones, sin protección alguna, ni uso de filtros de arena en casos necesarios.

Tomando en consideración estas preocupaciones los pozos domésticos se deben construir tomando en cuenta las exigencias técnicas establecidas por estos casos, a fin de garantizar la captación del agua en las condiciones más ventajosas para el consumo humano; para lo que debe considerarse los componentes técnicos como filtros, tuberías de revestimiento, sellos sanitarios, colocador del pozo, filtros de arena, entre otros.



### 1.3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIO - AMBIENTAL.

El empleo de aguas subterráneas como agua potable, en la Urbanización Taparachi - III Sector, de la ciudad de Juliaca, amerita un cuidadoso diseño y análisis, puesto que en la actualidad en la referida zona se ha implementado un sistema de desagüe por silos; los que en su mayoría han sido construidos de manera artesanal, sin actividades de limpieza y mantenimiento; lo que con seguridad contamina las aguas subterráneas sobre todo en el aspecto bacteriológico, como se demuestra en los ensayos de agua efectuados en los pozos domésticos de viviendas seleccionadas.

Se tiene un comentario generalizado de que las aguas subterráneas, se vienen contaminando por industrias y la entidad educativa antes referida; que al contaminar el agua artificial, estas acciones pueden poner en peligro la potabilidad del agua en los pozos domésticos, poniendo riesgo la salud de los pobladores; situación que se analizará en el desarrollo del trabajo y de ser así proponer el control correspondiente. Para todo ello se analizará las actividades de bajo impacto; orientado a preservar la potabilidad del agua.

## 1.4 OBJETIVOS.

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar las características estructurales y el nivel de potabilidad de las aguas para consumo humano en los pozos domésticos de la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Verificar las características y componentes estructurales de los pozos domésticos construidos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.



2. Determinar el nivel de potabilidad de las aguas para el consumo humano en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.
3. Proponer una nueva estructura que proteja la potabilidad del agua en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.

## 1.5 HIPÓTESIS.

### 1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.

Los pozos domésticos deben contener una estructura que permita potabilizar y/o proteger la potabilidad del agua a consumir.

### 1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

1. Los pozos domésticos con deficiencias estructurales en su construcción no garantizan la potabilidad para el consumo humano.
2. La potabilidad del agua en los pozos domésticos deben estar garantizados por análisis físicos, químicos y bacteriológicos periódicos.
3. Plantear la propuesta adecuada en su construcción estructural de pozos domésticos que garantice la potabilidad para el consumo humano.

## 1.6 VARIABLES E INDICADORES.

**VARIABLE INDEPENDIENTE** : EVALUACIÓN CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

**INDICADORES** :

- Características geométricas.
- Características estructurales.
- Sello sanitario.

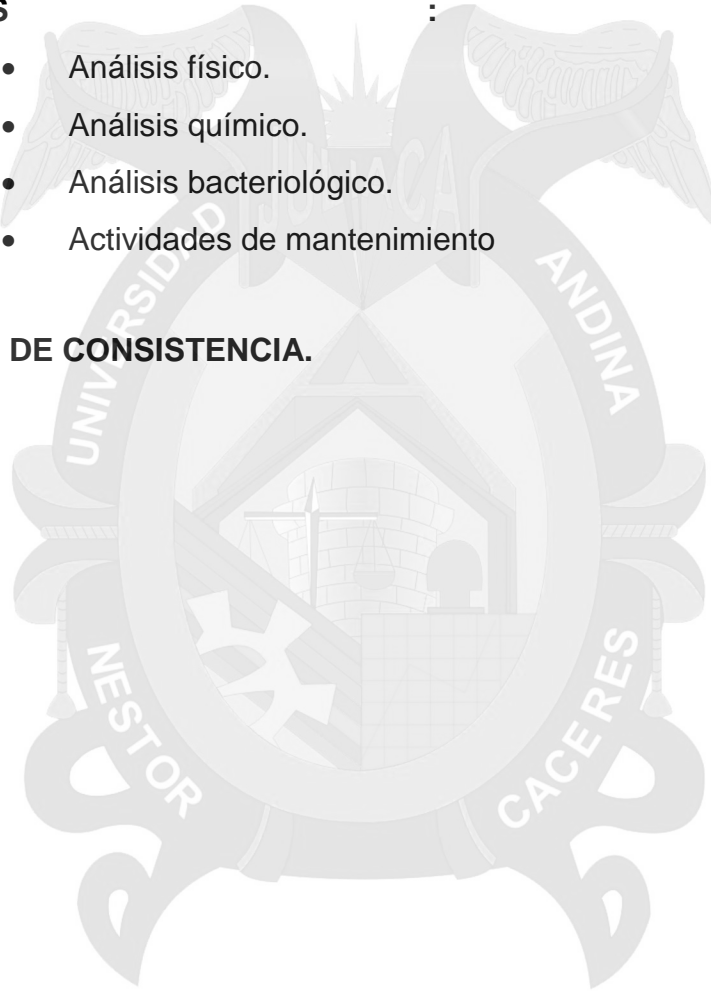
- Actividades de tratamiento.

**VARIABLE DEPENDIENTE** : POTABILIDAD DEL AGUA  
EN POZOS DOMÉSTICOS

**INDICADORES** :

- Análisis físico.
- Análisis químico.
- Análisis bacteriológico.
- Actividades de mantenimiento

### 1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA.





### MATRIZ DE CONSISTENCIA

TEMA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA

EJECUTORA : KRISTELL YAMILETH TORRES ESCLANTE

FECHA : AGOSTO 2014

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuáles son las características estructurales y el nivel de potabilidad de las aguas para consumo humano en los pozos domésticos de la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo son las características y componentes estructurales de los pozos domésticos construidos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?</li> <li>¿Qué particularidades tiene el nivel de potabilidad de las aguas para el consumo humano en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?</li> <li>¿Cómo debe ser la nueva estructura que proteja la potabilidad del agua en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca?</li> </ol>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar las características estructurales y el nivel de potabilidad de las aguas para consumo humano en los pozos domésticos de la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Verificar las características y componentes estructurales de los pozos domésticos construidos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.</li> <li>Determinar el nivel de potabilidad de las aguas para el consumo humano en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.</li> <li>Proponer una nueva estructura que proteja la potabilidad del agua en los pozos domésticos en la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca.</li> </ol>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL.</b></p> <p>Los pozos domésticos deben contener una estructura que permita potabilizar y/o proteger la potabilidad del agua a consumir.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Los pozos domésticos con deficiencias estructurales en su construcción no garantizan la potabilidad para el consumo humano.</li> <li>La potabilidad del agua en los pozos domésticos deben estar garantizados por análisis físicos, químicos y bacteriológicos periódicos.</li> <li>Plantear l propuesta adecuada en su construcción estructural de pozos domésticos que garantice la potabilidad para el consumo humano.</li> </ol>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>EVALUACIÓN CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>POTABILIDAD DEL AGUA EN POZOS DOMÉSTICOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Características geométricas.</li> <li>Características estructurales.</li> <li>Sello sanitario.</li> <li>Actividades de tratamiento</li> <li>Análisis físico.</li> <li>Análisis químico.</li> <li>Análisis bacteriológico.</li> <li>Actividades de mantenimiento</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis físico.</li> <li>Análisis químico.</li> <li>Análisis bacteriológico.</li> <li>Actividades de mantenimiento</li> </ul>

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN.

TIPO	: Causal
ÁREA	: Hidráulica
ENFOQUE	: Cuantitativo

#### 2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Tomando en consideración, la ciudad de Juliaca, los servicios públicos de agua y desague, no cubren la totalidad de urbanizaciones y asentamientos humanos, razón por lo que tiene carácter general, la construcción de pozos domésticos para el uso de aguas subterráneas, como agua para el consumo humano.

La preocupación de la construcción de pozos domésticos, para el empleo de aguas subterráneas para el consumo humano, es que en el presente trabajo de investigación toma como población la ciudad de Juliaca y como muestra los pozos construidos en la Urbanización de Taparachi - III Sector de la ciudad de Juliaca,



donde se ha considerado quince (15) pozos domésticos para su estudio, que se detalla en el cuadro siguiente:

**CUADRO 1**  
**VIVIENDAS CON POZOS DOMÉSTICOS DE AGUA SELECCIONADAS EN LA**  
**URBA. TAPARACHI – III SECTOR**

N°	VÍA	MANZANA	LOTE	CARACT. LOTE
1	Jr. Senegal	F-9	1	Vivienda
2	Jr. Vilcanota	F-11	15	Vivienda
3	Jr. Vilcanota	I-28	4	Vivienda
4	Jr. Huallaga	F-8	1	Vivienda
5	Jr. Huallaga	F-7	1	Vivienda
6	Jr. Suches	F-12	1	Vivienda
7	Jr. Huallaga	F-6	1	Vivienda
8	Jr. Amazonas	D-11	1	Vivienda
9	Jr. Enfrates	D-7	1	Vivienda
10	Jr. Napo	D-8	1	Vivienda
11	Jr. Desaguadero	D-10	1	Vivienda
12	Jr. Enfrates	D-9	2	Vivienda
13	Jr. Putumayo	D-13	1	Vivienda
14	Jr. Vilcanota	F-11	4	Vivienda
15	Jr. Napo	D-12	1	Vivienda

FUENTE: SELECCION DE VIVIENDAS – ELABORACION PROPIA

## 2.3 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES CONSIDERADO.

### 2.3.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE.

Para tal efecto, se efectuó las acciones siguientes:

- Verificación de características de pozos seleccionados, considerando: diámetro, profundidad total, profundidad de la napa freática.
- Verificación de características estructurales, las que son: estructura de tierra excavada y colocación de anillos tubulares.
- Verificación de acciones de mantenimiento y potabilización.



### 2.3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE INDICADORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.

Para tal efecto, se ha efectuado primeramente, la evaluación del nivel de potabilización, con los ensayos siguientes:

- Análisis Físico - Químico.
- Análisis Bacteriológico.

Seguidamente el análisis de los resultados obtenidos de los quince (15) pozos considerados se ha efectuado el análisis de enfermedades generada por el consumo de aguas contaminadas de pozos domésticos.

Finalmente se propone, nuevos diseños para la protección de contaminación de aguas en pozos domésticos

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Tomando en consideración el estudio, sus características y la determinación del nivel de potabilidad de las aguas subterráneas extraídas de pozos domésticos de la Urbanización Taparachi – III Sector de la ciudad de Juliaca, se ha encontrado diversos trabajos similares desarrollados en otros lugares, que se ha tomado en cuenta como antecedente siendo estos los siguientes:

##### 3.1.1 PRIMER ANTECEDENTE.

- **TEMA:** “CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO EN CENTROS POBLADOS MENORES DE LA YARADA Y LOS PALOS DEL DISTRITO DE TACNA” - **AUTOR:** Bach. CÉSAR ALBERTO CUTIMBO TICONA - **INSTITUCIÓN:** UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE - BASADRE GROHMANN FACULTAD DE CIENCIAS - ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE BIOLOGÍA – MICROBIOLOGÍA.

- **RESUMEN.**

El peligro más común con relación al agua de consumo humano es el de su contaminación, directa o indirectamente, debido a la acción de aguas residuales, excretas de hombres y animales, además de factores fisicoquímicos y ambientales. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la calidad bacteriológica de las aguas subterráneas usadas para el consumo humano en los centros poblados de La Yarada y Los Palos (CUTIPA, T – 2013)

El trabajo se efectuó entre Abril y Junio del año 2012. Se analizaron 46 muestras de agua subterránea provenientes de pozos. Los métodos usados fueron Numeración de Coliformes Totales y Termotolerantes por el método de Tubos Múltiples (NMP) y Recuento en Placa de Bacterias Mesófilas Aerobias (APHA, 2005). Los indicadores usados para la determinación de la calidad bacteriológica del agua subterránea fueron: Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes y Bacterias Mesófilas Heterótrofas. También se determinó el pH, la Conductividad Eléctrica así como la Temperatura ya que estos indicadores físicos podrían alterar los resultados obtenidos. (CUTIPA , T – 2013)

- **CONCLUSIONES.**

1. De los 46 pozos muestreados entre los meses de Abril y Junio del 2012 en los que presentaron un agua no apta para el consumo humano fueron: para bacterias de recuento de Bacterias Heterotróficas 2%, para Coliformes Totales 54% y para Coliformes Termotolerantes 11%.
2. De los 46 pozos muestreados 21 (46%) se encontraron bacteriológicamente aptos para el consumo humano; 25 (54%) no aptos.

### 3.1.2 SEGUNDO ANTECEDENTE.

- **TEMA:** VULNERABILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA A LA CONTAMINACIÓN DE NITRATOS EN EL ESTADO DE YUCATÁN -





**AUTORAS:** BACH Rosela Pérez Ceballos - BACH. Julia Pacheco -  
**INSTITUCIÓN:** UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN – MÉXICO.

- **RESUMEN.**

El estado de Yucatán, es una región conformada por rocas calcáreas lo que da lugar a fracturas y fisuras por donde se filtra rápidamente el agua, haciéndola vulnerable a la contaminación. Para determinar la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en el estado de Yucatán se analizaron las metodologías: AVI, GOD y DRASTIC. Los resultados mostraron que DRASTIC fue la metodología más adecuada para caracterizar la vulnerabilidad intrínseca en el estado de Yucatán en función de los datos hidrogeológicos de dominio público. Asimismo se determinó y realizó el mapa de distribución espacial de la concentración de nitratos. Tanto la vulnerabilidad como la distribución de los nitratos se clasificaron en cinco rangos: mínima, baja, moderada, alta y extrema, con el fin de realizar una comparación entre ambas. Con esta clasificación se realizaron los mapas mediante el Sistema de Información Geográfica Arc View para su análisis visual que a la vez, permita una evaluación autoexplicativa e intuitiva. Los resultados mostraron que la vulnerabilidad intrínseca se encontró entre los rangos alto y extremo para todo el estado de Yucatán y que la concentración de nitratos se encontró en los cinco rangos posibles. Las gráficas de dispersión y los diagramas de Box and Whiskers mostraron que no existe relación alguna entre la vulnerabilidad intrínseca y la distribución de los nitratos, por lo que se concluyó que se requiere aplicar metodologías de vulnerabilidad específicas para medios cársticos. (PEREZ, C - 2011)

- **CONCLUSIONES.**

1. Una de las ventajas en utilizar las metodologías para evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea, es que utilizan datos existentes con lo que el ahorro en tiempo y dinero es importante. La metodología DRASTIC presentó la mejor aproximación de la vulnerabilidad intrínseca

para el estado de Yucatán. Dos de las variables que presentaron mayor incertidumbre por la escasez de información fueron la recarga y la conductividad hidráulica, por lo que se optó trabajar con los pocos datos disponibles. Los valores del índice DRASTIC calculados variaron de 175 hasta 217 puntos; sin embargo, esta metodología no presentó relación alguna con la distribución espacial de las concentraciones de nitratos en el agua subterránea. Las concentraciones de nitratos en el agua subterránea del estado de Yucatán presentaron valores que variaron de 0.90 hasta 224.63 mg/l. (PEREZ, C - 2011)

2. El uso del Sistema de Información Geográfica (Arc View) en la elaboración de los mapas de la vulnerabilidad y de la distribución espacial de las concentraciones de nitratos, permitieron observar que la mayor vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea se presentó en la zona costera y la menor, en la zona de cerros y la planicie interior. El mapa de las concentraciones de nitratos mostró las regiones del estado en las que es evidente una contaminación por nitratos, sin embargo, esta situación no tiene relación alguna con el mapa de vulnerabilidad intrínseca. (PEREZ, C - 2011)

## **3.2 MARCO TEÓRICO.**

### **3.2.1 IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.**

Las estadísticas oficiales revelan un constante Incremento en el porcentaje de la población de América Latina y el Caribe que tiene acceso a un suministro de agua doméstica adecuado. Esto se ha conseguido a pesar de los grandes incrementos de población y migración a las áreas urbanas. Hacia 1980 se tenía conocimiento que alrededor de 185 millones de personas contaban con alguna forma de suministro de agua adecuado.

Un costo de producción relativamente bajo y la normalmente excelente calidad natural de las aguas subterráneas han sido suficientes para justificar su explotación para suministro de agua potable inclusive en las regiones tropicales húmedas de América Central y el Caribe. Por ejemplo, desde mediados de 1960 se ha explotado rápidamente el agua subterránea para el abastecimiento municipal en San José de Costa Rica, en la Ciudad de Guatemala y el Perú. Igualmente es de gran importancia para las ciudades de muchas islas del Caribe; por ejemplo, Barbados depende totalmente de las fuentes de aguas subterráneas, las cuales abastecen alrededor de 110 m<sup>3</sup>/día.

Similares razones han hecho que las aguas subterráneas se conviertan en la fuente más atractiva de suministro de agua potable para ciudades pequeñas. Se pueden encontrar muchos ejemplos de esta situación a nivel Regional: 20 ciudades utilizan un total de 170 m<sup>3</sup>/día en el caso de Honduras, 22% de agua potable en el estado brasileño de Sao Paulo fuera de la misma capital que representa un abastecimiento mayor a 750 m<sup>3</sup>/día para más de 500 pueblos, y el suministro doméstico para 4.6 millones de habitantes en las provincias de Argentina.

Las aguas subterráneas también están amplia e intensamente explotadas para el suministro de agua en las áreas rurales debido a que normalmente constituyen el recurso más económico y seguro. En muchas zonas la explotación actualmente comprende pozos tubulares de bajo rendimiento (0.5-5 lt/seg), comúnmente perforados sin control, explotando acuíferos con niveles freáticos muy altos y brindando un abastecimiento no tratado, sin control ni protección en la mayoría de los casos. Por otro lado, se siguen construyendo, bajo ciertas condiciones, pozos excavados de diseño tradicional, pero de mejor acabado. (FOSTER 1987)

### **3.2.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

En vista de la importancia de los abastecimientos de aguas subterráneas se podría pensar que se ha prestado bastante atención a la protección de los



acuíferos para prevenir el deterioro de la calidad del agua subterránea, particularmente en, y en los alrededores, de las grandes áreas urbanas. Este es especialmente el caso cuando consideramos:

- a. La práctica de disposición al suelo de efluentes domésticos e industriales no tratados es cada día más difundida debido al costo excesivamente elevado de soluciones alternas.
- b. Los efectos sobre la salud potencia latente nocivos asociados con la contaminación de los abastecimientos de aguas subterráneas, con los consecuentes incrementos lentos, pero muy persistentes, en la concentración de contaminantes.
- c. La recuperación de los acuíferos contaminados casi siempre resultará en una operación costosa y lenta, que puede compararse al intento de tratar de remover el último vestigio de jabón de una esponja. Esto puede, con frecuencia, resultar impracticable, conduciendo al abandono de los escasos recursos de aguas subterráneas con un considerable costo económico.
- d. Una vez contaminados, el tratamiento de los abastecimientos de aguas subterráneas resultará costoso porque cada una de las numerosas fuentes dispersas, produciendo pequeños volúmenes, tienen que ser tratadas Individualmente.

Sin embargo, por un sinnúmero de razones, la protección de los acuíferos aún no ha recibido la debida consideración ni en América Latina ni en el Caribe. En primer lugar, la migración de los contaminantes desde la superficie hasta los pozos tiende a ser un proceso lento en muchos acuíferos y puede demorar muchos años, Incluso décadas, antes de que el impacto total de una contaminación causada por un contaminante persistente se haga notorio en los abastecimientos de aguas subterráneas. Esto coaduce a cierta complacencia en



lo que respecta a los riesgos de contaminación del recurso hídrico subterráneo, a pesar que algunos casos de contaminación habrán afectado grandes volúmenes del acuífero antes de su primera aparición, siendo como si fuera sólo la "punta de un iceberg".

En segundo lugar, la inacción resulta de dificultades significativas asociadas con el muestreo adecuado de las aguas subterráneas, con la responsabilidad dividida para el manejo de aguas subterráneas y con una restringida o mal orientada capacidad analítica de los laboratorios, provocando así la ausencia de un sistema rutinario de monitoreo para contaminantes tales como patógenos, nutrientes, metales pesados y compuestos orgánicos sintéticos. Por ello los datos disponibles no son adecuados para ofrecer una perspectiva confiable sobre la calidad actual de los abastecimientos de aguas subterráneas de los acuíferos de la región. Información sobre la magnitud y la distribución de la contaminación de los acuíferos es aún más escasa, y sólo es posible citar algunos casos en los que se han efectuado Investigaciones detalladas, tramando de generalizar de ellos. (FOSTER 1987)

### **3.2.3 GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA NOTABLE EN RELACIÓN CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

En muchos casos una política de protección de las aguas subterráneas no estará orientada a prevenir todo tipo de contaminación. Entonces surge la Interrogante de saber qué cantidad de contaminación se puede tolerar. Por tal razón, las diferentes normas o gulas para la potabilidad del agua se tornan, en efecto, en los criterios de diseño para el control de la contaminación de las aguas subterráneas. Por lo tanto, es relevante discutir de qué manera las actuales guías de la OMS sobre Calidad del Agua Potable se refieren directamente a las aguas subterráneas. Al hacerlo es importante apreciar que estas gulas se basan en dos criterios separados; su importancia para la salud que es de primera prioridad, y los aspectos organolépticos o estéticos (sabor, color, olor) que son de importancia secundaria, siempre que se garantice que el consumidor aceptará el agua y no



acudirá a una fuente aparentemente mejor, pero de mayor riesgo para la salud pública.

Entre los constituyentes inorgánicos mencionados en las guías como nocivos para la salud, el más generalizado y problemático es el nitrato, debido a su alta movilidad y estabilidad en los sistemas aeróbicos de aguas subterráneas. Otros constituyentes tales como fluoruros y, en menor grado, arsénico, se encuentran en las aguas subterráneas pero frecuentemente por causas de origen natural.

Los metales pesados peligrosos (cadmio, cloro, plomo, mercurio) tienden a ser inmovilizados por precipitación, u otros procesos, en muchos acuíferos, pero migran significativamente en sistemas de aguas subterráneas con bajo pH y Eh. Muchos de los constituyentes inorgánicos mencionados en las normas por motivos estéticos se encuentran ampliamente en las aguas subterráneas, a menudo por causas naturales y en algunos casos debido a contaminación; los más notables entre éstos son cloruro, hierro, manganeso, sodio y sulfato.

En cuanto a los constituyentes orgánicos, se debe reconocer que los valores actuales de las guías aún no cubren la vasta gama de compuestos orgánicos sintéticos, especialmente con respecto a los plaguicidas, conocidos por ser contaminantes potenciales del agua. Esto se debe a que no existe una suficiente evidencia médica como para hacer una firme recomendación. Entre aquellos compuestos para los que se han registrado valores guías como resultado de su significado para la salud los que, según la evidencia actual, parecen representar la amenaza más grande para la calidad de las aguas subterráneas, son algunos de los alcanos, alquenos y bencenos clorados, que son relativamente solubles en el agua y una vez en el subsuelo no experimentan gran retardo o rápida degradación. Estos compuestos son solventes sintéticos y desinfectantes que tienen un uso muy difundido en toda la escala de industrias. Irónicamente, éstos no representan una seria amenaza para el agua superficial debido a su elevada volatilidad, pero las pérdidas volátiles de las aguas subterráneas son relativamente limitadas.

Sólo algunos de los plaguicidas nombrados presentan una evidencia concreta de ser una amenaza sobre la calidad del agua subterránea debido a que muchos muestran una alta absorción en los suelos, aunque hasta el momento sólo se ha realizado limitado monitoreo y poca investigación. Sin embargo, se conoce que otros compuestos son móviles en las aguas subterráneas, pero, debido a una insuficiente evidencia médica, aún no se ha fijado ningún valor límite.

Con respecto a la calidad microbiológica, las guías actuales de la OMS recomiendan que debe considerarse que un suministro no es satisfactorio si se detectan bacterias indicadoras, coliformes fecales, en cualquier muestra de 100 ml. Para algunos tipos de suministro de agua se puede tolerar la presencia de las bacterias coliformes totales en niveles de hasta 10/100 ml en muestras esporádicas. Algunos especialistas en salud pública consideran que estas guías son innecesariamente severas como para ser adoptadas en países en desarrollo, sobre todo para pequeños suministros de agua subterránea no tratados ni entubados, debido al costo desproporcionado para alcanzar tales estándares en relación con otros riesgos para la salud pública. También se cuestiona la relevancia del recuento de coliformes totales debido a la existencia relativamente difundida de organismos coliformes no fecales en las aguas subterráneas poco profundas de países tropicales. (FOSTER 1987)

### **3.2.4 PRINCIPIOS PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

¿Qué queremos decir con la expresión "protección de las aguas subterráneas"? Generalmente ésta se utiliza para referirse a la conservación de las aguas subterráneas, en términos de cantidad y calidad, que permitirá una explotación eficiente de los acuíferos a largo plazo, especialmente como fuente segura y confiable de abastecimiento de agua potable. Lo mismo se puede decir en relación con su uso para irrigación agrícola o producción industrial, pero en este caso los requerimientos de calidad son generalmente menos rigurosos. Debe enfatizarse que la protección de las aguas subterráneas no significa que su conservación sea absoluta ni que vaya en contra de un uso legal bien planificado.

¿Contra qué tenemos que protegerlas? La respuesta a esta pregunta puede ser más específica dado que el principal problema surge por:

- a. Un desarrollo inicialmente irracional, que ocasione restricciones ilógicas posteriormente cuando se trata de optimizar la explotación del recurso hídrico subterráneo.
- b. Explotación excesiva, que lleva a una reducción en la disponibilidad del recurso a largo plazo, como resultado del descenso del nivel freático, la intrusión de agua de una calidad inferior, y a efectos colaterales costosos para el medio ambiente y otros fenómenos.
- c. Deterioro de la calidad de las aguas subterráneas como resultado de contaminación por actividades humanas en la superficie del terreno.

La implementación de una política de protección de las aguas subterráneas tiene su costo, tanto en la etapa de su introducción como durante su ejecución en el largo plazo, pero son necesarias para evitar costos aún mayores, en términos de pérdida de la inversión en obras de captación, riesgos para la salud pública debido a la reducción en el suministro o inadecuada calidad del agua, y daños irreversibles de los acuíferos y/o el medio ambiente.

Dificultades importantes surgen al redactar e implementar políticas de protección de las aguas subterráneas, por una serie de consideraciones técnicas y administrativas:

- a. Dudas sobre la magnitud del recurso hídrico subterráneo por falta de exactitud en las estimaciones de la recarga y el almacenamiento de los acuíferos.
- b. Incertidumbre sobre el riesgo de la contaminación de las aguas subterráneas y el transporte de contaminantes dentro de los acuíferos.



- c. Problemas legales relacionados con captaciones de aguas subterráneas o con fuentes de contaminación existentes antes de la introducción de una nueva política de protección de los acuíferos.

Mientras que los acuíferos favorecen la explotación cerca de la ubicación de la demanda, minimizando el costo inicial del desarrollo del recurso hídrico, se debe enfatizar que una proliferación descontrolada de pozos privados en zonas urbanas puede complicar rotundamente esfuerzos para implementar una adecuada protección del recurso hídrico subterráneo y la calidad de las aguas subterráneas.

El flujo de aguas subterráneas tiende a ser muy lento y el periodo de residencia de agua dentro de los acuíferos muy prolongado. Los acuíferos poseen una gran capacidad de almacenamiento de agua y, por esto, generalmente reaccionan lentamente a la sobre explotación a la aplicación de una carga contaminante al subsuelo. Este mismo hecho ofrece un margen para experimentar en el manejo del recurso hídrico subterráneo y en las medidas para controlar su contaminación. Sin embargo, con demasiada frecuencia esto sólo ocasiona despreocupación sobre la importancia de una iniciativa positiva en la gestión del recurso y el control de la contaminación, hasta que sea demasiado tarde para tomar una acción efectiva. (FOSTER 1992)

### **3.2.5 CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA EXPLOTACIÓN IRRACIONAL Y EXCESIVA.**

- Cualquier extracción de aguas subterráneas origina cierto descenso en los niveles freáticos del acuífero y un grado de interferencia entre pozos y manantiales vecinos.
- Desafortunadamente, la explotación irracional del recurso hídrico subterráneo es un hecho relativamente frecuente en muchas zonas urbanas y periurbanas, como consecuencia de la Creciente pero descoordinada demanda del suministro de agua en diferentes sectores de



la economía. Incluye el uso ineficiente y antieconómico del recurso hídrico subterráneo, como resultado de una explotación competitiva, debido a la perforación indiscriminada de un número excesivo de pozos en relación con su potencial de rendimiento total.

- Un ejemplo sería la presencia de un gran número de pequeñas captaciones (manantiales y pozos someros) en la zona de descarga del acuífero sin permisos individuales de extracción. Esta situación impide una máxima explotación del almacenamiento subterráneo, debido a la imposibilidad de determinar la compensación apropiada para los propietarios de estas captaciones.
- Otro ejemplo es la explotación descontrolada de un acuífero somero, mediante un gran número de pozos pequeños, que hace más difícil la explotación de acuíferos semi confinados más profundos, de un rendimiento potencial mayor y más confiable.
- El control fiscal de la extracción privada de las aguas subterráneas en zonas urbanas para uso doméstico e industrial podría ser especialmente importante donde la descarga de las aguas servidas generadas es a la red de alcantarillado, porque les ofrece la única base racional para financiar el mantenimiento de alcantarillado y el tratamiento de las aguas residuales.
- La sobreexplotación no planificada del recurso hídrico subterráneo es otro, y a menudo más serio, ejemplo de explotación irracional. Es conveniente definir sobreexplotación como la condición en la cual la extracción de aguas subterráneas en una cuenca dada, es mayor que la recarga. La definición del área bajo consideración es importante en este contexto. Es más lógico tomar en cuenta un acuífero entero o una unidad hidrogeológica. Al mismo tiempo, debe reconocerse que la sobreexplotación a escala más local puede ocurrir si la extracción se concentra en una pequeña área, de manera que la interferencia entre



pozos resulta contraproducente, porque el flujo regional de aguas subterráneas en el acuífero ha sido completamente interceptado.

- El periodo durante el cual se evalúa el balance hídrico del acuífero es también crítico. Es lógico utilizar un tiempo suficientemente largo para considerar variaciones cíclicas en la recarga, y por esto el período mínimo será varios años. Sin embargo, en regiones áridas donde el proceso de recarga puede tener una periodicidad de décadas, esto será impracticable en el caso de acuíferos pequeños cuya reserva puede agotarse antes que se experimente una recarga significativa. En consecuencia, al intentar definir la sobreexplotación es fundamental considerar la periodicidad de recarga, el régimen de flujo de aguas subterráneas y la magnitud del almacenamiento del acuífero.
- Es común ampliar la definición de sobreexplotación para incluir cualquier condición donde la extracción de aguas subterráneas excede a la recarga en un período de tiempo dado, de manera que puede ocurrir un serio desequilibrio en el balance hidrológico del acuífero.
- Si bien toda explotación de las aguas subterráneas debe tener ciertos efectos colaterales negativos, nos preocupa principalmente aquellas condiciones que tienen serias consecuencias, tales como:
  - a. Disminución en el rendimiento de pozos cercanos y/o grandes aumentos en sus costos de bombeo.
  - b. Migración, mediante intrusión lateral o vertical de agua salina de zonas costeras o de otro origen.
  - c. Infiltración inducida de aguas subterráneas de baja calidad desde un acuífero más somero.

- d. Impactos inaceptables en las aguas superficiales, tales como lagos y ríos, debido a pérdidas por infiltración inducida.
  - e. Hundimiento del terreno ocasionando problemas estructurales en los edificios, y modificaciones inesperadas en el drenaje de la tierra y los flujos en el alcantarillado.
- El grado en que un acuífero sobreexplotado sufrirá efectos colaterales adversos es determinado por sus características geohidráulicas y su condición hidrogeológica. Para ayudar en la identificación de áreas prioritarias, una indicación de la susceptibilidad a interferencias reversibles y/o a deterioros irreversibles, aunque en un caso dado no sería fácil conseguir valores confiables para todos los datos relevantes. También existe la posibilidad de una compactación irreversible del acuífero, con reducción de su transmisibilidad, en algunas circunstancias.
  - La explotación excesiva de las aguas subterráneas se puede corregir controlando las tasas de extracción total, ya sea cerrando ciertos pozos o reduciendo tasas de bombeo.
  - Es importante mencionar que no toda sobreexplotación debería ser considerada como uso irracional del recurso hídrico subterráneo. Si ésta es planificada con fines específicos, y en la medida que las consecuencias negativas hayan sido analizadas técnicamente y sean económicamente aceptables, puede representar una política lógica de explotación del recurso. (FOSTER 1987)

### **3.2.6 PROBLEMAS Y EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

- Se presenta una amplia lista de actividades que potencialmente generan una carga contaminante importante al subsuelo y ocasiona un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. La diferencia entre



contaminación por fuentes puntuales fácilmente identificables y fuentes esencialmente dispersas es fundamental en la consideración de la protección de los acuíferos.

- La contaminación de las aguas subterráneas ocurre cuando los contaminantes se infiltran hasta el sistema acuífero. Frecuentemente esto ocurre como consecuencia de la descarga descontrolada al suelo de efluentes. Los perfiles del suelo tienen capacidad de atenuar muchos, pero no todos, los contaminantes del agua. Los procesos involucrados en esta atenuación continúan, pero en menor grado, a mayor profundidad en la zona no saturada y en la zona saturada del acuífero. En esta última, la dispersión hidrodinámica que acompaña al flujo de las aguas subterráneas ocasionará también la dilución de contaminantes persistentes y móviles.
- Sin embargo, no todos los perfiles del suelo y los acuíferos subyacentes son igualmente efectivos en la reducción de los contaminantes. Además, el grado de atenuación variará considerablemente con el tipo de contaminante y el proceso de contaminación en cualquier situación dada. La actividad humana sobre el suelo modifica también los mecanismos de infiltración e introduce otros nuevos, cambiando la tasa, la frecuencia y la calidad de la recarga de los acuíferos, especialmente en climas más áridos. Comprender estos mecanismos y diagnosticar tales cambios son críticos en la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y en la implementación de medidas para el control de la contaminación.
- La migración del agua y el transporte de contaminantes desde el suelo hasta las aguas subterráneas tiende a ser un proceso lento en la mayoría de acuíferos. Esto significa que puede tomar muchos años, incluso décadas, antes que el impacto de un episodio de contaminación por un contaminante persistente sea identificado en los suministros de agua obtenidos desde el acuífero. Durante este período puede haber ocurrido un daño irreversible del acuífero.



- Evidentemente es necesario dar prioridad a la aplicación de medidas de control de contaminación y esto se puede efectuar considerando:
  - a. La vulnerabilidad relativa de los acuíferos en el área.
  - b. La magnitud y las características de la carga contaminante al subsuelo generada por una determinada actividad.
  - c. La utilización del recurso hídrico subterráneo.

La zonificación del suelo, en términos de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, es también un elemento clave en la planificación de la disposición de residuos sólidos en el suelo.

- La falta de implementación de medidas adecuadas de control de la contaminación puede ocasionar serias consecuencias, tales como:
  - a. El abandono de pozos y pérdida de inversiones importantes en el desarrollo de los recursos hídricos.
  - b. La necesidad de introducir costosos procesos de tratamiento para las captaciones de agua subterránea, por lo menos en casos donde existe una tecnología apropiada.
  - c. Costosos programas de largo plazo para rehabilitar los acuíferos, aunque se debe reconocer que la descontaminación completa ha demostrado ser problemática y los efectos pueden ser irreversibles ocasionando la pérdida permanente del recurso hídrico subterráneo. (FOSTER 1992)

### **3.2.7 DISTRIBUCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y TRANSPORTE DE CONTAMINANTES.**

Los perfiles naturales del suelo atenúan activamente muchos, aunque no todos, los contaminantes del agua. Estos han sido reconocidos por mucho tiempo





como un sistema potencialmente efectivo para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas. En menor grado, los procesos de atenuación continúan a mayor profundidad, especialmente donde hay sedimentos no consolidados.

Adicionalmente, la dispersión hidrodinámica que acompaña al flujo de aguas subterráneas resulta en dilución de los contaminantes persistentes y móviles, especialmente en la zona saturada de los acuíferos. Habrá mezcla y más dilución en pozos de producción ya que, por lo general, éstos interceptan o inducen flujo de agua subterránea a varias profundidades y direcciones, y no todos ellos estarán contaminados.

Sin embargo, no todos los perfiles de los suelos ni las condiciones hidrogeológicas son igualmente efectivos para atenuar los contaminantes. Más aun, el grado de atenuación variara ampliamente en una condición dada, según los tipos y la disposición de contaminantes.

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente a los llamados acuíferos no confinados o freáticos, sobre todo en lugares donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático poco profundo.

También pueden existir importantes riesgos de contaminación, incluso donde los acuíferos son semi confinados, si los acuíferos superficiales son relativamente delgados y/o permeables. Por lo general, los abastecimientos de aguas subterráneas derivados de acuíferos más profundos y altamente confinados, no serán afectados por contaminación desde la superficie del suelo, salvo por los contaminantes más persistentes, y a muy largo plazo. (FOSTER 1987)

### 3.2.8 CONCEPTO DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La apreciación más lógica para la definición de riesgo de contaminación de aguas subterráneas es conceptualizarlo como la interacción entre dos factores semiindependientes:

- a. La carga contaminante que es, será o podrá ser, aplicada en el subsuelo como resultado de la actividad humana.
- b. La vulnerabilidad natural a contaminación del acuífero.

Adoptando este esquema podemos tener alta vulnerabilidad pero no riesgo de contaminación, debido a la ausencia de una carga contaminante, y vice versa. Ambos son perfectamente consistentes en la práctica. Aún más, la carga contaminante puede ser controlada o modificada, pero no así la vulnerabilidad del acuífero.

Otras consideraciones determinarán si el riesgo de contaminación del acuífero resultará en una seria amenaza para la calidad del agua subterránea ya desarrollada, o designada, para abastecimiento de agua:

- a. La magnitud del episodio de contaminación.
- b. El valor de los recursos de aguas subterráneas.

El término vulnerabilidad a contaminación del acuífero se utiliza para representar las características intrínsecas que determinan la sensibilidad de una parte del acuífero a ser adversamente afectadas por una carga contaminante impuesta. Es, en efecto, lo inverso a la capacidad de asimilación de contaminantes de un cuerpo de agua receptor, en el lenguaje de la calidad de ríos.

En vista de la complejidad de los factores que afectan la migración de los contaminantes en los sistemas de aguas subterránea, el significado potencial de los factores hidrogeológicos detallados potencialmente contaminante en unas condiciones hidrogeológicas dadas en forma individual y realizar investigaciones de campo para evaluar el riesgo de contaminación. Esto, sin embargo, sería muy costoso y, en la mayoría de los casos, se necesitarla, inicialmente, un procedimiento de evaluación más Simple. Tal procedimiento utilizarla los datos básicos normalmente disponibles para elaborar un mapa de vulnerabilidad del acuífero y, por lo tanto, identificar los principales riesgos de contaminación de aguas subterráneas.

Sin embargo, se debe hacer notar que el concepto de una "vulnerabilidad general para un contaminante universal en un escenario típico de contaminación" no tiene mucho significado científico. Todos los acuíferos, por ejemplo, son vulnerables a contaminantes persistentes derivados de una actividad contaminante que sigue a largo plazo.

### **3.2.9 IMPORTANCIA DE LA ZONA NO SATURADA**

La zona no saturada es de especial Importancia debido a que representa la primera línea de defensa natural contra la contaminación del agua subterránea. Esto no es sólo debido a su posición estratégica entre la superficie y los acuíferos, sino también a que es un ambiente favorable atenuar o eliminar contaminantes. El movimiento de agua en la zona no saturada es generalmente lento y restringido a los poros más pequeños con una superficie específica grande; la condición química es normalmente aeróbica y frecuentemente alcalinas. Esto resulta en un potencial considerable para:

- a. La intercepción, absorción y eliminación de microorganismos patógenos.
- b. La atenuación de metales pesados y otras sus químicas inorgánicas, mediante precipitación (como carbonatos sulfuros o hidróxidos), absorción o intercambio de cationes.

- c. La absorción y la biodegradación de muchos hidrocarburos y compuestos orgánicos naturales y sintéticos.

Por lo general, tales procesos continuarán bajo en la zona saturada de los acuíferos pero generalmente a tasas menores. En reducción de las concentraciones de los contaminantes dependerá de la dilación que resulte de la dispersión hidrodinámica, lo control adecuado para contaminantes altamente tóxicos.

Por lo tanto, es importante que se tome en consideración la zona no saturada para la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero. Si ésta se ignora, las evaluaciones podrían ser excesivamente conservadoras. Sin embargo, el rol de la zona no saturada puede ser complejo y su capacidad para atenuar los contaminantes difíciles de predecir. Pueden ocurrir cambios marcados en el comportamiento de algunos contaminantes si la actividad contaminante cuenta con suficiente carga orgánica o ácida como para causar un cambio radical en el  $B_h$  o el pH de la zona no saturada. Además, en caso de contaminantes persistentes y móviles, la zona no saturada apenas significa un retraso en el tiempo de llegada de éstos al nivel freático, sin atenuación beneficiosa alguna. En muchos otros casos el grado de atenuación dependerá en gran medida del régimen de flujo y del tiempo de retención en la zona no saturada.

Mientras que las velocidades de flujo natural en la zona no saturada de casi todas las formaciones no exceden de  $0.2 \text{ m}^3/\text{día}$  a corto plazo, y menos cuando se promedian por periodos más extensos, el flujo de agua y las tasas de penetración del contaminante en formaciones fisuradas pueden ser de más de un orden de magnitud mayores, en la presencia de una sobrecarga hidráulica artificial. Por lo tanto, el carácter urológico, y especialmente el grado de vulnerabilidad de contaminación de acuíferos, especialmente en relación con la vulnerabilidad comparativa de contaminación microbiana, desagradable y mayormente retardada.



La zona biológicamente activa del suelo forma, en efecto, la parte más alta de la zona no saturada. Muchos de los procesos que causan la eliminación y atenuación de contaminantes ocurren a tasas más altas en esta zona, como resultado de su contenido mineral orgánico y de arcilla más alto, y una población bacteriana mucho mayor. En muchas fuentes de contaminación puntual, sin embargo, la carga contaminante es aplicada debajo del suelo, en la base de excavaciones tales como fosos, zanjas, lagunas, filtraciones y canteras. Por lo tanto, la capacidad de atenuación de la zona no contribuye a la reducción de la vulnerabilidad total del acuífero. La posición es diferente para la mayoría de fuentes de contaminación difusa. Por ejemplo, las características del suelo influenciarán grandemente la lixiviación de nutrientes y plaguicidas desde tierras agrícolas y deposición serial acida serla neutralizada.

### **3.2.10 EVALUACIÓN DEL BALANCE DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO.**

- El desarrollo de las aguas subterráneas es normalmente un proceso progresivo durante un período de varios años, y algunas veces décadas. La formulación de una política adecuada para el control de la explotación del recurso hídrico subterráneo requiere conocer la dimensión del mismo (especialmente la tasa promedio de recarga del acuífero), a fin de establecer un límite máximo para la explotación.
- La naturaleza de las aguas subterráneas y el costo elevado de la investigación hidrogeológica, junto con los problemas de definición de áreas y mecanismos de recarga del acuífero, y la variabilidad temporal y espacial de las tasas de recarga, ocasionan una imprecisión inevitable en la evaluación del recurso. La falta de confianza en las evaluaciones del recurso se debe a una inadecuada inversión en estudios hidrogeológicos regionales, a un número insuficiente de pruebas del acuífero por bombeo y a un inadecuado monitoreo operacional de la respuesta del acuífero a explotación. Consecuentemente no es realista establecer al inicio una





política rígida de control de la explotación basada en una evaluación preliminar del recurso.

- El objetivo de una política de control de explotación debe ser reducir la posibilidad de consecuencias negativas asociadas con una explotación irracional y/o excesiva, pero evitar una sobre regulación, que tenía un elevado costo burocrático y podría desmotivar el desarrollo económico.
- La sobreexplotación del recurso generalmente se alcanzará sólo en situaciones de demanda urbana o industrial concentrada y/o de uso intensivo de aguas subterráneas para irrigación agrícola (aunque acuíferos pequeños pueden ser una excepción a la regla). Además, muchos acuíferos poseen un almacenamiento tan grande (en relación a su recarga promedio anual) para actuar como amortiguador contra los efectos más inmediatos de sobreexplotación localizada.
- En áreas donde la demanda para el desarrollo de aguas subterráneas es elevada, es preferible realizar un monito-reo del nivel piezométrico para indicar el estado de explotación del recurso hídrico subterráneo y evaluar las nuevas solicitudes para permisos de extracción, según el comportamiento del acuífero frente a la extracción existente.
- Las mediciones del nivel de agua en los pozos de producción son difíciles de interpretar por factores como ciclos no uniformes de bombeo y en períodos variables de recuperación. Por lo tanto, una red de pozos de monitoreo es más eficiente para este propósito, especialmente si está equipado con registros continuos del nivel piezométrico.
- Los objetivos del monitoreo continuo o mensual de los niveles piezométricos del acuífero deben incluir:
  - a. Delimitación de direcciones de flujo de las aguas subterráneas.



- b. cuantificación del cono de depresión causada por el bombeo e identificación de áreas con nivel piezométrico en descenso continuo, indicando una posible sobreexplotación del acuífero y desequilibrio hidráulico.
  - c. Estimación del volumen de recarga durante los periodos lluviosos y del drenaje de almacenamiento del acuífero durante periodos de sequía.
- También es importante monitorear, por lo menos mensualmente-te, la posición de la interface agua dulce-agua salina en las áreas costeras sujetas a una explotación significativa de aguas subterráneas.
  - El monitoreo continuo del comportamiento del acuífero en respuesta a una extracción conocida y el análisis de esta información constituye el método más seguro y económico para la actualización de la evaluación del recurso hídrico subterráneo. A medida que el volumen de información aumenta, sería conveniente archivarla y analizarla mediante el uso de modelos numéricos de simulación del acuífero. Los datos de monitoreo operacional son esenciales para una calibración adecuada y uso apropiado de tales modelos en la evaluación de recursos.
  - Existen, sin embargo, limitaciones en este planteamiento en situaciones donde:
    - a. Una interfase de agua de mala calidad está presente en la vecindad del área de explotación.
    - b. El acuífero en explotación es somero y de poco espesor y en consecuencia su almacenamiento es limitado.
    - c. El uso propuesto de las aguas subterráneas es sensible desde el punto de vista económico a los costos energéticos de bombeo.

- d. La ubicación de la zona de demanda para agua está lejos del acuífero identificado para explotación, necesitando una inversión grande en acueducto externo desde el inicio.

En todas estas situaciones es esencial que las investigaciones iniciales sean más completas.

### 3.2.11 CONTROL DE PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE POZOS.

- El normal requerimiento legal es que cualquier compañía particular, individual o limitada que desee perforar o excavar un pozo para explotar aguas subterráneas obtenga un permiso de una entidad reguladora para proceder con la construcción de la captación propuesta. El procedimiento detallado varía en cierta medida por el nivel de conocimiento de las aguas subterráneas en el área.
- En las áreas donde la entidad reguladora posea información confiable para basar sus decisiones, es generalmente posible (y aconsejable) que ellos mismos hagan un estudio de factibilidad a pedido del solicitante y, si es favorable, ofrecer un diseño técnico para la captación del agua subterránea, basado en la información de pozos existentes en las cercanías.
- Cuando la entidad reguladora posee información inadecuada, pueden pedir al solicitante efectuar un estudio hidrogeológico. Este estudio debe incluir la revisión de toda la información pertinente y puede requerir también un reconocimiento geofísico y quizás una perforación exploratoria. El estudio se utilizaría para estimar el probable cono de influencia del pozo de perforación propuesto, la calidad de las aguas subterráneas, y la base para el diseño técnico de la captación.
- El solicitante está legalmente obligado a adoptar el diseño técnico aprobado, empleando una compañía de perforación de pozos de su

elección y a mantener la obra abierta para inspección por la entidad reguladora. En algunos casos, la entidad misma puede estar preparada para realizar ese trabajo.

- Es conveniente que la entidad reguladora esté en posición de ofrecer asesoría técnica al solicitante y a su contratista de perforación, ya que esto fomentará mejores relaciones, asegurando la entrega de información completa y confiable del pozo perforado. Esta asesoría técnica debe incluir opiniones sobre:
  - a. El máximo rendimiento de un pozo bien construido en el acuífero involucrado.
  - b. Un estimado de la profundidad del pozo necesario.
  - c. La ubicación recomendada para el nuevo pozo en relación con los pozos existentes.
  - d. La longitud y el tipo de filtro requerido en el pozo, los materiales de construcción recomendados y el diseño de la protección sanitaria en la cabecera del pozo.
- La instalación de un adecuado sello sanitario en pozos de producción para evitar contaminación directa desde la cabecera del pozo es de importancia primordial. Todavía este mecanismo representa el proceso más frecuente de contaminación de las fuentes de agua subterránea. Existe un requerimiento urgente para asegurar que los contratistas de pozos cumplan con las especificaciones técnicas a fin de asegurar un buen acabado de los otros pozos de construcción.
- Es muy recomendable que la entidad reguladora mantenga un registro de compañías y contratistas de reconocido prestigio en perforación que operen dentro de su área de jurisdicción. Así se podría solicitar a éstos que proporcionen periódicamente el programa de trabajo para cada una de sus máquinas de perforación, preferiblemente en una proforma de cronograma



operacional. De esta manera, se podrá mantener contacto con las operaciones, maximizar la recolección de información (perfiles y registros del pozo y resultados de la prueba de bombeo). Esto sería especialmente útil cuando se perforan pozos en áreas no exploradas o poco conocidas.

- También esto representa la manera más confiable de asegurar que todos los pozos nuevos sean registrados con la entidad reguladora y que cumplan con su diseño técnico. Por último el solicitante deberá entregar un informe técnico del nuevo pozo. Se puede considerar sanciones O multas contra empresas perforadoras que no cumplen con estos requisitos.

### 3.2.12 CONTROL DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

- Una vez construido el nuevo pozo de producción, el solicitante debe pedir un permiso de extracción de la entidad reguladora. Con este fin, deberá entregar el informe técnico sobre la captación, con información completa sobre una prueba de bombeo de duración adecuada, junto con indicaciones del uso propuesto del agua y el rendimiento deseado.
- La entidad reguladora normalmente tomarla una decisión sobre el rendimiento permisible en base a:
  - a. El estado de explotación del recurso hídrico subterráneo.
  - b. Los resultados de la prueba del bombeo.
  - c. El uso propuesto - doméstico, urbano, industrial o agrícola (incluyendo en el último caso el método y área de irrigación propuesta).
  - d. Los requerimientos de calidad para el uso propuesto.
- Si bien es recomendable que las captaciones de agua requieran permiso de perforación, dado que es la única forma en que la entidad reguladora puede controlar efectivamente la extracción y evitar la explotación irracional, muchas entidades reguladoras exoneran a cierto tipo de



usuarios de la necesidad de obtener y pagar por el permiso de extracción. Dichas exoneraciones se conceden generalmente para la extracción en pequeña escala por parte de usuarios domésticos y agrícolas. En estos casos, los controles se efectúan normalmente a través de restricciones en el diámetro y la profundidad de los pozos.

- Una vez establecido el permiso, es todavía necesario determinar la forma de control de extracción. Las posibilidades a este respecto incluyen restricciones sobre:
  - a. El grado de penetración del pozo en el acuífero (en la etapa de pre diseño).
  - b. El tipo de bomba instalada.
  - c. El diámetro del pozo (en la etapa del pre diseño), y de esta manera el tamaño de la bomba que se pueda instalar.
  - d. Las horas de bombeo por día.
  - e. Las tasas de extracción anual o mensual, por medición directa o por inspección sin previo aviso.

Para fortalecer la política de control es necesario efectuar cierta forma de inspección periódica en el caso de grandes captaciones así como visitas sin previo aviso en el caso de pequeñas extracciones.

- Para que cualquier política sea efectiva se requiere cierta forma de sanción o pena legal contra aquellos que construyen pozos de agua sin permiso o exceden la extracción autorizada. Generalmente, esto incluye sanciones, tales como prohibición temporal o incluso permanente del uso del pozo, dependiendo de la escala de la infracción y su efecto en relación con terceros o en el acuífero mismo. Se pueden considerar multas, pero éstas no se consideran generalmente apropiadas en relación al control de la explotación.



- Se ruega prestar una mayor atención al monitoreo operacional del rendimiento de pozos de producción, con el objetivo de diagnosticar la necesidad de mantenimiento del pozo y de la bomba y, a largo plazo, de extender la vida útil y eficiencia global de los mismos. El frecuente descuido de bombas y pozos, ha conducido a la ineficiente explotación de las aguas subterráneas, al abandono de muchos pozos de producción y a la tendencia de construir un número excesivo de pozos en relación a su caudal total.
- En el caso de acuíferos que ya están sobreexplotados, se necesitara adoptar medidas de control para reducir la extracción, ya sea disminuyendo los periodos de bombeo o cerrando selectivamente los pozos. Esto se logra con más facilidad en situaciones donde exista una alternativa de abastecimiento de agua. En lugares donde no es técnica ni económicamente posible, se puede tener éxito si la política se implementa mediante los grupos de usuarios de agua organizados dentro de la comunidad o del sistema municipal.
- Sería necesario tomar medidas especiales en zonas como litorales experimentados, o susceptibles a, intrusión salina en acuíferos. Un buen conocimiento del régimen del flujo en espacio y profundidad de las aguas subterráneas y la distribución de agua salada es la base para definir una política de control de la intrusión salina. La estrategia normal sería:
  - a. Mantener los niveles dinámicos de los pozos encima del nivel promedio del mar.
  - b. Controlar, y hasta reducir, la profundidad de pozos y la capacidad de sus bombas.
  - c. En la medida factible, redistribuir la extracción de aguas subterráneas más lejos de la interfase salina, particularmente los periodos de sequía.

- d. Organizar una red de sondeos de monitoreo de niveles piezométricos y de registros de salinidad/conductividad para proporcionar una base más confiable para la toma de decisión en la gestión de acuíferos.

### 3.2.13 EL PROBLEMA DE POZOS ABANDONADOS.

- Se ha venido observando que los pozos de abastecimiento de agua abandonados o en desuso, son muchas veces utilizados clandestinamente para la disposición de efluentes, particularmente en lugares industriales y domésticos que carecen de alcantarillado.
- Esta práctica ha sido la causa de serios y costosos incidentes de contaminación de aguas subterráneas, desde patógenos microbiológicos hasta químicos tóxicos, y es la causa de preocupación porque los contaminantes son en efecto inyectados en las partes más permeables del acuífero con pocas posibilidades de atenuación.
- Este es un problema serio que tiene que ser manejado acertadamente por las agencias reguladoras o autoridades municipales a pesar de las dificultades inherentes y por lo que se recomienda el siguiente planteamiento:
  - a. Mantener inventarios completos de pozos mediante un programa de inspección en campo, e identificar aquéllos en desuso.
  - b. Sellar con tapones los pozos en desuso, dejando un agujero de 20 mm de diámetro con tapón para permitir el monitoreo, y rellenarlos si hay evidencia de cualquier abuso.
  - c. Iniciar campañas de concientización entre los propietarios y operadores de pozos de agua sobre los riesgos asociados con la descarga de efluentes en pozos en desuso.

### 3.2.14 ACTIVIDADES PRINCIPALES QUE CAUSAN CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS.

Se presenta una lista general de actividades potencialmente contaminantes, con sus características clasificadas. Algunas de las actividades que generan riesgo serio de contaminación en países en desarrollo son comparables a aquellas que ocurren en países altamente Industrializados, pero las que presentan la amenaza más seria en las naciones en desarrollo difieren significativamente, tanto Individual como colectivamente, de sus similares en otros lugares.

La diferencia entre contaminación de fuentes puntuales e identificables y contaminación difusa es de importancia fundamental, especialmente en la consideración de las medidas de control.

#### 1. SANEAMIENTO SIN ALCANTARILLADO.

El saneamiento (in-situ), sin alcantarillado, puede brindar niveles adecuados de servicio para la disposición de excretas en comunidades, pueblos pequeños, e incluso en grandes áreas urbanas, a un costo mucho más bajo que el de los sistemas de alcantarillado con tuberías troncales. Se pueden usar varios tipos de instalaciones, incluyendo tanques sépticos, fosas sépticas y letrinas secas o con descarga manual. Como aún se necesitan amplia y urgentemente mejoras en el saneamiento, es probable que se continúen produciendo grandes aumentos en la disposición de excretas al suelo.

Es importante reconocer que existen diferencias significativas entre los tanques sépticos y las otras unidades más económicas de disposición de excretas in-situ:

- a. Los campos y zanjas de infiltración de los tanques sépticos se descargan a niveles significativamente más altos en el perfil del suelo





que las letrinas, donde las condiciones son más favorables para la eliminación de agentes patógenos.

- b. La descarga hidráulica de los tanques sépticos normalmente está disertada para que no exceda de 30 mm/d, mientras que en algunas otras unidades se puede alcanzar 100 mm/d.
- c. Los tanques sépticos están revestidos en su interior y su efluente sólido, de alto contenido de nitrógeno, es evacuado periódicamente, mientras que en otras unidades, aunque no es recomendable, éste suele permanecer en el suelo.

Bajo algunas condiciones hidrogeológicas, ciertas unidades de saneamiento in-situ presentan el riesgo de una migración directa de bacterias y virus patógenos hacia acuíferos subyacentes y fuentes vecinas de aguas subterráneas. La contaminación de los suministros de aguas subterráneas debido a un saneamiento sin alcantarillado ha constituido una de las causas comprobadas de transmisión de agentes patógenos en numerosos brotes de epidemias. Con frecuencia, éste es el resultado de la falta de espacio en los asentamientos densamente poblados, pero también puede ocurrir en urbanizaciones más prósperas y mejor organizadas que emplean un saneamiento in-situ y que construyen pozos excavados o tubulares particulares para reemplazar, o aumentar, las fuentes comunales de agua.

Los compuestos de nitrógeno en las excretas no representan un peligro tan inmediato para las aguas subterráneas, pero pueden causar problemas mucho más amplios y persistentes, una indicación de la contaminación potencial de aguas subterráneas por nitratos proveniente de las unidades de disposición de excretas in-situ proviene de las siguientes consideraciones: una población de 20 personas/ha representa una descarga de hasta 100 kg/ha/a al suelo, la que, si fuera oxidada y lixiviada con 100 mm/a de



infiltración, podría resultar en una recarga local de aguas subterráneas con una concentración de 100 mg NO<sub>3</sub>-N/l. En la práctica se desconoce la proporción de nitrógeno depositado que será lixiviado, y, como consecuencia de varios procesos, se producirá dilución y reducción. Sin embargo, se puede esperar que los sistemas de saneamiento sin alcantarillado causen frecuentemente incrementos en la concentración de nitratos de las aguas subterráneas, incluso en climas relativamente húmedos. Es probable que provoquen mayores problemas en zonas áridas que no tienen un significativo flujo regional en el acuífero. En los sistemas anaeróbicos de aguas subterráneas con nivel freático poco profundo, la migración de amonio (en vez de nitratos) puede causar problemas locales.

La magnitud del incremento en la concentración de nitrato en aguas subterráneas que se puede esperar se ilustra en un caso de la pequeña Isla atlántica de Bermuda). Aquí se ha demostrado que existe una correlación entre la densidad de la población servida por fosas sépticas y los niveles de nitrato en las aguas subterráneas. La concentración ha aumentado paulatinamente desde 1970 y recientemente se han registrado concentraciones máximas sobre 40 mg NO<sub>3</sub>-N/l en algunos pozos de producción en el sector más densamente poblado.

Localmente, donde la zona no saturada es menos gruesa y está formada por calizas más consolidadas y figuradas, también ocurre contaminación del agua subterránea con bacteria fecal. Se ha mostrado, asimismo, una fluctuación en la intensidad de la contaminación del agua subterránea por bacterias fecales y nitratos provenientes de letrinas, bajo condiciones hidrogeológicas

Si las aguas grises también se descargan a los sistemas de saneamiento in-situ, esto conducirá, a largo plazo, a exponer las aguas subterráneas a riesgo de una seria contaminación adicional como consecuencia de la diseminación progresiva de productos químicos comunales que contienen un



rango y una concentración creciente de compuestos orgánicos sintéticos. No se conoce lo suficiente sobre el comportamiento de estos compuestos en las aguas subterráneas, pero los desinfectantes con diclorobenceno son un ejemplo del problema potencial que existe.

En los lugares donde se justifican técnica y económicamente, se pueden considerar numerosas medidas para reducir el riesgo o la escala de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento in-situ. Estas medidas incluyen modificaciones en los diseños para reducir la profundidad de descarga y la carga hidráulica, la incorporación de un medio filtrante artificial, la eliminación de residuos sólidos nitrogenados y la estimulación de una desnitrificación in-situ. Las medidas para atenuar contaminación también podrían incluir recomendaciones mínimas de separación entre las unidades de disposición de excretas y las fuentes de aguas subterráneas para abastecimientos de agua potable. Sin embargo, bajo condiciones hidrogeológicas desfavorables, ambas tecnologías de bajo costo, el abastecimiento por pozos someros de agua potable y los sistemas de saneamiento in-situ, pueden resultar incompatibles.

## 2. OTRAS ACTIVIDADES URBANAS E INDUSTRIALES

En muchos países aún continúan sin alcantarillado extensos sectores de áreas urbanas y marginales. Un creciente número de industrias y actividades (tales como textilerías, talleres de metales y de vehículos, Imprentas, curtiembres, estaciones de combustible, etc.) con frecuencia tiende a localizarse en forma dispersa en estas áreas. La mayoría de estas industrias genera efluentes líquidos, tales como aceites y solventes.

Ante la falta de control, estos efluentes son descargados directamente al suelo, debido al costo prohibitivo de alternativas tales como tratamiento in-situ, o almacenamiento y transporte hasta lugares seguros de disposición. Un ejemplo de contaminación de aguas subterráneas, por niveles muy altos



de carbono orgánico total y de conductividad eléctrica. Con la creciente variedad y complejidad de productos químicos sintéticos que se usan en estas empresas, algunas actividades podrían representar una seria amenaza a largo plazo para la calidad de las aguas subterráneas locales con respecto a una amplia lista de compuestos, especialmente los hidrocarburos, algunos de los cuales, a pesar de su volatilidad, son solubles y móviles en los sistemas de aguas subterráneas.

Una reciente encuesta de compuestos orgánicos sintéticos realizada en 240 pozos de abastecimiento de agua potable en la isla caribeña de Puerto Rico, reveló que más del 3% tenía concentraciones de, por lo menos, un compuesto peligroso en exceso de 10 ug/l. Los contaminantes más frecuentes fueron los solventes industriales comunes, como cloroformo, tricloroetileno y tetracloroetileno. Numerosos pozos ubicados en varias localidades de la isla fueron cerradas como resultado de la encuesta. Se cree que la mayor parte de la contaminación está asociada con la actividad Industrial presente y pasada (principalmente química, farmacéutica y electrónica) pero los mecanismos precisos de contaminación no son siempre claros.

Las plantas industriales más grandes, que utilizan considerables volúmenes de agua para sus procesos también dispondrán frecuentemente de lagunas para el tratamiento o la concentración de efluentes líquidos. Tales instalaciones, así como los tanques de almacenamiento subterráneos y las líneas de alcantarillado industrial, son teóricamente seguras, pero en la práctica frecuentemente tienen fugas y pueden representar una amenaza a la calidad de las aguas subterráneas. Se requerirá un inventario de todos los lugares en los que se producen, almacenan o usan, los productos químicos más peligrosos, con énfasis en controles apropiados para minimizar el riesgo de descarga directa al suelo.



La disposición de descargas sólidas urbanas e Industriales al suelo también incrementa el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. El riesgo más serio es asociado con basurales no controlados (y no tanto con rellenos sanitarios controlados) y donde los desechos industriales peligrosos, que incluyen barriles de efluentes líquidos, se desechan en lugares inadecuados. En muchos casos no se lleva un registro de la naturaleza y de la cantidad de los desechos volcados en un lugar determinado y los basurales y rellenos abandonados pueden representar, por décadas, un peligro potencial para el agua subterránea. Se cree que la seria y persistente contaminación con cromo hexavalente de varios pozos, ubicados en una zona industrial.

En aquellas áreas urbanas que cuentan con grandes sistemas de alcantarillado, un método económico para el tratamiento de las aguas servidas, en caso de que se considere o se practique alguno, es su estabilización mediante retención en lagunas de oxidación antes de descargar a los ríos, al terreno, o antes de reusarlas para riego. Con frecuencia tales lagunas no están revestidas y pueden tener altas tasas de pérdidas por infiltración, sobre todo después de la construcción Inicial o de la limpieza subsiguiente.

De ser así, ellas pueden tener un impacto considerable sobre la calidad de las aguas subterráneas locales, especialmente con relación a compuestos nitrogenados y orgánicos.

La Infiltración de contaminantes debajo de lagunas de estabilización de aguas residuales está muy bien ilustrada en perfiles detallados bajo unas lagunas al sur de Lima, en los cuales se revelan concentraciones elevadas de varios indicadores orgánicos de contaminación. La zona no saturada tiene un grosor de más de 20 m en el tugar, y presenta una atenuación considerable de contaminación en este intervalo, pero los resultados permiten la estimación de la carga contaminante en instalaciones similares con un nivel freático menos profundo.



En muchos países en desarrollo los efluentes son descargados directamente a corrientes de agua superficial sin tratamiento previo y, en la temporada de sequía, con poca o ninguna dilución. Especialmente en regiones áridas estas corrientes serán, comúnmente, influentes en relación a los acuíferos poco profundos y, contó tales, constituyen indirectamente una seria amenaza de contaminación de las aguas subterráneas.

### 3. ACCIDENTES AMBIENTALES.

Así como se conocen las fuentes más obvias de contaminación, se sabe que pueden ocurrir muchos de los llamados 'accidentes ambientales' que pueden resultar en una carga contaminante discontinua al subsuelo de derivados del petróleo y/o sustancias químicas peligrosas. Tales accidentes ambientales Incluyen incidentes durante su transporte, fugas debido a fallas operacionales o corrosión de las tuberías y de los tanques, etc. Dependiendo de las condiciones hidrogeológicas locales, tales derrames pueden causar un riesgo serio de contaminación de las aguas subterráneas.

En el Estado de Sao Paulo, Brasil, se ha llevado un registro de todos los Incidentes reportados durante el periodo 1982-1985. Sólo se pudo estimar la cantidad de la sustancia química perdida en menos del 50% de los 62 casos registrados. Cerca del 56% de los accidentes ocurrió durante el transporte y 83% de ellos involucraba productos químicos potencialmente peligrosos. En contraste, el 82% de los casos de fugas y rupturas de tanques de almacenamiento y tuberías detectadas estuvo asociado con combustibles.

Un accidente de grandes proporciones que ocurrió en la costa norte de Puerto Rico sirve para demostrar la potencial gravedad de tales incidentes para las aguas subterráneas. Este episodio estuvo asociado con la pérdida de cerca de 50,000 litros de sustancias químicas por la ruptura de un tanque subterráneo de una planta farmacéutica ubicada centralmente en el acuífero cárstico costanero al noroeste de Barceloneta. En el área inmediata, más de 20 m<sup>3</sup>/día de aguas subterráneas se extraen para abastecimiento municipal e



industrial. Las sustancias químicas perdidas Incluyen más de 25,000 litros del solvente volátil tetracloruro de carbono. Este compuesto es altamente soluble en agua, tiene una densidad de 1.6 y es muy tóxico, con un límite recomendado por la OMS para agua potable solamente de 3 ug/l. El derrame ocurrió en setiembre de 1982 y tres días después se descubrió una concentración de 150 ug/l en un pozo industrial a 900 m al norte. Las concentraciones se incrementaron a más de 500 ug/l durante las semanas siguientes, llegando a un punto máximo mayor a 3,000 ug/l. La pluma de la contaminación tóxica se dispersó rápidamente y 20 días después del incidente las concentraciones en dos pozos de abastecimiento municipal de agua a 3,600 m Hacia el noroeste, excedían 10 yg/l, y posteriormente llegaron a 90 ug/l. A mediados de 1984 el número de pozos afectado era de 15 y se Había desarrollado una pluma muy extensa.

Inmediatamente se formó un equipo multidisciplinario de trabajo para localizar el contaminante, para monitorear los pozos de producción a través del área y para tomar medidas de contención y de limpieza al máximo posible, tanto en la zona no saturada como en el acuífero mismo, y para desarrollar abastecimientos alternativos de agua para reemplazar a los pozos que tuvieron que cerrar su producción.

Un número de lecciones vitales puede desprenderse de esta experiencia puertorriqueña:

A El alto costo de la contaminación de aguas subterráneas en áreas tropicales características y acuíferos similares que muestran vulnerabilidad.

- a. La presencia de alto riesgo, aún con un desarrollo industrial relativamente reciente, moderno y bien controlado, y la probabilidad de que el riesgo de contaminación seria fuera más alto si no se hubieran tomado todas las provisiones para un manejo y disposición segura de los efluentes líquidos.

- b. La dificultad para predecir la evolución de la pluma de contaminación, especialmente en acuíferos altamente permeables y heterogéneos.
- c. La necesidad de diseño, construcción, mantenimiento y monitoreo adecuado para asegurar la integridad de los tanques subterráneos de almacenamiento de sustancias tóxicas.
- d. El equipo de personas entrenadas necesario para evaluar el riesgo de contaminación de aguas subterráneas, implementar políticas de protección, y por asociación, la necesidad relativa de concentrar los esfuerzos en áreas altamente vulnerables.

#### 4. PRÁCTICAS AGRÍCOLAS DE CULTIVO.

El Impacto de las prácticas agrícolas modernas sobre la calidad de las aguas subterráneas se hizo totalmente evidente en algunos países Industrializados durante la década del 70. En particular, se demostró la existencia de altas tasas de lixiviación de nitratos y otros iones móviles de muchos suelos sometidos a continuas siembras, sostenidas por aplicaciones de grandes cantidades de fertilizantes Inorgánicos. El Incremento de las concentraciones de nitratos, cloruros y, posiblemente, trazas de otros elementos y de compuestos orgánicos en las aguas subterráneas, son posibles consecuencias de las excesivas aplicaciones de efluentes, lodos o desperdicios animales sobre las tierras cultivadas. Por otro lado, las tierras de pastoreo no pierden mucho nitrato por lixiviación, a menos que estén excesivamente abonadas e intensivamente pasteadas por animales.

Actualmente se está expandiendo en forma rápida el uso de fertilizantes inorgánicos en todas las naciones como un esfuerzo para incrementar la producción agrícola. En consecuencia, numerosos suelos cultivados cambiarán de ser casi invariablemente deficientes en nutrientes (excepto donde la ausencia de humedad limita el crecimiento de plantas), a tener un exceso intermitente de nutrientes. Aún no se ha establecido qué condiciones





de suelos, regímenes climáticos y sistemas de cultivo serán los más vulnerables a lixiviación de nutrientes, aunque las regiones costeras calizas, entre otras, parecen ser muy sensibles en este aspecto.

En climas donde la mayor parte de la demanda de humedad para los sembríos proviene de irrigación, existe la posibilidad de controlar el drenaje y la infiltración en los suelos y, por lo tanto, las pérdidas de nutrientes por lixiviación hacia aguas subterráneas. Sin embargo, este hecho necesita de un entendimiento detallado de los regímenes de agua-suelo, de la selección específica de sembríos y de un manejo y tecnología de irrigación avanzados, lo que tomará muchos años para poder practicarse a nivel de campo. Mientras tanto, existe el riesgo de una importante lixiviación de nutrientes especialmente de los suelos más delgados, de textura más gruesa, y más permeables que se encuentran bajo un régimen de cultivo con irrigación. En lugares en que el agua residual es la fuente principal de irrigación, esta práctica puede causar un aumento de la salinidad de las aguas subterráneas, y de las concentraciones de nitrato y micro contaminantes orgánicos.

El impacto potencial de la Irrigación del agua servida hacia el agua subterránea también se estableció claramente en la investigación de la zona no saturada de una zona desértica ya mencionada al sur de Urna. La baja eficiencia de la irrigación es beneficiosa para reducir la salinidad de la recarga de las aguas subterráneas. Por lo tanto, las concentraciones de cloro solamente promedian alrededor de 160 mg/1 debajo de la tierra de cultivo, a pesar del nivel de 110 mg/1 en el agua residual. Las altas tasas de Irrigación, sin embargo, conducen a un gran exceso de nutrientes y de pérdida de nitratos por infiltración hacia el agua subterránea. Un equivalente de casi la mitad y un tercio de la carga aplicada de nitrógeno a una tierra cultivada y a un bosque, respectivamente (390 y 440 kg N/ha/a), esta lixiviado. Aún más, la eliminación de bacterias fecales es menos efectiva debajo de la tierra cultivada que debajo de las lagunas de estabilización y números

significativos penetran a menos de 10 m de profundidad bajo de estas condiciones de irrigación y de suelo.

El Impacto de la agricultura Irrigada sobre las aguas subterráneas puede ser a fin más dramático. En algunas zonas áridas con suelos permeables, el cultivo de las tierras con sistemas ineficientes de irrigación ha creado, en efecto, un recurso nuevo de agua subterránea. Entonces, los esfuerzos para reducir las pérdidas de agua reducirán la dimensión de este recurso e incrementarán su salinidad. La sobre irrigación puede causar grandes Incrementos en el nivel freático y resultar en una salinización del suelo y del agua subterránea proveniente de la evapotranspiración freática directa. Aún más, la Infiltración salina hacia las aguas subterráneas puede ocurrir durante la habilitación inicial, y el manejo subsiguiente de los suelos irrigados, por la aplicación excesiva de agua superficial.

### **3.2.15 ZONIFICACION DEL TERRENO PARA LA PROTECCION CONTRA CONTAMINACION.**

#### **1. ESTRATEGIA GLOBAL**

- Mejorar la protección de las aguas subterráneas contra una contaminación seria es una tarea difícil, que comprende conceptos complejos y generalmente no comprendidos.
- Existen dos estrategias independientes pero interrelacionadas que pueden ser seguidas; éstas son la protección de:
  - a. El recurso hídrico subterráneo o el acuífero entero.
  - b. Las captaciones de agua subterránea, es decir, aquellas partes del acuífero donde se explota el recurso para un determinado tipo de abastecimiento de agua.



Esto último se considera como una protección especial y adicional, suplementaria del primero. Se debe hallar un equilibrio realista entre los dos, según las circunstancias locales.

- Los acuíferos están protegidos naturalmente contra la contaminación de su agua subterránea por la zona no saturada o las capas impermeables encima de ellos (en el caso de acuíferos no confinados/freáticos y acuíferos confinados/artesianos, respectivamente). El grado de protección contra un determinado contaminante varía con el tipo de perfil del suelo y el material de cobertura del acuífero. También varía considerablemente con el tipo y modo de descarga del contaminante.
- La necesidad de lograr máxima protección del acuífero dependerá también de la utilización actual o proyectada de las aguas subterráneas. Una política de protección de las mismas captaciones del agua, normalmente se aplica sólo para pozos y manantiales de gran caudal en explotación como fuente de agua potable. Se implementa ejecutando controles y/o vigilancia sobre actividades humanas en zonas definidas alrededor de la captación, cuyo tamaño es calculado en base a la velocidad estimada del flujo horizontal del agua subterránea en el acuífero.
- Con respecto a la protección del recurso hídrico subterráneo, es necesario zonificar el terreno en relación con su vulnerabilidad a la contaminación. Esto permitiría una lógica asignación de las medidas prioritarias de control y evitará la introducción de políticas investigación costosa en el campo. Sin embargo, debe notarse que esta estrategia es incorporada indirectamente en reglamentos sobre la mínima separación entre captaciones de agua subterránea e instalaciones de saneamiento in-situ.
- Las estrategias orientadas a la protección de acuíferos (en vez de sólo a las captaciones) son de aplicación más universal, dado que tratan de lograr

un grado de protección para el recurso hídrico subterráneo entero y para todos los usuarios de las aguas subterráneas.

- Se debe reconocer que suele existir zonas limitadas de acuíferos que no se justifican proteger, porque la calidad de su agua es naturalmente inferior o ya ha sufrido un deterioro excesivo. En tales zonas una estrategia posible es prohibir la explotación de aguas subterráneas para uso potable y permitir la descarga al suelo de efluentes como una forma de disposición a bajo costo. Sin embargo, esta política necesita un cuidadoso planeamiento y control para evitar riesgos serios asociados con:
  - a. El uso de pozos como fuente doméstica de agua en períodos de sequía, cuando la demanda excede el suministro.
  - b. El cambio en la orientación de flujo de aguas subterráneas hacia otras zonas de captación.
  - c. Contaminación de acueductos de agua potable debido a un aumento de contaminación de agua subterránea en los niveles freáticos del subsuelo.

## 2. MAPEO DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.

- En vista de la complejidad de factores que afectan el transporte de contaminantes en el subsuelo y la singularidad de cada situación, puede parecer más lógico tratar cada actividad individualmente y realizar evaluaciones independientes de los requerimientos para el control de contaminación. Sin embargo, este tipo de planteamiento requiere recursos humanos considerables, mayor inversión en investigaciones de campo, y puede presentar problemas administrativos cuando la responsabilidad institucional es compartida.





- Se requiere entonces un marco general dentro del cual se manejen las políticas de protección y se den prioridad a las medidas de control, a fin de lograr una cobertura universal y evitar decisiones inconsistentes. Una clasificación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación ofrece el elemento central para este fin.
- La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación se ha definido ya (para la evaluación de riesgos de contaminación de las aguas subterráneas) como un conjunto de características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del suelo y que determinan la sensibilidad del acuífero a ser afectado adversamente por una carga contaminante aplicada. Esta definición se considera adecuada y lógica para el propósito de este manual-guía.
- Hay que considerar la vulnerabilidad del acuífero en interacción con la carga contaminante que es, será o sería, aplicada al subsuelo como resultado de la actividad humana, que ocasiona un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. {El término "riesgo de contaminación de las aguas subterráneas" se define como la probabilidad que el acuífero, aunque no necesariamente una captación de agua, se contamine a niveles inaceptables). Al adoptar tal esquema, podemos tener una elevada vulnerabilidad sin riesgo de contaminación, por la falta de una carga contaminante significativa y viceversa. Ambos son perfectamente lógicos en la práctica.
- Dado que la carga contaminante puede controlarse, las estrategias de protección de las aguas subterráneas contra la contaminación intentan alcanzar dicho control conforme sea necesario, tomando en cuenta la vulnerabilidad del acuífero y su capacidad natural para atenuación de contaminantes.

- Sin embargo, si la protección del recurso hídrico subterráneo tiene este fundamento, se debe recordar que el concepto de la vulnerabilidad general a un contaminante universal en un escenario típico de contaminación no tiene validez científica precisa. Todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes persistentes en el largo plazo. Además, los acuíferos que podrían considerarse generalmente como menos vulnerables a la contaminación, de acuerdo a estos términos, tienden a ser los más difíciles de rehabilitar si se contaminan.
- No obstante, se considera que la vulnerabilidad general de los acuíferos a la contaminación es un concepto útil que sirve como base para la implementación de una política de protección de acuíferos. En primer lugar y por lógica es función de:
  - a. La inaccesibilidad de la zona saturada del acuífero a la penetración de contaminantes en un sentido hidráulico.
  - b. La relativa capacidad de atenuación de los estratos que yacen sobre la zona saturada del acuífero, como resultado de la retención física y reacción química de contaminantes. Esta zona favorece la atenuación o eliminación de contaminación porque el movimiento del agua es generalmente lento y restringido a los poros más pequeños con mayor superficie específica.
- Por estas consideraciones es conveniente caracterizar la vulnerabilidad del acuífero en base a los siguientes parámetros que están generalmente disponibles o son fácilmente determinados:
  - a. Grado de confinamiento de las aguas subterráneas.
  - b. Características generales de los estratos sobre la zona saturada, en términos de tipo litológico y grado de consolidación.

c. Profundidad de la napa freática o techo del acuífero confinado.

Colores específicos pueden ser utilizados para representar las principales divisiones litológicas de los estratos encima de la zona saturada del acuífero, diferenciando la profundidad del agua con variaciones en la intensidad de color. Se reconoce en situaciones con una creciente sobreexplotación que a y b varían con el tiempo, haciendo menos confiable la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero.

- Este esquema de clasificación de vulnerabilidad del acuífero no incluye una consideración del suelo biológicamente activo. Se acepta que muchos procesos que producen eliminación y atenuación de la contaminación subterránea ocurren en tasas máximas en esta zona, como resultado de su mayor contenido de materia orgánica y de arcilla, y una mayor población de bacteria.

En muchas fuentes puntuales de contaminación, sin embargo, la carga contaminante subterránea se aplica por debajo del suelo en la base de las excavaciones (tales como fosas, zanjas, lagunas, sumideros y canteras) y la capacidad de atenuación de esta zona no contribuye a reducir la vulnerabilidad del acuífero, excepto en el caso de contaminación dispersa por cultivo agrícola del suelo.

- Los principales elementos que proporcionan la protección natural de los acuíferos y efectivamente determinan su vulnerabilidad a la contaminación pueden ser mapeados individualmente. Un paso adicional puede ser ponderar estos parámetros y luego combinarlos en un índice general de vulnerabilidad del acuífero que podría ser mapeado.
- Una complicación se presenta cuando la vulnerabilidad es uniformemente baja en áreas de cobertura superficial relativamente impermeable. Aquellas porciones de estas áreas que generan flujo en ríos influentes, sea en forma

natural o como consecuencia de bombeo ribereño, deben ser identificadas por separado.

- Finalmente debe enfatizarse que los mapas de vulnerabilidad del acuífero, representan un marco general dentro del cual se puede establecer la política de protección de las aguas subterráneas. Ambos son, sin embargo, distintos tanto en concepto como en función. El primero debe ser solamente la representación simplificada de los datos hidrogeológicos disponibles. Las áreas definidas para la implementación de una política puede incluir más de una clase de vulnerabilidad, según su objetivo. Este marco general no intenta eliminar la necesidad de considerar en detalle actividades potencialmente contaminantes antes de la toma de una decisión.

#### 4. ÁREAS DE PROTECCIÓN DE LAS CAPTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

- El objetivo de áreas especiales de protección (SPAs) es dar un elemento adicional de protección para algunas captaciones de aguas subterráneas (pozos o manantiales). Esto se logra implantando controles estrictos en las actividades que se realizan dentro de parte o toda su área de recarga. Es importante destacar que las áreas de protección no son tan apropiadas en acuíferos sobreexplotados ya que éstos tienden a interactuar y combinar. En efecto se necesita proteger toda el área de recarga.
- El área de protección más amplia que se puede definir para un pozo o manantial es la de captación y recarga. Este es el área dentro del cual toda recarga del acuífero, ya sea proveniente de precipitación o infiltración de agua superficial, será captada. No deberá confundirse esta área con la de interferencia hidráulica causada por el bombeo de un pozo, que es más grande.





- En la práctica la definición requiere mayor especificación. Es común emplear el máximo permitido de tasa de extracción (no la vigente) conjuntamente con la tasa promedio de recarga a largo plazo, al calcular tales áreas. Es aceptable que en situaciones extremas de sequía, el área de captación vigente sea más grande que la protegida.
- Las zonas de captación de los pozos tienen una significación no sólo en términos de protección de la calidad de aguas subterráneas, sino también con relación a la gestión de los recursos hídricos subterráneos. En áreas que experimentan una extracción intensiva también pueden ser utilizados para el control de explotación.
- Para eliminar completamente el riesgo de contaminación, toda actividad potencialmente contaminadora tendrá que ser prohibida o controlada al nivel requerido dentro de toda la zona de captación. Esto será frecuentemente insostenible debido a presiones socioeconómicas para el desarrollo. Se requerirá efectuar alguna división de la zona de captación para aplicar restricciones más severas en aquellas áreas cercanas al pozo o manantial.
- Esta subdivisión puede basarse en diversos criterios, dependiendo de la amenaza de contaminación percibida, que incluye: distancia horizontal, tiempo de flujo horizontal, proporción del área de recarga, dilución de la zona saturada y/o capacidad de atenuación. Sin embargo, en general se considera una combinación del tiempo de flujo horizontal y el criterio de distancia más apropiado.
- La capacidad de dilución y atenuación de la zona saturada de acuíferos, en la práctica, es difícil de cuantificar y predecir, aunque crecerá en un sentido general con el aumento de la distancia y el tiempo de flujo del flujo horizontal.



- Instintivamente, la dilución parecería ser un criterio útil para delimitar perímetros de protección de fuentes dentro de la zona de captación. Sin embargo, los dos ejemplos simples detallados a continuación demostrarán que no siempre es así:
  - a. Para el caso de descarga continua de contaminante persistente en un acuífero (por ejemplo, fuga de un tanque de almacenamiento) a una tasa fija ( $q$ ), la dilución en un pozo de bombeo continuo (a una tasa  $Q$ ), será  $q/Q$  irrespectivamente de la distancia entre la fuente de contaminación y el pozo.
  - b. Para el caso de fuentes instantáneas (ej. un accidente de transporte) la consideración de un modelo simple, en donde el flujo radial al pozo es sobreimpuesto al flujo uniforme regional sin recarga, indica que la dilución como criterio no es conveniente. Con una mayor distancia aguas arriba del pozo, el flujo de aguas subterráneas es esencialmente rectilíneo. La dilución según la llegada al pozo de un volumen fijo de contaminante introducido entre dos líneas de flujo específicas en la región de flujo rectilíneo será independiente de la distancia, si ignoramos la dispersión hidrodinámica que es difícil cuantificar y predecir.
- Bajo ciertas circunstancias, se preferirá aplicar la alternativa de protección especial a una proporción del área de recarga como solución para disminuir la contaminación agrícola difusa de las aguas subterráneas, pero aún allí, inevitablemente surgirá la pregunta qué parte de la zona de captación se debe proteger.
- En la práctica hacer más de 2 o 3 subdivisiones de toda la zona de captación será generalmente muy útil: el área operacional, una zona de protección interior relacionada al control de contaminación de patógenos, y



quizás una zona de protección exterior que permita un control diferencial de las fuentes puntuales o difusas de contaminación en el área restante.

- El área interna de máxima protección es la zona operacional, que comprende un área pequeña de tierra alrededor del mismo pozo o manantial. Es preferible que el dueño de la captación sea el propietario y quien tenga control de esta área. No se deberá permitir actividades que no estén relacionadas propiamente con la extracción de agua, e incluso estas actividades deberán estar celosamente evaluadas y controladas para evitar la posibilidad que contaminantes alcancen directamente al pozo o vía terreno adyacente. La especificación de la dimensión de esta área es un tanto arbitraria. Dependerá hasta cierto punto del carácter de las formaciones geológicas presentes, pero siempre debe ser más de 30 m. en radio.
- Es recomendable definir una zona de protección interna, para la prevención de la contaminación patogénica de las captaciones de aguas subterráneas, basada en la distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal específico. El tiempo empleado ha variado significativamente entre las agencias reguladoras en los diferentes países entre 10 a 400 días.
- Una revisión de todos los casos históricos publicados de contaminación de aguas subterráneas por patógenos, ha concluido que la distancia del transporte horizontal de la bacteria y virus en la zona saturada está gobernada principalmente por la velocidad del flujo de las aguas subterráneas. En incidentes de contaminación reportados, la distancia horizontal entre el pozo o manantial y la fuente comprobada de contaminación era equivalente a no más que la distancia recorrida por el agua subterránea en 20 días, a pesar del hecho que los patógenos son capaces de sobrevivir más de 400 días en el subsuelo. Es razonable, en consecuencia, utilizar 50 días para definir la zona de protección interna, que concuerda con la práctica existente en muchos casos.



- Una zona de protección externa puede ser necesaria para permitir el control diferencial de las fuentes puntuales y difusas de contaminación en el resto del área. Sin embargo, las dudas científicas actuales acerca de los promedios de las tasas de degradación de otros tipos de contaminantes en el subsuelo, unido a la complejidad de dispersión y dilución, implican que el criterio utilizado para su definición será inevitablemente arbitrario. Puede ser un porcentaje fijo del área de la zona de captación o un tiempo fijo del flujo horizontal al pozo o manantial. Una posibilidad, teniendo en cuenta que fuentes de contaminación puntual y difusa y contaminantes degradables y persistentes necesitan diferentes tipos de medidas de control, sería usar el tiempo de flujo horizontal en un orden de magnitud mayor que el usado para la zona de protección interna (500 días), pero establecer un límite mínimo de 25% como la proporción de la zona de captación protegida.
- Cuanto más grande sea el área definida, mayor será la posibilidad de dilución, atenuación y eliminación de los contaminantes tóxicos degradables, y por ende, menor el riesgo de contaminación del pozo o manantial. Además, cuanto más grande sea el área definida, mayor será el tiempo disponible para remediar o controlar la contaminación, al menos en aquellos casos donde el incidente contaminante es inmediatamente reconocido y notificado.
- La diversidad de tamaños y formas de las áreas especiales de protección bajo diferentes condiciones hidrogeológicas. Cabe destacar que la definición del área de captación y recarga es dependiente principalmente en el régimen de recarga. Problemas surgen si el acuífero inmediatamente alrededor de la captación es confinado, cuando el área de protección es separado y distante, o si éste es parcialmente confinado y no hay certidumbre sobre los promedios de recarga a través de las capas confinantes.





- En toda instancia será esencial reconciliar la definición de áreas de protección, bien sea en base a modelos analíticos o numéricos, con el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas locales.
- En la definición de áreas de captación y recarga surgen problemas especiales en situaciones donde la divisoria hidrológica subterránea está a gran distancia, y/o el gradiente hidráulico regional es muy bajo y/o cuando existen cursos de aguas superficiales fluyendo a través de los acuíferos no confinados. Es evidente que en lugares donde las aguas superficiales son influentes dentro de la zona de captación, cualquier actividad potencialmente contaminante en la cuenca superficial aguas arriba del área de captación podría afectar la calidad del agua subterránea y debería estar destinada para una protección especial, no obstante con un control menos riguroso que los aplicados dentro de las propias zonas de protección.
- Las propiedades de acuíferos (especialmente la porosidad "activa" y el espesor "efectivo", y a veces la transmisibilidad) ejercen un control dominante sobre, la dimensión de áreas de protección definidas por el tiempo de flujo. La sensibilidad a variación de estos parámetros será inmediatamente evidente y, por esto, será esencial emplear valores realísticos. El estimado de valores para porosidad y espesor puede presentar problemas significativos en el caso de acuíferos porosos fisurados y en acuíferos multicapas, respectivamente. Los peligros de sobreestimar estos parámetros también serán aparentes.
- Otra complicación práctica con las áreas especiales de protección es que ellas interactúan, cambian de posición y tienen formas complejas si varios pozos existen próximos uno a otro. Por lo tanto, estas áreas son las que son apropiadas para acuíferos con regímenes de explotación estables. En el caso de acuíferos sobreexplotados, sería más práctico unir áreas individuales en un área más grande y general de protección. Sin embargo,



si una proporción significativa de explotación es para uso no potables (por ejemplo, riego) se presenta una complicación adicional.

- La definición de áreas de protección puede alcanzarse mediante el uso de modelos computarizados. Existen diversos que han sido usados y razonablemente probados. Estos modelos darán resultados confiables si son usados apropiadamente, tomando en cuenta la incertidurable en los parámetros. Idealmente, se utilizarían modelos de flujo tridimensional de aguas subterráneas para delinear las áreas de protección. Sin embargo, en la práctica, no se cuenta casi nunca con la información adecuada sobre permeabilidad vertical del acuífero y variaciones de carga hidráulica, y lo mejor que se puede lograr son formulaciones de parámetros bidimensionales con una cautelosa selección.
- Todos los modelos computarizados determinan las zonas efectuando pequeños pasos para el rastreo del movimiento de partículas en una dirección aguas arriba, usando la distribución de velocidad de flujo para determinar el tiempo para pasar de un punto al otro y por tanto el tiempo total recorrido. Se puede calcular el perfil para una isochrona determinada mediante varias trayectorias con igual tiempo de recorrido, pero saliendo en diferentes direcciones. Para la zona total de captación y recarga, las trayectorias deben continuar hasta llegar a una velocidad de cero o al límite del acuífero.
- La distribución de velocidad requerida para el proceso de rastreo del flujo habrá sido normalmente determinada desde la carga hidráulica, y la distribución de carga hidráulica será en la mayoría de los casos mejor obtenida con la ayuda de un modelo numérico. Modelos de transporte de contaminantes incorporando dispersión, retardo y degradación y aquéllos que tratan con contaminantes en fase inmisible son considerados demasiado complicados para ser utilizados en esta aplicación.

- Ya se cuenta con experiencias útiles en áreas de protección de captaciones de agua subterránea en la Región de América Latina y el Caribe. Desde el año 1963, las autoridades de Barbados, preocupados por el peligro de la contaminación del agua subterránea, dividieron la isla en cinco zonas, con diferentes niveles de control de desarrollo. Esta política le ha servido a Barbados para proteger sus recursos hídricos subterráneos que constituyen la única fuente de agua que sirve a una población por encima de los 250,000, además de una mayor afluencia de turistas por temporadas. Recientemente, la calidad del agua subterránea ha estado bajo presión en algunas áreas producto del desarrollo urbano, industrial y de vías terrestres, así como del cambio e intensificación del cultivo agrícola que no está sujeto a control.
- Una primera fase valiosa en la implementación de áreas de protección es estimar su extensión y considerar sus implicancias en base a cálculos utilizando datos hidro geológicos existentes y enfáticamente se recomienda que este ejercicio de planificación sea llevado a cabo por todas las compañías municipales de agua y que sea considerado como un asunto de prioridad. La viabilidad de poner en práctica la implementación de tales áreas de protección dependerá del nivel del -desarrollo urbano e industrial existente, y del nivel de la explotación total del acuífero comprometido.

### **3.2.16 CONTROL DE FUENTES DE CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

#### **1. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CONTAMINANTES.**

- Las actividades humanas en la superficie que generan una carga contaminante al subsuelo se pueden clasificar de diferentes maneras.



- La clasificación más común es genérica que divide las actividades en categorías, tales como residencial, industrial, agrícola y minera con diversos niveles de subdivisión. Otros criterios frecuentemente son utilizados en estudios hidrológicos como la distribución espacial (fuentes puntuales, fuentes dispersas, etc.), tipo de contaminante, volumen y profundidad de la descarga del contaminante con respecto a la superficie.
- Sin embargo, en el desarrollo de estrategias para el control de la contaminación es necesario considerar también otros criterios como el instante de la descarga contaminadora y la actitud del mismo contaminador. Es importante reconocer la diferencia entre:
  - a. Riesgos futuros de contaminación que surgen como resultado de una actividad propuesta.
  - b. Contaminación existente que resulta de actividades iniciadas después de la introducción de la legislación protegiendo las aguas subterráneas.
  - c. Contaminación existente que resulta de actividades establecidas antes de la introducción de esta legislación y que han continuado sin modificaciones.
  - d. Contaminación que ocurrió antes de la existencia de la legislación y es a menudo la herencia de actividad industrial en tiempos pasados. Al final de este capítulo se presentan estrategias con respecto a este problema de "terreno contaminado".
- La legislación ambiental puede ser retrospectiva o retroactiva en cierto grado, pero generalmente no se aplica a todas estas situaciones.



- También una clasificación basada en la actitud filosófica del contaminador es importante y se pueden reconocer cuatro categorías con relación a la contaminación actual o reciente:
  - a. Intencional. Esta categoría incluye todas las actividades autorizadas y sistemas diseñados para usar el subsuelo para tratamiento y/o disposición, tales como letrinas, tanques sépticos, sumideros de drenaje, etc.
  - b. Incidental. Esta categoría incluye actividades planificadas, que ocasionan descargas descontroladas al subsuelo, tales como la mayoría de los rellenos sanitarios, muchas lagunas de efluentes y todo cultivo agrícola.
  - c. Accidental. En esta categoría se incluyen sistemas diseñados para evitar la descarga subterránea, por ejemplo tanques de almacenamiento de líquidos químicos, aunque éstos presentan un riesgo de contaminación por fugas y derrames.
  - d. Clandestina. Esta categoría está constituida por toda actividad ilegal no autorizada que causa o puede causar la generación de una carga contaminante al subsuelo.
- Estas clasificaciones, sin embargo, no son estáticas. La misma actividad puede presentarse de una categoría a otra, si se incorporan cambios de diseño. Además, pueden ocurrir ejemplos de actividades diseñadas inicialmente, para evitar toda descarga de contaminantes al subsuelo, excepto en caso de accidente, que consecuentemente ocasiona contaminación por descuido o negligencia operacional.
- Para el propósito de esta guía, es conveniente distinguir en principio, entre fuentes puntuales (conocidas o potenciales) y fuentes dispersas de contaminación, y ésta es la subdivisión utilizada en este capítulo.

## 2. ESTRATEGIA PARA FUENTES POTENCIALES.

- En el supuesto que existan acuerdos administrativos y poderes legales que regulen nuevas fuentes potenciales de contaminación puntual de aguas subterráneas, aún será esencial desarrollar una estrategia de control. Generalmente, el control se logra requiriendo que la entidad reguladora sea consultada en la etapa de planificación. Pueden surgir problemas cuando intereses económicos fuertes influyen o cuando las facultades de la entidad reguladora no son mandatorias. Sin embargo, éstas deben desempeñar una función persuasiva significativa.
- En áreas seleccionadas será necesario prohibir determinadas actividades exigiendo su reubicación o restringirlas, insistiendo en una tecnología alternativa para proteger las aguas subterráneas (por ejemplo, sustituir una planta de tratamiento de efluentes por una laguna de infiltración). En muchos casos las mejoras en los diseños propuestos, con el objeto de reducir el riesgo de infiltración de contaminantes o la carga hidráulica asociada con los contaminantes, pueden ser suficientes. Las mejoras y precauciones más comunes en relación a las fuentes puntuales de contaminación se presentan más adelante.
- En otros casos se podría permitir la actividad pero se debe estipular una condición de monitoreo "ofensivo" para detectar anticipadamente cualquier impacto significativo en la calidad de las aguas subterráneas, de manera que se pueda introducir una solución oportuna, en el caso que sea necesario. Las técnicas de muestreo de aguas subterráneas y el diseño de redes de monitoreo han sido discutidos en detalle en un manual anterior.
- La decisión (entre prohibir, restringir o permitir) se tomará mediante la consideración de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y el interés en las aguas subterráneas para abastecimiento de agua potable (representado por la existencia de áreas especiales de protección). Estos



conceptos han sido analizados en capítulos previos, pero debe enfatizarse que intentar relacionar medidas de control específicas para una determinada actividad en una zona específica, no es tarea fácil y dependerá significativamente de la experiencia de la entidad reguladora.

- El incumplimiento de las reglas de control será sancionado mediante multas en dinero y/o revocación de los permisos de operación o de descarga. Por lo general, en la legislación ambiental se reconoce dos posiciones distintas:
  - a. Acción legal civil para recuperar el costo total de la contaminación, incluyendo no sólo el de tratamiento del abastecimiento de agua afectado o provisión de un abastecimiento alternativo de agua, sino también el de rehabilitación (limpieza) del acuífero. Esto implica un compromiso financiero a largo plazo, que de tener éxito invariablemente es muy costoso. Las acciones legales, de ser exitosas, generalmente requerirán una evidencia de la causa de contaminación "más allá de toda duda razonable". Dada la complejidad y lenta respuesta de muchos acuíferos, el peso de la prueba es frecuentemente oneroso y los casos de éxito muy escasos.
  - b. Acción administrativa cuasi-legal que comprende multas más pequeñas, frecuentemente nominales, en vez de recuperar el costo total de las consecuencias de la contaminación. Tales acciones se realizan si el "balance de la evidencia" demuestra una contaminación subterránea, aunque no necesariamente la contaminación de un determinado abastecimiento de agua subterránea.
- El principio del "contaminador paga", en su sentido más directo y simple, es ineficaz para el caso de aguas subterráneas, comparado por ejemplo con el control de la contaminación de los ríos, porque normalmente una contaminación severa del acuífero ocurre antes de reconocerse claramente el problema.

- Además, la comprobación en cuanto a la fuente precisa y/o tiempo exacto de contaminación es generalmente muy onerosa.
- El mejor planteamiento para la aplicación de este principio es que el contaminador potencial debe pagar por la protección del acuífero, en términos de medidas de control y monitoreo ofensivo.

### 3. ESTRATEGIA PARA FUENTES EXISTENTES.

- En el contexto del control de la contaminación de aguas subterráneas, diferentes problemas se presentan por las fuentes potenciales de contaminación que existen antes de la implantación de una política de protección y aprobación de la legislación asociada.
- El problema inicial de controlar tales fuentes de contaminación de aguas subterráneas es simplemente identificarlas. Esto no es tan fácil como puede parecer a primera vista. Los métodos de estudios de reconocimiento de carga contaminante al subsuelo han sido esbozados en un manual anterior. La clasificación de tipos de actividad industrial en términos de su relativa contaminación potencial de aguas subterráneas es un aspecto importante. Sin embargo, a menos que los acuerdos administrativos y normas legales incluyan autoridad para exigir detalles completos del almacenamiento y uso de químicos peligrosos en la industria, y el derecho a la inspección minuciosa de los locales industriales, puede ser difícil confirmar confiablemente el riesgo de contaminación de aguas subterráneas.
- Las alternativas de control de la contaminación son en cierto modo más limitadas porque las normas legales difícilmente son retroactivas, aunque la mayoría de las alternativas tecnológicas en la Tabla 10 y las modificaciones de diseño discutidas posteriormente en este capítulo son aplicables. Debe ser posible controlar la descarga continua de las





actividades de esta categoría, aunque algunas medidas de control tendrían que efectuarse en base a subsidios o costos compartidos.

- El planteamiento más práctico para el control de fuentes existentes de contaminación de aguas subterráneas es realizar un inventario detallado dentro de áreas de alta vulnerabilidad del acuífero y/o de zonas especiales de protección. Dicho inventario debe establecer el almacenamiento, uso y disposición de químicos peligrosos en estas áreas.
- Se debe dar seguimiento a este inventario mediante una inspección más detallada de los lugares de interés particular, donde sea legalmente posible, y/o por la instalación de una selectiva red de monitoreo ofensivo del acuífero. Si se comprueba una seria contaminación de las aguas subterráneas, o se confirma un riesgo de contaminación, se puede negociar la modificación de acuerdos de manejo, almacenamiento y disposición de químicos industriales en base a subsidios o costos compartidos. Dado que la mayoría de los procesos industriales están en continuo proceso de evolución, pueden requerir y negociar mejores procedimientos para la protección de las aguas subterráneas en cada ocasión que un proceso industrial sea modificado.
- La causa más común de contaminación de las aguas subterráneas es la disposición de efluentes industriales no tratados directamente al suelo o vía cauces de agua superficial influentes. Cuando esta disposición es inevitable, dado que no es factible otro método de disposición, se deben hacer esfuerzos para minimizar la generación de efluentes e imponer un tratamiento selectivo. Debe recordarse, sin embargo, que en lo que se refiere a la contaminación de aguas subterráneas, el interés no es tanto reducir la carga orgánica total y o lodo de sedimentos en suspensión, sino más bien eliminar cualquier químico tóxico potencialmente móvil y persistente que pueda estar presente.

- Dada la persistencia de muchos tipos de contaminantes en la superficie, frecuentemente puede ser difícil, en el caso de actividades existentes, demostrar si la contaminación de aguas subterráneas ocurre como resultado de las descargas del momento o como legado de actividades pasadas. En este caso, la recuperación de acuíferos sólo puede obtenerse mediante algún tipo de fondo central, derivado quizás de impuestos sobre la venta de químicos potencialmente contaminantes o mediante otros mecanismos.

### 3.2.17 EL AGUA EN LOS SUELOS

Cuando se altera la forma de la superficie de un líquido, de manera que el área aumente, es preciso realizar para ello un trabajo; éste se recupera cuando la superficie se retrae a su forma primitiva, de modo que la superficie en cuestión resulta capaz de almacenar energía potencial.

El trabajo necesario para aumentar el área de una superficie líquida resulta ser, experimentalmente, proporcional al aumento, definiéndose como coeficiente de tensión superficial la relación entre ambos conceptos.

$$dW = T \cdot dA$$

$$\therefore T_s = \frac{dW}{dA}$$

$T_s$  es el coeficiente mencionado, que se mide en unidades de trabajo o energía entre unidades de área o sea, por ejemplo, en dinas/cm. Representa la fuerza por unidad de longitud, en cualquier línea sobre la superficie.

Puede probarse que cuando un líquido presenta al aire una superficie curva, se genera en ese menisco curvo un desnivel de presión, de modo que la presión en el lado convexo es siempre menor que la existente en el lado cóncavo. Una demostración particular de esta afirmación, para el caso de un menisco semiesférico se da a continuación. El líquido enrasado en el extremo del tubo

cede por la presión formando un menisco, que provoca un aumento en la superficie que encierra al tubo. Se demuestra que inmediatamente antes de que el menisco se rompa al crecer  $p$ , adopta la forma de una semiesfera.

Se supondrá al dispositivo, en lo que sigue, en esa condición. El área de la semiesfera es:

$$A = 2 \pi R^2$$

Siendo  $R$  el radio del menisco formado, que es igual al radio del tubo. Si ese radio varía a  $(R + dR)$ , el área de la esfera se incrementará en

$$A = 4 \pi R dR$$

El trabajo necesario para lograr ese incremento será:

$$dW = 4 \pi T_s R dR$$

En el lado cóncavo del tubo existe la presión  $p$ , mientras en el convexo obra  $P_A$  = presión atmosférica, si se desprecia el pequeño aumento de presión hidrostática con la profundidad, bajo la superficie libre del líquido que rodea al tubo.

Considérese un elemento del área del menisco ( $dS$ ). La fuerza neta que obra en esa área es:

$$(P - P_A) dS$$

Y cuando el área del menisco se incrementa  $dA$ , esa fuerza realizará un trabajo. (DAVIS 2004)

### 3.2.18 ASCENSION CAPILAR DEL AGUA EN LOS SUELOS.

Cuando un líquido está en contacto con las paredes de un tubo, la forma de su superficie se encorva. Si el líquido es agua y las paredes del tubo son sólidas, el menisco es generalmente cóncavo. Si el tubo es de pequeño diámetro (capilar) las alteraciones de la superficie en toda la periferia producen una superficie

(menisco) cuya forma tiende a la esférica, muy aproximadamente. En adelante, se supondrá que ésa es la forma del mencionado menisco.

Tal es el caso de la formación de los meniscos, pues cualquier superficie encorvada, dentro del tubo, tiene mayor área que la superficie plana original. Luego, al formar el menisco, la superficie líquida almacena energía potencial. Si se asimila el trabajo realizado al generado por una fuerza ficticia  $F$  en el desplazamiento  $dx$ , la energía potencial almacenada será:

$$dV = - Fdx$$

$$\therefore F = - \frac{dV}{dx}$$

La superficie del menisco debe ser de equilibrio, luego en la condición de menisco formado debe tenerse  $F = 0$ . Por lo tanto, para la superficie del líquido que forma un menisco debe cumplirse:

$$\frac{dV}{dx} = 0$$

Por lo que, en esa superficie, la energía potencial almacenada será máxima o mínima. En Mecánica es fácil demostrar que la primera condición corresponde a un equilibrio inestable y que sólo la segunda garantiza el equilibrio estable que se presenta en el menisco de un tubo capilar.

Luego en la superficie del menisco la energía potencial almacenada al incrementarse el área debe ser mínima. Es sabido que la forma esférica cumple esa notable condición. Se concluye, pues, que en un tubo capilar el menisco cóncavo del agua debe tender a formas esféricas, como formas de equilibrio estable.



De lo anterior se deduce que, si el tubo es de pequeño diámetro, la forma del menisco podrá considerarse cercana a la esférica, con suficiente aproximación para los fines actuales. Se demostró que, en este caso, la presión  $P_2$  en el lado convexo es menor que la  $P_1$  en el cóncavo, siendo su diferencia  $\frac{2T_8}{R}$ . Si el tubo

está abierto al aire,  $p_2$  es la presión atmosférica, por lo que debe tenerse  $p_2 <$  presión atmosférica. Pero la presión del agua inmediatamente bajo la superficie del líquido que rodea al tubo es la atmosférica, mayor que  $p_2$  por lo que el sistema inmediatamente abajo del lado convexo del menisco no está en equilibrio, teniendo una presión neta hacia arriba igual a  $p_A - p_2$ . Por efecto de esta presión el agua sube por el tubo hasta formar una columna que equilibre a esa diferencia de presiones.

Se observa que:

$$R = \frac{r}{\cos a}$$

Además se puede efectuar la siguiente comparación:

$$p_2 = p_A \quad \frac{2T_8}{R} = p_A - \frac{2T_8 \cos a}{r}$$

Una vez que el agua ha subido, la presión en M es:

$$p_2 + \gamma_{10} h$$

Pues  $P_a$  existía ya y  $\gamma_{10} h$  es debida a la elevación a la columna capilar de altura  $h$ .

Entonces la presión en M vale:

$$p_A = \frac{2T_8 \cos \alpha}{r} + \gamma_{10} h..$$

Pero cuando se alcanza el equilibrio esa presión debe ser la atmosférica, que tiene el líquido que rodea al tubo en su superficie.

Luego debe tenerse:

$$p_A = p_2 - \frac{2T_8 \cos \alpha}{r} + \gamma_{10} h..$$

$$\therefore h = \frac{2T_8 \cos \alpha}{r}$$

Fórmula que da la altura a que debe ascender el agua en un capilar de radio  $r$ , suponiendo que el menisco formado es esférico, lo cual resulta razonablemente aproximado para fines prácticos.

La ecuación muestra que, para un caso dado, la elevación capilar es inversamente proporcional al radio del tubo capilar (Ley de Jurin).

## EFFECTOS CAPILARES

La tensión superficial existente en la superficie de un líquido expuesto al aire es debida a la atracción intermolecular que la masa del líquido ejerce sobre aquellas moléculas situadas en la superficie. Mientras que las moléculas en el interior de la masa líquida son atraídas con fuerzas iguales por las que las rodean, esto no sucede con las moléculas de la capa superficial, pues están expuestas a atracciones de parte del aire y del líquido considerado; estas atracciones son diferentes y no se equilibran, originando un estado de tensión en toda la superficie libre del líquido. Entre los fenómenos causados por la tensión superficial, uno de los más característicos y de mayor importancia práctica es, como ya se dijo, el de la ascensión capilar, cuyo mecanismo teórico ha quedado brevemente descrito en

los párrafos anteriores. En ellos se vio que la altura de ascensión capilar quedaba dada, en general, por la expresión:

$$h = \frac{2T_8 \cos \alpha}{r_{10}}$$

En el caso del contacto agua-aire, el experimento prueba que, aproximadamente:

$$T_8 = 73 \frac{\text{dinas}}{\text{cm}} = 0.074 \frac{\text{gf}}{\text{cm}}$$

Siendo gf, gramos-fuerza. En realidad, T. varía con la temperatura del agua y no tiene valor fijo. El valor anterior corresponde aproximadamente a 20°C. Por otra parte, en el caso de agua sobre vidrio húmedo, se vio que el ángulo de contacto  $\alpha$  es nulo, por lo que la fórmula (8-6), puede escribirse para esas condiciones:

$$F = - \frac{0.3}{D}$$

Con h Y D, diámetro del tubo capilar, en cm.

La distribución de esfuerzo en el líquido bajo su nivel libre, está representada por una distribución lineal, según la ley hidrostática. (DAVIS 2004)

### 3.2.19 CONTRACCION EN SUELOS FINOS.

Un suelo saturado exhibe primeramente una superficie brillante, que cambia a opaco al formarse por evaporación, los meniscos cóncavos en cada poro. Al irse evaporando el agua, va disminuyendo el radio de curvatura de esos meniscos y aumentando, por lo tanto, la presión capilar sobre las partículas sólidas, que por este efecto, se comprimen. La evaporación seguirá disminuyendo el radio de curvatura de los meniscos y comprimiendo la estructura del suelo, hasta un punto en que la presión capilar sea incapaz de producir mayor deformación; en ese



momento comenzará la retracción de los meniscos hacia el interior de la masa de suelo. Macrofísicamente ese momento está señalado por el cambio de tono del suelo, de oscuro a más claro.

En el suelo los poros y canalículos ocupados por el agua no son de tamaño uniforme, sino que varían entre amplios límites, por lo que el agua no se retraerá al mismo tiempo hacia el interior de la masa, comenzando el proceso en los poros de mayor diámetro, según se desprende del análisis anterior del tubo compuesto. Estadísticamente puede decirse que toda la gama de diámetros de los canalículos existentes se presentan a lo largo de un capilar, en una distancia relativamente pequeña a partir de la superficie. Esta distancia puede ser del orden de 2.5 cm, en arenas gruesas, pero en arcillas ordinarias, con diámetros de poro comprendidos entre 0.1 y 0.001 de micra, todos ellos se presentan a una distancia del exterior no mayor que una fracción de milímetro. Por lo tanto, aun cuando una de las aberturas de la superficie corresponda al mayor diámetro que pueda encontrarse en la muestra total de suelo, el menisco necesitará retraerse muy poco para llegar a una zona de pequeño diámetro, en la cual pueda desarrollar esfuerzos de tensión importantes.

Finalmente, cada menisco se retraerá al diámetro de poro más pequeño para el que un menisco totalmente desarrollado produzca en el suelo la máxima presión capilar que pueda deformar la estructura al máximo. En ese instante, con su máxima contracción alcanzada bajo esa máxima presión capilar que el agua ejerce, el suelo habrá llegado a su límite de contracción. Cualquier evaporación posterior' hará que los meniscos se retraigan hacia el interior sin más incremento en la presión capilar, pues el diámetro de los poros ya no disminuye.

Si la muestra llega a la relación de vacíos  $e$  a través de un proceso de evaporación, la presión necesaria en la fase sólida será  $p$ , que debe ser proporcionada por los efectos capilares. Pero esta presión  $p$  es aún menor que la  $P_c$  máxima que puede desarrollarse por capilaridad; así, el suelo llegará a la oquedad  $e$  sin necesidad de que los meniscos se desarrollen por completo; basta que se desarrollen parcialmente. (CARBAJAR 1997)



### 3.2.20 PERMEABILIDAD DE SUELOS.

#### 1. FLUJOS LAMINAR Y TURBULENTO

Los problemas relativos al flujo de líquidos en general, pueden dividirse en dos grupos principales: los que se refieren a flujo laminar y aquellos que tratan con flujo turbulento. Un flujo se define como laminar cuando las líneas de flujo permanecen sin juntarse entre sí en toda su longitud, excepción hecha del efecto microscópico de la mezcla molecular.

**FIGURA 1**  
**DISTINCIÓN EXPERIMENTAL OBJETIVA ENTRE EL FLUJO LAMINAR Y EL TURBULENTO.**



FUENTE: CÁCERES LOPEZ OSCAR. 1990. Desinfección del Agua. Ministerio de Salud- OPS. Lima-Perú.

El flujo turbulento ocurre cuando la condición anterior no se cumple. Una línea de flujo se define como la línea ideal que en cada punto tiene la dirección del flujo, en el instante de que se trate; en todo punto el vector velocidad y la línea de flujo que pasa por él, serán tangentes.

Se sabe que a velocidades bajas un flujo ocurre en forma laminar, mientras que al aumentar aquéllas se llega a un límite en que se transforma en turbulento; si en ese punto la velocidad se reduce, el flujo volverá a ser laminar, pero la nueva transición ocurre, generalmente, a menor velocidad que la primera. Esto indica la existencia de un intervalo de velocidades en el cual el flujo puede ser laminar o turbulento. Reynolds probó que existe una cierta velocidad en cada líquido abajo de la cual, para un cierto diámetro de

conducción y a una temperatura dada, el flujo siempre es laminar. Esta velocidad se define como la crítica.

## 2. LEY DE DARCY Y COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.

El flujo de agua a través de medios porosos, de gran interés en la Mecánica de Suelos, está gobernado por una ley descubierta experimentalmente por Henri Darcy en 1856. Darcy investigó las características del flujo del agua a través de filtros, formados precisamente por materiales térreos, lo cual es particularmente afortunado para la aplicación de los resultados de la investigación a la Mecánica de Suelos.

Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto queda expresado por:

$$Q = dV/dt = kAi \text{ ( cm}^3\text{/seg)}$$

A es el área total de la sección transversal del filtro e  $i$  el gradiente hidráulico del flujo, medido con la expresión

$$i = h_1 - h_2/L$$

La ecuación de continuidad del gasto establece que

$$Q = Av$$

Siendo A el área del conducto y  $v$  la velocidad del flujo. Llevando esta expresión, se deduce que:

$$v = ki$$

### 3. MÉTODOS PARA MEDIR EL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL SUELO.

El coeficiente de permeabilidad de un suelo es un dato cuya determinación correcta es de fundamental importancia para la formación del criterio del proyectista en algunos problemas de Mecánica de Suelos y, en muchos casos, para la elaboración de sus cálculos.

Hay varios procedimientos para la determinación de la permeabilidad de los suelos: unos "directos", así llamados porque se basan en pruebas cuyo objetivo fundamental es la medición de tal coeficiente; otros "indirectos", proporcionados, en forma secundaria, por pruebas y técnicas que primariamente persiguen otros fines. Estos métodos son los siguientes:

- a) Directos:
  - 1. Permeámetro de carga constante.
  - 2. Permeámetro de carga variable.
  - 3. Prueba directa de los suelos en el lugar.
  
- b) Indirectos:
  - 1. Cálculo a partir de la curva granulométrica.
  - 2. Cálculo a partir de la prueba de consolidación.
  - 3. Cálculo con la prueba horizontal de capilaridad.

### 4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERMEABILIDAD DE SUELOS.

La permeabilidad se ve afectada por diversos factores inherentes tanto al suelo como a características del agua circulante. Los principales de estos factores son:

- 1. La relación de vacíos del suelo.
- 2. La temperatura del agua.
- 3. La estructura y estratificación del
- 4. La existencia de agujeros, fisuras, suelo. etc., en el suelo.

A continuación se analiza la influencia de cada uno de los factores anteriores.

#### **5. INFLUENCIA DE LA RELACIÓN DE VACÍOS DEL SUELO**

Es posible analizar teóricamente la variación del coeficiente de permeabilidad de un suelo respecto a su relación de vacíos, siempre y cuando se adopten para el suelo hipótesis simplificativas cuyo carácter permita que las conclusiones del análisis den información cualitativa correcta.

#### **6. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA**

Para poder comparar fácilmente los resultados de las pruebas de permeabilidad es conveniente referidos a una temperatura constante, normalmente a 20°C.

#### **7. INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA Y LA ESTRATIFICACIÓN**

Un suelo suele tener permeabilidades diferentes en estado inalterado y remoldeado, aun cuando la relación de vacíos sea la misma en ambos casos; esto puede ser debido a los cambios en la estructura y estratificación del suelo inalterado o a una combinación de los dos factores.

Pueden observarse variaciones importantes en la permeabilidad debido a que en el remoldeo quedan libres partículas del suelo y que el agua al fluir las mueve y reacomoda, hasta obturar los canales; en otras ocasiones, estas partículas son arrastradas al exterior de la muestra, causando la turbidez del agua de salida. En tales casos, el coeficiente de permeabilidad variará durante la prueba. Esta condición inestable en una fracción de las partículas del suelo es, frecuentemente, resultado de la mezcla de materiales provenientes de estratos de características diferentes; esta condición es casi inevitable al probar muestras remoldeadas. Los fenómenos de formación de natas internas en los poros y la segregación de burbujas de aire, tienen efectos similares y son difíciles de distinguir entre sí, a menos que el carácter del suelo garantice que no pueden formarse esas natas limosas. En general,



los suelos con coeficiente de permeabilidad comprendido entre  $10^{-5}$  y  $10^{-8}$  cm/seg son los que presentan el peligro de permitir el desplazamiento de las partículas por efecto de las fuerzas de filtración.

## 8. INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE AGUJEROS, FISURAS, ETC.

A causa de heladas, ciclos alternados de humedecimiento y secado, efectos de vegetación y pequeños organismos, etc., pueden cambiar las características de permeabilidad de los suelos, convirtiéndose aun la arcilla más impermeable en material poroso. El efecto no suele ser muy importante, sin embargo, en las obras ingenieriles, conservando toda su influencia en problemas agrícolas.

### a) LA HUMEDAD EN EL SUELO Y SU CLASIFICACION.

En este capítulo se pretende proporcionar las ideas básicas para comprender los conceptos teóricos de la presencia del agua en los suelos y su clasificación naturalmente los problemas relacionados del agua a través de los suelos tiene extraordinaria importancia, en este caso como causa del deterioro de los materiales y como el origen de las enfermedades del hombre.

El agua que se infiltra a través del suelo también puede producir arrastre de partículas sólidas que de no recibir debida atención, pueden llegar a poner en peligro la estabilidad de cualquier estructura de tierra, al dejarla materialmente surcada por túneles y galerías formadas por erosión.

El problema de flujo interno a través de suelos puede establecerse razonablemente bien sobre bases teóricas, con tal de que la geometría de la región de flujo sea relativamente uniforme y de que los suelos presenten características de homogeneidad relativamente rígidas. El agua del suelo puede clasificarse en tres categorías dependiendo de su movilidad dentro de él.

1. En primer lugar está el agua absorbida ligada a las partículas del suelo por fuerzas de origen eléctrico que no se mueven en el

interior de la masa porosa y que por lo tanto, no participa en el flujo quedando al margen de este tipo de problemas.

2. En segundo lugar, aparece el agua capilar, cuyo flujo presenta gran importancia en algunas cuestiones de mecánica de suelos, tales como el humedecimiento de un pavimento por flujo ascendente y otras análogas. Sin embargo, en la mayoría de los problemas de filtración de agua el efecto del flujo en la zona capilar es pequeño y suele despreciarse en atención a las complicaciones que plantearía al ser tomada en cuenta teóricamente su influencia.
3. En tercero y último lugar, existe en el suelo la llamada agua libre o gravitacional que, bajo el efecto de la gravedad terrestre puede moverse en el interior de la masa sin otro obstáculo que el que le impone su viscosidad y la trama estructural del suelo. En una masa de suelo, el agua gravitacional está separada del agua capilar por una superficie a la que se denomina nivel freático.

No siempre es fácil de definir ni de localizar el nivel freático en un suelo suficientemente fino, al hacer una excavación el espejo de agua que se establece con el tiempo define a nivel freático, pero tal superficie distintiva no existe en el suelo adyacente, ya que arriba de este nivel el suelo puede estar totalmente saturado por capilaridad y, por lo tanto, en ese suelo el nivel freático no tiene existencia física o real.

Tampoco hay un acuerdo total entre los autores respecto a una definición del concepto nivel freático que, como se dijo, muchas veces se refiere a una superficie sin clara existencia concreta.

## **b) LA HUMEDAD COMO CAUSA DE DETERIORO DE LOS MATERIALES.**



El agua es el ingrediente del suelo que fluctúa con el tiempo y las estaciones y a medida que cambia pueden cambiar parejamente la resistencia o el volumen del suelo. El control del contenido de agua o humedad, el control del movimiento de agua y la protección contra los daños que causa el movimiento del agua en los suelos, son aspectos de vital importancia en la ingeniería de los suelos.

La energía que posee una partícula de agua esta en tres formas. Energía potencial, debida a su altura; energía de presión debida a la presión y energía cinética, debida a su velocidad. La energía del agua se expresa corrientemente como carga, una dimensión lineal, en metros. Como la energía es solo relativa la carga debe referirse siempre a un punto fijo, generalmente a un plano de referencia arbitrario.

La humedad capilar y flujo se puede entender relacionando con parte superior de una superficie libre del agua, el movimiento de la humedad por debajo siendo esta más compleja. El suelo esta saturado hasta la altura a que llega la humedad capilar, pero por arriba de este nivel el grado de saturación es menor. La gravedad y el rozamiento del agua todavía actúan sobre la humedad del suelo, pero las fuerzas capilares son aún más importantes; éstas incluyen la tensión superficial y la adherencia fisicoquímica entre el agua y el suelo. Estas fuerzas son de tracción y producen un esfuerzo neutro negativo. La tracción aumenta cuando baja la temperatura y cuando decrece el grado de saturación. En la zona de saturación parcial también existe agua en estado de vapor y la presión del vapor disminuye conforme disminuye la temperatura.

Como se ha expuesto, la humedad se eleva sobre la superficie libre del agua por efecto de la tensión capilar. Cuando se ha establecido el equilibrio, la humedad se distribuye en forma triangular. En la zona capilar el suelo esta saturado, la humedad es continua y el esfuerzo neutro sigue las leyes de la hidrostática. Sobre esta zona está la franja capilar. El grado de saturación cae rápidamente pero aunque la humedad no llena



los poros, todavía es continua en las cuñas interconectadas que están entre los granos del suelo. Hay todavía esfuerzo neutro en la zona superior de humedad discontinua, pero no sigue la distribución hidrostática. En cada cuña de humedad se desarrollan esfuerzos diferentes que dependen de su radio y aunque los esfuerzos pueden ser muy altos, actúan sólo en una pequeña fracción de los poros.

El movimiento del vapor de agua ocurre tanto en la zona de la franja, como en la de humedad discontinua. La diferencia entre las presiones del vapor que se requiere para que se establezca una corriente puede provenir de diferentes causas. La evaporación en la superficie del suelo reduce la presión y provoca un movimiento ascendente; una caída brusca de la temperatura en la superficie del terreno también reduce la presión y provoca un movimiento ascendente; mientras que una subida brusca de la temperatura en la superficie produce un movimiento descendente.

El flujo capilar se produce tanto horizontal como verticalmente, si hay diferencias en la tensión capilar que causen un gradiente hidráulico. Los daños que se produjeron en el almacén de jugo de naranja congelado, a que se hizo referencia en el párrafo inicial de este capítulo, fueron debidos al flujo termo-osmótico ascendente y lateral hacia el piso frío que tenía un aislamiento inadecuado. El secamiento del suelo en una excavación profunda puede provocar un flujo capilar lateral hacia los paramentos expuestos. La lluvia sobre los mismos paramentos puede provocar un flujo capilar hacia dentro de la masa.

Debido a los cambios ambientales que ocurren diariamente, es improbable que el equilibrio capilar se mantenga por mucho tiempo. Al contrario, la humedad en la zona capilar está cambiando constantemente y con los cambios se producen grandes variaciones en las propiedades ingenieriles de los suelos. Estos cambios son más significativos en la zona de la franja capilar, pero el efecto de los cambios del esfuerzo capilar se siente por debajo de la línea de saturación.





Luego es importante comentar sobre drenaje, que significa corrientemente eliminación del agua del suelo. Tiene dos objetivos: impedir que las filtraciones vayan a acumularse, por ejemplo, dentro de una excavación, haciendo ésta dificultosa o riesgosa y mejorar las propiedades del suelo como son: un aumento de la resistencia o una reducción de la compresibilidad. También se emplea el drenaje para reducir la presión del agua en el suelo. Esto va acompañado generalmente de eliminación de agua, pero en los suelos de grano fino puede ser efectiva aunque se extraiga sólo una pequeña cantidad de agua o ninguna.

Varias son las fuerzas que intervienen en la facilidad con que el agua drena del suelo. La primera es la resistencia a la filtración, cuyo índice es el coeficiente de permeabilidad. La segunda es el efecto del drenaje en la estructura del suelo. Si el suelo es relativamente incompresible, la pérdida de agua será reemplazada por aire en los poros. Si el suelo es compresible, la pérdida de agua estará acompañada por la consolidación del suelo y éste permanecerá virtualmente saturado. La tercera son las fuerzas que retienen el agua: la capilaridad y la adsorción. Tanto la resistencia al flujo como la retención capilar aumentan conforme disminuye el tamaño de los granos. Los suelos de grano grueso, como la grava y la arena gruesa, drenan rápidamente y el aire reemplaza el agua en los poros. Los suelos de grano fino que tienen baja permeabilidad y muy alta retención capilar, drenan muy lentamente y pueden perder solamente la cantidad de agua que la consolidación les permite.

Para que se pueda eliminar el agua del suelo es necesario que la fuerza que produce el drenaje sea mayor que las de retención y resistencia al flujo. La gravedad es la fuerza más frecuentemente usada: el agua fluye del suelo hacia los drenes por efecto de su propio peso. Este método es barato y seguro, pero esa fuerza no es lo suficientemente fuerte en los suelos de grano fino. Se puede usar el vacío para añadir la presión

atmosférica a la carga producida por la gravedad; con esta ayuda se pueden drenar suelos finos como las arenas limosas. Una corriente eléctrica continua hará que el agua fluya del suelo hacia un electrodo negativo. Este principio del electro-ósmosis se puede usar para producir el drenaje de los suelos de baja permeabilidad, como los limos.

La evaporación no se considera corrientemente como un método de drenaje, pero es causa de pérdida de agua; es una fuerza lenta, pero tan poderosa que puede drenar hasta las arcillas. La consolidación producida por una carga sobre la masa de suelo es esencialmente un proceso de drenaje, que es efectivo en los materiales compresibles.

Finalmente la humedad puede deteriorar a diferentes materiales siendo los más significativos por: erosión, reacciones químicas, saturación, disolución, etc. (CÁCERES 2007)

### 3.2.21 PROCEDENCIA DEL AGUA EN LOS SUELOS.

Ya hemos visto que un suelo no es un sólido monolítico sino que, al contrario, está compuesto por la unión de partículas que dejan huecos entre ellos, llamados huecos intersticiales que están en realidad llenos de aire, agua o vapor de agua. Los suelos contienen, pues, generalmente, agua que puede ser retenida de tres formas diferentes, por eso se suele hablar de tres tipos de agua contenida: agua sólida, agua viscosa y agua libre.

Las partículas componentes del suelo se cargan eléctricamente y esta carga es negativa en la superficie. También las moléculas de agua intersticial están cargadas. Como se sabe, la ecuación química del agua puede escribirse de la siguiente forma:  $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ . Por consiguiente existe una atracción entre los granos del suelo ( $\ominus$ ) y los protones  $H^+$ . Las moléculas de agua que están ionizadas se agrupan alrededor de los granos del suelo y como la atracción es fuerte se encuentran muy próximas las unas de las otras acabando por cubrir los granos elementales del suelo.

Esta agua, como consecuencia de las grandes ligazones que existen en ella y los granos, se encuentra sólidamente fijada sobre un cierto espesor que es del orden de 50 Angstrom. A causa de la solidez de su fijación se le llama agua sólida. Por el contrario, se llama agua libre a aquella que puede fluir normalmente entre los huecos intersticiales, que se encuentra a demasiada distancia de los granos del suelo como para estar sometida a atracción. Aproximadamente está situado a 1,000 A de la superficie de los granos.

Entre el agua libre y el agua sólida, es decir, entre 50 y 1.000 A de la superficie de los granos se encuentra un agua intermedia más o menos libre, según la distancia a los granos que se llama agua viscosa. Al agua sólida también se le llama agua adsorbida. Se puede definir el poder de adsorción de los granos del suelo, que es sobre todo función de su grosor. Mientras más finos sean estos granos, mayor será su poder de adsorción y mejor podrán retener el agua. Por ejemplo, las arenas que están formadas por granos regulares, de unas dimensiones bastante grandes, tienen un poder de adsorción prácticamente despreciable. Por el contrario, las arcillas compuestas de granos extremadamente finos (del orden de algunas micras,  $1 \mu = 10^{-3} \text{ mm}$ ) tienen un gran poder de adsorción y pueden fijar una gran cantidad de agua; es la razón por la cual los terrenos arcillosos son tan sensibles al agua que, una vez fijada sobre ellos, facilita el deslizamiento y hace hincharse el terreno, a veces en proporciones importantes. (JUAREZ 1994)

### 3.2.22 MOVIMIENTOS DEL AGUA EN LOS SUELOS.

Hay que distinguir entre el, flujo del agua en una gran masa de terreno y de flujo en un pequeño volumen del mismo terreno: estos dos tipos de flujo están ligados entre sí, pero el primero atañe sobre todo a la geología y el segundo a la mecánica de suelos.

Cuando llueve, una parte del agua precipitada fluye sobre la superficie y sigue la línea de máxima pendiente del terreno. Esta agua posee un poder de erosión del que ya hemos hablado. El resto del agua caída penetra en el suelo más o menos permeable y discurre por él hasta que encuentra una capa impermeable que la



detiene, circula entonces lentamente, a través de los terrenos permeables, siguiendo la inclinación de la capa impermeable. Se forma una capa en movimiento denominada capa freática.

La cota de la altura en la cual la capa freática se encuentra a una presión igual a la presión atmosférica se llama por definición nivel superior de la capa, y corresponde a la cota en la cual se estabilizará el agua de la capa en un pozo perforado a través del terreno. Vemos, pues, que el movimiento del agua de las capas freáticas se efectúa como consecuencia de la permeabilidad de ciertos estratos del terreno. También existe otra forma de circulación debida a la capilaridad de las tierras.

La cuestión del movimiento del agua en los suelos es bastante compleja, teóricamente, y es preciso recurrir a conocimientos matemáticos profundos. (JUÁREZ 1997)

### 3.2.23 NIVEL FREÁTICO.

Una de las consideraciones más importantes en mecánica de suelos es el estudio de los efectos del agua sobre las propiedades de ingeniería del suelo. Los ensayos de los límites de Atterberg señalan cómo puede variar el suelo de sólido a fluido viscoso con el contenido de agua. Las observaciones individuales del suelo seco y húmedo alrededor de excavaciones, a lo largo de caminos y en cualquier otro lugar muestran un amplio intervalo en sus diferentes estados. Los suelos cohesivos son muy duros, frágiles y tienden a contraerse cuando están secos, y son muy blandos, plásticos y tienden a expandirse cuando están húmedos. Los suelos sin cohesión varían desde moldeables a desmoronables para los estados húmedo y seco respectivamente.

Como fuente de suministro de agua, los pozos están íntimamente ligados con el flujo del agua a través de suelos. El sub drenaje de vías es un problema de flujo de aguas. La acción del hielo en los suelos es un problema de flujo y también depende de la acción capilar.



Finalmente se entiende como napa freática al lugar geométrico de las aguas subterráneas. (CARBAJAR 1997)

#### 2.2.24 PRESIÓN INTERGRANULAR Y PRESIÓN NEUTRA.

Cuando se aplica un esfuerzo externo a una masa de suelo cuyos poros están saturados de agua, el efecto inmediato de un aumento de la presión de poro. Los vacíos circundantes, con el resultado de que la presión de poro disminuye y el esfuerzo aplicado se transfiere a la estructura granular del suelo. Poco tiempo después de la aplicación, el esfuerzo total aplicado quedará equilibrado por los dos componentes del esfuerzo interno.

- **Presión de poro ( $u$ ).** Ésta es la presión inducida en el fluido (ya sea agua o vapor y agua) que llena los poros. El fluido en los poros es capaz de transmitir esfuerzos normales, pero no esfuerzos cortantes, por lo que es inefectivo para proporcionar resistencia al corte. Por esta razón, a la presión de poro se le llama algunas veces presión neutra.
- **Esfuerzo efectivo ( $\sigma$ ).** Éste es el esfuerzo transmitido a través de la estructura sólida del suelo por medio de los contactos intergranulares. Se trata del componente del esfuerzo que es efectivo para controlar tanto la deformación debida a los cambios de volumen como la resistencia al corte del suelo, puesto que el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante se transmiten a través de los contactos grano a grano. Terzaghi (1943), ha demostrado que para un suelo saturado, el esfuerzo efectivo puede definirse en forma cuantitativa como la diferencia entre el esfuerzo total y la presión de poro:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Sin embargo, cabe hacer notar que el esfuerzo efectivo no es el esfuerzo real de contacto de grano a grano, sino el esfuerzo promedio intergranular en un área plana dentro de la masa de suelo. No obstante, se ha confirmado por vía experimental que, cuando los propios granos son relativamente poco comprensibles y el área de contacto entre ellos es pequeña, la expresión proporciona un alto grado

de confiabilidad. En el caso del suelo, los errores incurridos son poco significativos; aunque en el caso de rocas, que tienen una estructura rígida, se requiere alguna modificación.

La presión hidrostática en los poros en condiciones de campo naturales sin flujo está representada por el nivel freático o superficie piezométrica. Si el nivel, freático está a una profundidad "d" por debajo de la superficie, entonces a una profundidad "z", la presión hidrostática en los poros está dada por:

$$u_z = 9.81 (z - d^w).$$

Cuando  $z > d^w$   $u_z$  tendrá un valor positivo; pero cuando  $z < d^w$  y exista agua retenida por capilaridad por encima del nivel freático,  $u_z$  tendrá un valor negativo.

En muchos problemas es necesario calcular el esfuerzo efectivo de sobrecarga estática a una profundidad dada; de acuerdo con la ecuación:

$$\sigma_z^1 = \sigma_z - u_z$$

### 3.2.25 SIFONAMIENTO.

El término tubificación describe un estado inestable que se presenta cuando la componente vertical de la presión de infiltración, que actúa en dirección ascendente, supera al peso descendente del suelo. Cuando la fuerza ascendente de infiltración es igual al peso sumergido del suelo, no puede desarrollarse una resistencia a la fricción entre las partículas. Por consiguiente, la mezcla suelo/agua no tiene resistencia al corte y actúa como líquido.

Si las fuerzas ascendentes de infiltración superan al peso sumergido, las partículas pueden ser transportadas hacia arriba y depositarse en la superficie del Suelo. De esta manera, se forma un "tubo" en el suelo cerca de la superficie. La falla por tubificación puede conducir a una falla total de la cimentación o incluso al derrumbe de una estructura de soporte, tal como el pie de talud de una presa o



parte de una ataguía. Por consiguiente, es necesario comprobar esta situación potencial de inestabilidad al diseñar estructuras para la retención de agua.

Cuando se ha trazado una red de flujo para representar las condiciones de infiltración, se puede usar una regla general simple para establecer un factor de seguridad con respecto a la tubificación. Esto se lleva a cabo considerando un prisma de suelo adyacente a la zona corriente abajo de la estructura.

Si se considera un suelo sometido a una filtración de agua que soporta una carga hidráulica dada, es intuitivo pensar que si este suelo es estable es que las fuerzas producidas por el movimiento del agua (por la carga hidráulica) están equilibradas por las fuerzas de unión interna de los granos del suelo entre sí. La fuerza de arrastre del agua llega a ser superior a las fuerzas de unión del suelo y éste es arrastrado violentamente. Se forma un agujero o sifonamiento que es un fenómeno particularmente temible en las obras de diques, canales, ataguías, etc. No entraremos en los fundamentos teóricos relativos a las condiciones de sifonamiento, pero hemos querido simplemente llamar la atención del lector sobre su existencia y su importancia práctica.

El agua subterránea es uno de los recursos minerales más importantes extraídos de debajo de la superficie de la tierra. Probablemente 30 por ciento del agua de consumo diario en el mundo se obtiene del agua subterránea; resto proviene de agua superficial en ríos o lagos.

Al ingeniero geotécnico compete el agua subterránea cuando resuelve problemas de suministro de agua, drenaje, excavaciones, cimentaciones y control de movimientos de tierra. Debido a los muchos proyectos de ingeniería en los que el agua subterránea es un parámetro importante, el ingeniero debe tener un buen conocimiento de sus modos de ocurrencia y de sus leyes de movimiento.

El agua sub superficial se deriva de varias fuentes y las impurezas que contiene pueden ser indicativas de su origen o de su historia o de ambos. Parte del agua subterránea es una contribución directa de la actividad volcánica o

magmática durante el proceso de enfriamiento de la roca. Esta agua puede ser denominada agua juvenil o magmática (apenas comienza a circular libremente). El agua atrapada en los intersticios de los sedimentos, que posteriormente son cubiertos por otros sedimentos más impermeables, puede ser retenida hasta que es extraída por accidente o deliberadamente. Esta agua se llama agua connata o fósil y a menudo es salada, ya que muchos de los sedimentos fueron depositados bajo agua de mar.

La fuente más importante de agua subterránea es la parte de la precipitación que se filtra en la tierra, llamada agua meteórica. El agua es extraída y llevada a la atmósfera por evaporación y ampliamente distribuida por corrientes de viento. La condensación devuelve esta agua a la superficie terrestre como lluvia, nieve, agua nieve, granizo, escarcha y rocío. La parte que cae en áreas terrestres llega a subdividirse como sigue:

1. Parte es evaporada de nuevo a la atmósfera (probablemente un 70%).
2. Parte escurre hacia arroyos y ríos, de ahí a lagos o al océano.
3. Parte es utilizada por las vidas animal y vegetal.
4. Parte penetra en la tierra para convertirse en agua subterránea (probablemente menos de 20% de la condensación que cae en la superficie).

La cantidad de agua sub superficial retenida depende de:

1. **Gradiente superficial.** Los taludes empinados favorecen el escurrimiento superficial tanto en cantidad como en proporción.
2. **Vegetación.** Un follaje espeso puede interceptar grandes cantidades de condensación, aun antes de que alcance la superficie del terreno.
3. **Condiciones climáticas.** La magnitud de la precipitación pluvial y la temperatura diaria influencia la tasa de evaporación.



**4. Porosidad y permeabilidad del subsuelo.** Esto quiere decir el porcentaje de vacíos (poros) y la facilidad con que el agua puede moverse a través de la masa de tierra.

El agua que penetra al subsuelo puede ser parcialmente retenida por las fuerzas de tensión superficial en las capas de suelo superiores, para evaporarse más tarde o para ser usada por la vida vegetal. Bajo esta zona está la zona de saturación, que se extiende hasta una profundidad considerable, pero que depende de la estratigrafía, en la que los intersticios y grietas están completamente llenos con agua. La zona de saturación incluye una profundidad en la que el agua es retenida por tensión superficial, o zona capilar, y una zona inferior en la que el agua es libre de moverse, o fluir, bajo la influencia de la gravedad. La línea freática limita estas dos zonas y define el nivel freático. (JUÁREZ 1997)

### 3.2.26 CAPILARIDAD.

Todos los materiales poseen fuerzas intermoleculares. Estas pueden ser denominadas cohesión para el caso de fuerzas moleculares internas y adhesión para el caso de atracción entre moléculas de materiales diferentes, tales como agua y vidrio. Si las fuerzas de adhesión entre un líquido y cualquier otro material son mayores que las fuerzas de atracción intermoleculares del líquido, la superficie del material diferente será "mojada" por el líquido. El mercurio, por ejemplo, tiene una cohesión importante; en consecuencia, mojará sólo un limitado número de materiales diferentes. En cambio, el agua, con cohesión interna pequeña, mojará casi todos los materiales que toque. Pueden utilizarse agentes mojanter para aumentar los efectos de adhesión entre líquidos y sólidos.

Cualquier cantidad de líquido se comportará como si la superficie fuera de una membrana fuertemente estirada debido a las fuerzas de atracción intermoleculares en el interior. Este fenómeno se llama tensión superficial. Esta propiedad de los líquidos explica la forma esférica de las gotas de agua en el polvo aceitoso y las esferas casi verdaderas de las gotas de mercurio en el tubo

de vidrio y reducir la tensión superficial y aumentan la adhesión del material a la superficie extraña (o la mojan).

Como la tensión superficial es una propiedad de los líquidos y depende de la atracción intermolecular, será dependiente de la temperatura (por debajo de alguna temperatura crítica, que en el caso del agua es de 1000 C, el material es líquido y por encima, gas).

La tensión superficial permite que una hoja de afeitar o una aguja cuidadosamente colocada en la superficie del agua puedan flotar y produce la elevación por encima del nivel estático de la superficie del agua en un pequeño tubo de vidrio colocado en un recipiente con agua.

Puesto que los efectos de la tensión superficial son causados por la atracción intermolecular, se desprende que en la superficie de contacto con el aire, la membrana está en equilibrio vertical y que sobre la superficie, el empuje debe ser igual, en todas las direcciones o perpendicular a toda línea de interés.

Cuando se coloca un tubo vacío, de extremos abiertos, en un recipiente con un líquido y si el líquido moja la superficie de contacto, éste subirá por las paredes interiores del tubo por razón de los efectos de la tensión superficial, produciendo una superficie superior esférica cóncava.

La capilaridad es un factor significativo en arenas (la grava es demasiado grande para ser afectada), especialmente en arenas finas a medias. Cuando la arena está completamente saturada o completamente seca, la capilaridad no está presente y los granos de arena son fácilmente desplazados. A contenidos de humedad intermedios, los efectos capilares están presentes y debido a las muchas partículas el efecto acumulativo es lo suficientemente grande como para permitir que la arena se sostenga en cortes verticales y sea moldeada cuando está húmeda. (RIVVA 2004)

### **3.2.27 HUMEDAD EN EL SUELO.**



La capacidad de la corriente de agua para transportar las partículas sólidas es una función de la velocidad y del gasto. El volumen total de partículas que puede transportar un metro cúbico de agua es proporcional al cuadrado de la velocidad; el volumen de la partícula más grande que puede transportar es proporcional a la sexta potencia de la velocidad. Por lo tanto, en períodos de grandes avenidas los ríos acarrear grandes volúmenes de partículas gruesas y finas, mientras que en los períodos de estiaje sólo transportan pequeñas cantidades de partículas finas. Si la velocidad de la corriente aumenta, como cuando atraviesa las partes del cauce de más pendiente, o cuando las lluvias aumentan la descarga, el río produce erosión en el cauce hasta que su capacidad para transportar material queda satisfecha. Si la velocidad de la corriente disminuye, porque se reduce la pendiente del cauce, o se reduce la descarga, algunas de las partículas transportadas se depositan, cayendo primero las más grandes.

Las corrientes de agua de las regiones áridas se caracterizan por rápidas avenidas y prolongados períodos de poca o ninguna corriente. Durante las crecidas se pueden transportar tremendas cantidades de pequeños boleos, gravas y arenas, en cambio el material que transportan en época de seca es insignificante. Los depósitos que se forman en las partes de mayor pendiente de esos ríos llenan el cauce hasta una gran profundidad y también forman estrechas terrazas de grava y arena paralelas al cauce de estiaje; ambas se desvían y cambian durante la estación de las crecidas. En el punto en que el río entra en terreno plano su velocidad se refrena bruscamente y parte de su carga se deposita en forma de una masa plana triangular llamada abanico aluvial. A medida que se va formando el abanico el río se desvía de su curso para formar una sucesión de estas masas.

Las corrientes en regiones húmedas se caracterizan por avenidas, y corrientes mantenidas en época de sequía. Las partículas arrastradas por estas corrientes son probablemente más finas que las arrastradas por las corrientes de las regiones áridas, porque las velocidades tienden a ser menores y porque el grado de meteorización de las regiones húmedas tiende a producir mayor proporción de partículas finas. Los depósitos en las partes de mayor pendiente de la corriente,



en las regiones húmedas, son similares a los formados en regiones áridas por corrientes con pendiente, pero son menores y suelen cambiar menos durante cada período de crecida. Donde los ríos entran en los valles llanos tienden a formar abanicos aluviales que corrientemente son anchos y planos y compuestos principalmente de arenas y gravas finas.

Los depósitos de ríos en valles llanos en regiones húmedas son muy importantes, porque con frecuencia son los lugares escogidos para las vías, aeropistas, plantas industriales y grandes ciudades.

Durante los períodos de estiaje la corriente está confinada a su cauce y la deposición de materiales está balanceada por la erosión; sin embargo, durante los períodos de crecidas las corrientes rebasan el cauce e inundan el valle formando inmensos lagos y extensiones anchas y planas de aguas poco profundas que se mueven lentamente. Como la velocidad en las áreas inundadas es mucho menor que en el cauce, la deposición tiene lugar a lo largo de las márgenes del cauce formando diques naturales. Las anchas áreas inundadas actúan como estanques de sedimentación en los cuales se depositan las partículas finas contenidas en el agua que se mueve lentamente. A medida que la inundación baja, se depositan partículas todavía más finas, hasta que la evaporación reduce a polvo los charcos que quedan. Los depósitos aluviales de las crecidas, están constituidos por estratos extensos, planos y delgados de arena muy fina y arcilla, con algunas lentes alargadas de arena, que se formaron en los cauces o charcas temporales.

La parte más baja de las llanuras aluviales está con frecuencia muy distante del río y es la última en secarse después de la inundación. Se le llama pantano regresivo por el suelo húmedo y blando y la materia orgánica pantanosa que acumula. (RIVVA 2004)

### **3.2.28 CICLO DEL AGUA.**

El agua se puede encontrar por todas partes en La Tierra. La mayor parte (3/4 partes) de la superficie terrestre está cubierta de agua; son los océanos. En



la Tierra el agua se encuentra en ríos, formando lagos, humedales y en los pantanos o embalses. Estas se llaman aguas superficiales.

Aunque nosotros no la podamos ver con nuestros propios ojos, en el suelo también hay agua, esta es llamada agua subterránea. El agua subterránea es el agua de lluvia que se infiltra en el suelo y se almacena en los poros de la tierra. El suelo contiene diversas capas de agua que son llamadas acuíferos, todos estos contienen ciertas cantidades de agua.

La capa que consiste principalmente en agua subterránea es llamada la capa de saturación. Cuando cae la lluvia la capa de saturación crece más y como resultado se amplía la capa de agua subterránea. Finalmente el agua se puede encontrar en estado gaseoso en el cielo, como humedad o en forma de nubes. El agua dulce que nosotros usamos de la superficie primero llega como resultado de la lluvia, por el fenómeno conocido como precipitación. Parte de esa precipitación cae sobre La Tierra infiltrándose en el suelo. Otra parte de la precipitación se evapora y así retorna a la atmósfera para caer otra vez cuando vuelve a llover.

El agua proveniente de la precipitación se llama agua superficial. El agua superficial fluye directamente hacia los ríos, lagos, humedales, y reservorios. La precipitación que se infiltra en el suelo se mueve a través de los poros, los cuales son pequeños espacios vacíos en el suelo. La lluvia se acumula y llega a formar aguas subterráneas.

**FIGURA 2**  
**FLUJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA**



FUENTE: CÁCERES LOPEZ OSCAR. 1990. Desinfección del Agua. Ministerio de Salud- OPS. Lima-Perú.

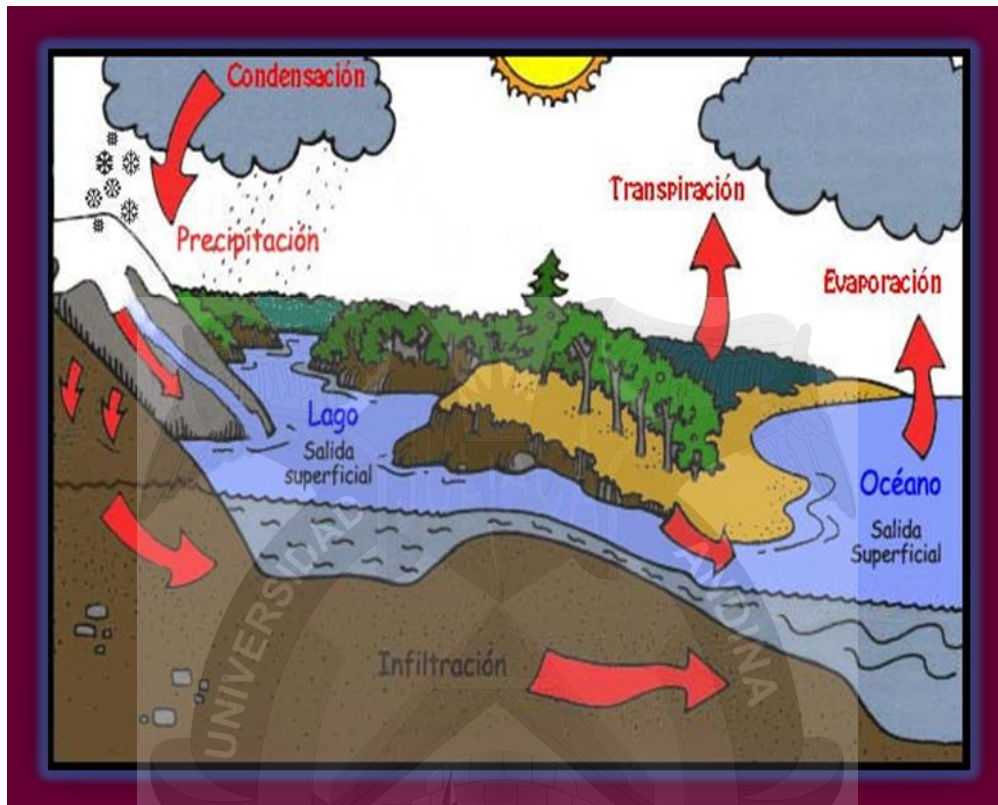
El agua subterránea se mueve lentamente hacia aguas superficiales como ríos y lagos. Eventualmente toda la precipitación puede terminar en un punto de agua superficial. La capa superior de agua se evapora y alcanza el cielo formando las nubes. Cuando la presión debida al incremento en la cantidad de agua aumenta, comienza a llover.

El ciclo completo como se describe aquí comienza desde el principio y se repite una y otra vez. (JUÁREZ 1997)

### 3.2.28.1 REPRESENTACIÓN DEL CICLO DE AGUA.

FIGURA 3

## REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL CICLO DEL AGUA



FUENTE: CÁCERES LOPEZ OSCAR. 1990. Desinfección del Agua. Ministerio de Salud- OPS. Lima-Perú.

- 1) **Precipitación.** Transporte de agua hacia el interior de las nubes con movimientos circulares y que como resultado de la gravedad cae en la tierra condensada como agua. Este fenómeno se llama lluvia o precipitación.
- 2) **Infiltración.** El agua de lluvia se infiltra en la tierra y se hunde en la zona saturada, donde se convierte en agua subterránea. El agua subterránea se mueve lentamente desde lugares con alta presión y elevación hacia los lugares con una baja presión y elevación. Se mueve desde el área de infiltración a través de un acuífero y hacia un área de descarga, que puede ser un mar o un océano.
- 3) **Transpiración.** Las plantas y otras formas de vegetación toman el agua del suelo y la excretan otra vez como vapor de agua. Cerca del 10% de la precipitación que cae en la tierra se vaporiza otra vez a través de la

transpiración de las plantas, el resto se evapora de los mares y de los océanos.

- 4) **Salida superficial.** El agua de lluvia que no se infiltra en el suelo alcanzará directamente el agua superficial, como salida a los ríos y a los lagos. Después será transportada de nuevo a los mares y a los océanos. Esta agua es llamada agua de salida superficial.
- 5) **Evaporación.** Debido a la influencia de la luz del sol el agua en los océanos y los lagos se calentará. Como resultado de esto se evaporará y será transportada de nuevo a la atmósfera. Allí formará las nubes que con el tiempo causarán la precipitación devolviendo el agua otra vez a la tierra. La evaporación de los océanos es la clase más importante de evaporación.
- 6) **Condensación.** En contacto con la atmósfera el vapor de agua se transformará de nuevo a líquido, de modo que sea visible en el aire. Estas acumulaciones de agua en el aire son lo que llamamos las nubes. (JUÁREZ 1997)

### 3.2.28.2 CICLO HIDROLÓGICO.

La tierra se compone de diversos tipos de capas verticales, llamados acuíferos. El agua subterránea se dispersa a través de la tierra horizontalmente; moviéndose desde el área de infiltración a través de un material acuífero hacia un área de descarga, como parte del ciclo del agua.

Éste puede ser bien un lago, una corriente o un océano. El agua subterránea se mueve normalmente desde puntos de alta elevación y presión a los puntos de una elevación y de una presión más baja. Este movimiento es absolutamente lento, típicamente solo de 1 metro por año y raramente más de 0,3 metros por día. La mayoría de la tierra se compone de agua, hay mucha más agua que tierra. Cerca del 70% de la superficie de la tierra está cubierta por agua. Pero el agua también existe en el aire como vapor y en acuíferos en el suelo, como agua subterránea.





El total de agua en el mundo es 1.400.000.000 km<sup>3</sup>. (Un km<sup>3</sup> agua es igual a un trillón de litros.) Cerca de 3.100 Km<sup>3</sup> de agua se puede encontrar en la atmósfera como vapor de agua. Cada día, 280 km<sup>3</sup> de agua se evaporan en la atmósfera. Del agua dulce que hay en la tierra, más de 100.000 km<sup>3</sup> se almacenan en el suelo, sobre todo dentro de la mitad de la milla de la superficie. También se sabe que 10.500.000 km<sup>3</sup> de agua están almacenados como agua dulce en los lagos, los humedales y las aguas corrientes. La mayoría del de agua dulce se almacena en glaciares y capas de hielo, principalmente en las regiones polares y en Groenlandia. Esto son otros 24.500.000 km<sup>3</sup> de agua.

Los océanos almacenan la mayor cantidad de agua de la tierra, aproximadamente el 97% de la cantidad total de agua que hay sobre la tierra y el 2% de la cual está congelada. De toda el agua que hay en la tierra, el 97.14% de la cantidad total del agua superficial, sólo el 2.59% es agua dulce. De este 2.59% otro porcentaje está atrapado en forma de casquetes polares, que es 2%. El resto de esta agua dulce es agua subterránea (el 0.592%), o es agua fácilmente accesible en lagos, aguas corrientes, ríos, etc. (el 0.014%).

Para las cantidades que se han mencionado arriba, se puede concluir que menos del 1% del agua existente sobre la tierra puede ser usada como agua potable. Los seres humanos consisten principalmente en agua; el agua está en todos nuestros órganos y es transportada a todas partes de nuestro cuerpo para ayudar en funciones físicas. Cuando un ser humano no absorbe suficiente agua, el resultado es la deshidratación. Esto no es muy sorprendente, ya que el 66% del cuerpo humano consiste en agua.

Hay cuatro causas deferentes para la escasez de agua: un clima seco, sequía (periodo en el cual las precipitaciones son muy bajas y la evaporación es más alta de lo normal), secar el suelo debido a actividades como la deforestación y el sobre pastoreo de la ganadería y el estrés del agua debido al incremento del número de gente que depende de un nivel limitado de agua corriente.



La inundación de los cursos significa que hay demasiada agua, de modo que esta terminará en los lugares donde no queremos que estén, por ejemplo áreas rurales. La inundación natural por las corrientes es el tipo más común de inundación y es causado sobre todo por las fuertes precipitaciones o el derretir rápido de la nieve. Esto hace que el agua fluya por encima de su camino natural y cubra el área vecina. Las áreas en las cuales se espera que se inunden de vez en cuando son llamadas llanuras de inundación. La gente se ha establecido en las llanuras de inundación desde el principio de la agricultura, porque el suelo es fértil y el agua está fácilmente disponible para regar de cosechas.

Las comunidades pueden utilizar el agua para el transporte y las llanuras de inundación son convenientes para los edificios, las carreteras y los ferrocarriles, porque son planos. Mucha gente considera que estas ventajas compensan el riesgo de vivir en una llanura de inundación. Otras lo hacen por desconocimiento.

Se rodean las llanuras de inundación con medidas de seguridad tales como diques, pero corrientemente vemos que estas medidas no son siempre satisfactorias. En la zona costera marina las inundaciones son principalmente consecuencia de las tormentas y los ciclones, que causan olas de hasta 30 metros de alto. Las inundaciones pueden ser beneficiosas, porque originan las tierras de labranza más ricas del mundo al dejar una cubierta de sedimento fértil en el suelo.

Las inundaciones también recargan los acuíferos de agua subterránea y llenan los humedales, de modo que los ecosistemas allí son sostenibles. Evidentemente la mayoría de la gente ve a las inundaciones como una amenaza para sus hogares y sus familias, pero en la mayor parte de esos desastres nosotros tenemos la culpa. El número de inundaciones ha aumentado con las actividades humanas tales como quitar y reemplazar la vegetación, que causa que menos agua pueda infiltrarse en la tierra y toda el agua de lluvia inunda los lagos y los ríos. Otras actividades humanas que pueden causar inundaciones son: el sobre pastoreo por el ganado, los fuegos del bosque, las actividades mineras y la

urbanización. Cada año las inundaciones matan a millares de gente y causan diez billones de dólares en daños materiales. (RIVVA 2004)

### 3.2.29 CALIDAD DE AGUA.

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad, cantidad de sales y presencia de fertilizantes. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y de contaminantes que no están presente de forma natural.

El agua salada es el agua que contiene cierta cantidad de sales. Esto significa que su conductividad es más alta y cuando es bebida resulta mucho más salada. El agua salada no satisface las demandas de agua potable, porque la sal extrae el agua de los cuerpos de los seres humanos. Cuando los seres humanos beben el agua salada se arriesgan a sufrir deshidratación.

El agua salada se puede encontrar por todas partes en la superficie de la tierra, en los océanos, en los ríos y en los lagos y lagunas de agua salada. Cerca del 71% de la tierra está cubierta con agua salada. El agua dulce es el agua con una concentración de sal disuelta de menos del 1%. Hay dos clases de depósitos de agua dulce: superficies de agua dulce estables tales como lagos, charcos y superficies de agua interiores llamados humedales y el agua que fluye tales como corrientes y ríos.

Estas aguas cubren una parte de la superficie de la tierra muy pequeña, y sus localizaciones no se relacionan con el clima. Solamente cerca del 1% de la superficie de la tierra se cubre con agua dulce, mientras que el 41% de las especies de peces conocidas habitan en este tipo de aguas. Las zonas del agua dulce generalmente están conectadas o cerca de la tierra; por lo tanto a menudo están amenazadas por una entrada constante de materia orgánica, de nutrientes inorgánicos y de agentes contaminantes. Para determinar la calidad del agua



agencias certificadas toman muestras; toman cantidades pequeñas de agua en un medio que a posteriori se puede analizar en un laboratorio.

Los laboratorios analizan estas muestras según varios factores, y ven si está dentro de los estándares de la calidad para el agua. Uno de estos factores es el número de colonias de bacterias coliformes; éstas son un indicador para la calidad del agua para beber o nadar. (RIVVA 2004)







## **CAPÍTULO IV**

### **CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y POTABILIDAD DE AGUAS EN POZOS DOMÉSTICOS DE LA URBANIZACIÓN TAPARACHI - III SECTOR DE LA CIUDAD DE JULIACA**

#### **4.1 IMPORTANCIA DEL USO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA EL CONSUMO HUMANO.**

El agua es uno de los recursos naturales más importantes, ya que está presente en todos los aspectos de la vida existente en la tierra. Prácticamente, todas las actividades humanas están vinculadas con el agua: uso agrícola, poblacional, pecuario industrial, minero, generación de energía, transporte, actividades recreativas, etc. Pero también muchos desastres naturales están relacionados con la misma, como los casos extremos de sequías e inundaciones, que causan grandes daños y pérdidas económicas y de vidas humanas.

El volumen de agua en la naturaleza según la UNESCO es de aproximadamente 1,387 millones de Km<sup>3</sup>. A pesar de esta enorme cantidad de agua, existe un gran problema de disponibilidad, por su desigual distribución espacial y temporal y, además, por su calidad. Es por eso que se dice que “el



agua es un recurso abundante y, a la vez, escaso” Se debe remarcar que el agua interesa desde el punto de vista que se encuentre en la cantidad deseada, en la oportunidad requerida y con la calidad adecuada. Del total de agua existente, sólo es utilizable 4.3 millones de Km<sup>3</sup>, de los cuales 4.17 millones de Km<sup>3</sup> corresponden al agua subterránea, contenida a profundidades menores de 800 m, y los otros 0.13 millones de Km<sup>3</sup> se encuentran en forma de agua dulce superficial, en lagos y ríos. A escala mundial, las demandas de agua se incrementan, por el aumento de la población, y su disponibilidad tiende a disminuir, por la contaminación de ríos, lagos y acuíferos. Esto es debido a los vertidos urbanos de la población y vertidos industriales que requieren de depuración, vigilancia y control, así como la necesidad de tecnologías limpias.

El monitoreo de la calidad de agua es la actividad realizada con el fin de conseguir datos confiables y utilizables; no es de bajo costo, por lo que debe tenerse cuidado para asegurar que los recursos analíticos y otros sean empleados provechosamente. El primer paso en la planificación de un sistema de monitoreo de agua, sería por lo tanto, decidir qué datos son necesarios y cómo serán usados. Luego serán escogidos los lugares del muestreo con la visión de obtener la información esencial requerida con un mínimo de esfuerzo.

#### **4.2 ALCANCES PARA EL USO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS COMO AGUA POTABLE.**

El agua en general y la subterránea en particular es un recurso limitado en nuestro planeta, donde más del 97% es salada y se concentra en mares y océanos. Del resto, alrededor del 2% constituye los casquetes polares en forma de hielo. Le sigue en magnitud el agua subterránea, cuya reserva hasta 1.000 m de profundidad se estima en el 0,5% del total, mientras que el volumen instantáneo de agua superficial llega a sólo el 0,02% y entre el agua del suelo y la atmosférica, componen algo más del 0,01% de la total (1.383 x 10<sup>6</sup> km<sup>3</sup>).

El incremento en la demanda y la disminución en la disponibilidad, particularmente por deterioro en su calidad, han generado y generan problemas cada vez más graves para el abastecimiento tanto a nivel local como regional y continental.



Esta problemática, que se ha manifestado en forma creciente durante el siglo 20, es previsible que mantenga su tendencia en el presente, especialmente debido al crecimiento poblacional mundial que dará lugar a un aumento en la demanda de alimentos, bienes y servicios. Por ello, considero apropiado calificar al 21 como el Siglo del Agua.

Los conceptos sobre-explotación y contaminación, poseen variadas acepciones y alcances de acuerdo al enfoque particular de los especialistas y/o a la finalidad que se persiga con el aprovechamiento del agua subterránea. Así, por sobre-explotación suele entenderse un exceso en la explotación que afecta las reservas permanentes, debido a que supera con amplitud y durante lapsos prolongados a la magnitud de las reservas renovables (recarga). Esto se traduce en una disminución del potencial hidráulico, que se manifiesta por un descenso apreciable de los niveles piezométricos y puede generar o acelerar otros procesos indeseables como contaminación y/o salinización. En definitiva, la sobre explotación siempre causa una disminución marcada en la disponibilidad y productividad de los acuíferos.

En el concepto de contaminación se incluye a todo proceso que genere un deterioro apreciable en la calidad física, química y/o biológica del agua subterránea. Generalmente la contaminación deriva de acciones artificiales (polución), aunque a veces tiene origen natural (disolución de sustancias nocivas como flúor y arsénico en el Loess Pampeano, o metales pesados en yacimientos metalíferos) y en otras, si bien observa una génesis natural, es inducida artificialmente (salinización por sobre-explotación de acuíferos costeros). La contaminación del agua subterránea está estrechamente ligada a los procesos de degradación ambiental y en este sentido, resulta conveniente aplicar el concepto de interacción global de los recursos naturales, desarrollado por los investigadores soviéticos, que señala la imposibilidad de preservar la calidad de uno de los recursos, si el resto está deteriorado o en vías de deterioro. Como ejemplo, se puede mencionar que la contaminación del aire por la actividad industrial o urbana, se trasladará al agua superficial y al suelo, a través de la acción gravitatoria o el arrastre, producido por la lluvia y de éste, mediante el

proceso de infiltración efectiva, podrá alcanzar al agua subterránea si la sustancia contaminante es móvil y persistente. Otro elemento que tipifica el comportamiento dinámico del agua subterránea es su escasa movilidad, con bajas velocidades de flujo que, en condiciones de equilibrio natural, o sea cuando no existe alteración por explotación, normalmente varían entre algunos cm y decímetros por día, particularmente en acuíferos con porosidad primaria o intergranular. Esto hace que los procesos de degradación, particularmente los vinculados a la contaminación, se produzcan muy lentamente por lo que resulta difícil detectarlos, especialmente en las fases iniciales. Este comportamiento que aparece como beneficioso para la preservación en realidad no lo es, pues la baja actividad dinámica deriva en lapsos muy prolongados para la restauración o descontaminación. Respecto a esto último, conviene aclarar que es prácticamente imposible restaurar la calidad de un acuífero a su condición natural previa a la contaminación y en este sentido, en la generalidad, sólo pueden lograrse mejoramientos parciales, mediante tecnologías que requieren elevados costos. Por ello, resulta perfectamente aplicable a los recursos naturales en general y al agua subterránea en particular, el apotegma de la medicina: "es preferible prevenir que curar" (Auge, 1990).

### **4.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL ACUÍFERO.**

El agua subterránea es aquella que se encuentra, dentro del ciclo hidrológico, yaciendo bajo la superficie del suelo, en condiciones de saturación. El agua subterránea proviene de la infiltración del agua superficial; luego se mueve, al interior del suelo, en forma vertical descendente (percolación) hasta alcanzar la napa subterránea (zona saturada del suelo). El límite que separa la zona saturada de la no saturada del suelo se denomina nivel freático.

#### **1. EL ACUÍFERO.**

Es toda formación geológica capaz de contener y transmitir agua. También se puede definir como el medio poroso, donde se puede almacenar agua y a través del cual ésta puede moverse o fluir libremente. Desde el punto de vista geológico se distinguen dos tipos de acuíferos:



- No Consolidados, medios porosos consistentes en agregados: arena o grava.
- Consolidados, los granos se cementan juntos, como las areniscas.

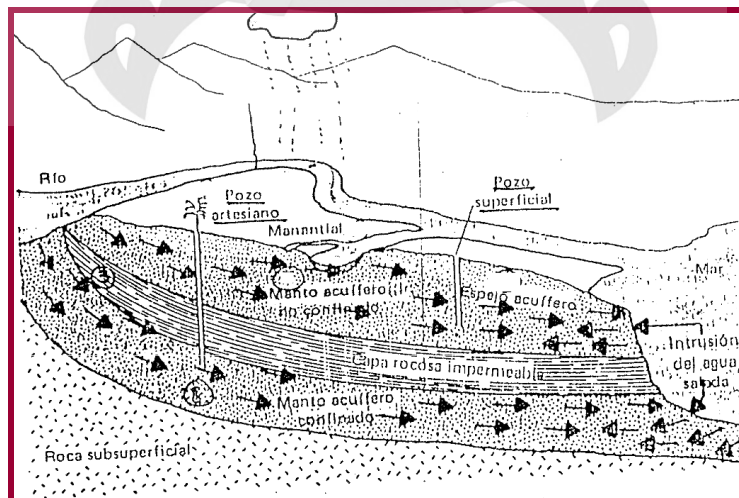
En las rocas fracturadas el agua subterránea se mueve a través de las fracturas o fisuras, tales como granito y basalto fracturados. En las calizas con fracturas, éstas frecuentemente pueden ser ampliadas por el agua, formando canales grandes o aún cavernas. Estas calizas, donde la solución ha sido muy activa se llaman karsts.

De acuerdo al comportamiento hidráulico, se consideran:

- Acuífero confinado o Artesiano: se trata de una formación permeable comprendida entre dos estratos impermeables, que mantiene el agua a presión.
- Acuífero libre: Está caracterizado por la presencia de una superficie libre de agua (nivel freático) que constituye su límite superior; su límite inferior puede ser una formación impermeable o semipermeable. El flujo en estos acuíferos es por gravedad, como en canales, de mayor a menor carga hidráulica.

### GRÁFICO 1

#### COMPORTAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO



FUENTE: AURAZO DE ZUMAETA, M. (2004). Manual para Análisis Básicos de Calidad del agua de bebida. OMS. Lima Perú.

## 2. PROPIEDADES DE LOS ACUÍFEROS

Los acuíferos poseen ciertas características, relacionadas con la capacidad de almacenamiento de agua y con su movimiento, o parámetros hidráulicos:

- a) Porosidad ( $n$ ): relación del volumen de vacíos al volumen total, varía desde valores altos en las arcillas (45%) a valores más bajos, en formaciones con cavidades o cavernas.
- b) Coeficiente de Almacenamiento(S): Está relacionado con el volumen de agua que pueda extraerse por unidad de volumen de un acuífero; por drenaje o expansión del agua.
- c) Permeabilidad o conductividad hidráulica ( $k$ ) : Facilidad que ofrece el medio poroso al movimiento del agua; depende tanto de las propiedades del fluido como de la matriz sólida.
- d) Transmisividad ( $T$ ): Es el flujo de agua a través de un área perpendicular a la dirección del flujo.

### 4.4 SITUACION DEL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL PERU.

En el Perú, la explotación del agua subterránea es de gran importancia, sobre todo en la Costa, debido a su comportamiento hidrológico, con precipitaciones nulas y con recursos hídricos superficiales, en la mayoría de los valles, sólo tres meses al año (época de avenidas); durante el período de estiaje, la agricultura se mantiene con la explotación del reservorio subterráneo; casi la totalidad de las industrias y de las poblaciones, asentadas en esta zona, se abastecen de aguas subterráneas. En la sierra, la explotación del agua subterránea es menos significativa. En la Selva, donde los recursos hídricos son cuantiosos, existe explotación mínima.

Los recursos hídricos subterráneos en el Perú son importantes, estimándose un volumen aprovechable anual de alrededor de 25000 MMC, de los cuales



actualmente se vienen utilizando sólo el 10% (2500 MMC/año), a través de pozos tubulares y a tajo abierto, galerías filtrantes, drenes y manantiales. En la década de 1930 en el Perú se inicia, en forma importante, la perforación de numerosos pozos, con un incremento aproximado de 300 por año; actualmente deben existir más de 15000 pozos en todo el territorio nacional.

El agua subterránea en el Perú, con respecto a su calidad y problemas de contaminación, ha sido y es más estudiada en la zona de la Costa, donde su uso es más intensivo, habiéndose detectado en algunos sectores contaminación de origen agrícola y algunos casos por intrusión marina

#### **4.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES DE POZOS DOMÉSTICOS SELECCIONADOS EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI - III SECTOR DE LA CIUDAD DE JULIACA.**

Para esto se ha seleccionado quince pozos, en viviendas, estos pozos han sido contruidos para el consumo humano de las aguas subterráneas por sus pobladores. A continuación se detalla las referidas características.

**CUADRO 2**  
**CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES DE POZOS DOMÉSTICOS PARA USO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI - III SECTOR DE JULIACA**

N°	VÍAS	MANZANA	LOTE	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS			ESTRUCTURA INTERIOR	ESTRATIFICACIÓN
				DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	PROF. N.F. (m)		
1	Jr. Senegal	F- 9	1	1.20	3.80	2.10	De tierra	0.00 – 0.80 suelo orgánico 0.80 – 2.00 suelo gravoso 2.00 – 3.80 suelo arenoso
2	Jr. Vilcanota	F-11	15	1.30	3.60	2.20	Anillos tubulares	0.00 – 0.80 suelo orgánico 0.80 – 2.10 suelo gravoso 2.10 – 2.50 suelo gravoso 2.50 – 3.60 suelo arenoso
3	Jr. Vilcanota	J-28	4	1.10	3.50	2.60	Anillos tubulares	0.00– 0.80 suelo orgánico 0.80 – 2.00 suelo arenoso 2.00 – 3.50 suelo gravoso
4	Jr. Huallaga	F-8	1	1.00	3.30	2.10	Anillos tubulares	0.0 – 0.60 suelo orgánico 0.60 – 1.50 suelo gravoso 1.50 – 2.00 suelo arenoso 2.00 – 3.50 suelo gravoso
5	Jr. Huallaga	F - 7	1	1.00	3.30	2.10	Anillos tubulares	0.0 – 0.60 suelo orgánico 0.60 – 1.50 suelo gravoso 1.50 – 2.50 suelo arenoso 2.50 – 3.30 suelo arenoso
6	Jr. Suches	F-12	1	1.20	3.80	2.10	De tierra	0.00 – 0.80 suelo orgánico 0.80 – 3.80 suelo gravoso





7	Jr. Huallaga	F-6	1	1.10	3.30	2.10	Anillos tubulares	0.00 – 1.20 suelo orgánico 1.20 – 2.20 suelo gravoso 2.20 – 3.30 suelo gravoso
8	Jr. Amazonas	D-11	1	1.20	3.50	2.00	Anillos tubulares	0.00– 1.00 suelo orgánico 1.00 – 1.80 suelo arenoso 1.80 – 3.50 suelo gravoso
9	Jr. Eúfrates	D-7	1	1.10	3.30	2.00	Anillos tubulares	0.0 – 0.80 suelo orgánico 0.80 – 2.10 suelo gravoso 2.10 – 3.30 suelo arenoso
10	Jr. Napa	D-8	1	1.10	3.60	2.10	De tierra	0.0 – 0.80 suelo orgánico 0.80 – 1.50 suelo gravoso 1.50 – 2.50 suelo arenoso 2.50 – 3.60 suelo arenoso
11	Jr. Desaguadero	D-10	1	1.15	3.80	2.50	Anillos tubulares	0.00 – 1.20 suelo orgánico 1.20 – 2.50 suelo gravoso 2.50 – 3.80 suelo arenoso
12	Jr. Eúfrates	E-9	12	1.00	3.60	2.20	Anillos tubulares	0.00 – 1.50 suelo orgánico 1.50 – 2.20 suelo gravoso 2.20 – 3.60 suelo gravoso
13	Jr. Putumayo	D-13	1	1.10	3.80	2.20	Anillos tubulares	0.00– 1.10 suelo orgánico 1.10 – 2.00 suelo arenoso 2.00 – 3.80 suelo gravoso
14	Jr. Vilcanota	F-11	4	1.00	3.85	2.10	Anillos tubulares	0.0 – 1.40 suelo orgánico 1.40 – 2.80 suelo gravoso 2.80 – 3.85 suelo arenoso
15	Jr. Napo	D-12	1	1.10	4.10	2.40	De tierra	0.0 – 1.35 suelo orgánico 1.35 – 2.20 suelo gravoso 2.20 – 4.10 suelo arenoso

FUENTE: SELECCIÓN E INVENTARIO - ELABORACIÓN PROPIA

## **4.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

El servicio de agua potable público no ha alcanzado a la Urbanización Taparachi III Sector motivo por el que se han construido pozos domésticos para la extracción de aguas subterráneas para el consumo humano. Un pozo para abastecimiento de agua es un hueco profundizado en la tierra para interceptar acuíferos o mantos de aguas subterráneas.

### **4.6.1 TIPOS DE POZOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción.

#### **1. POZO EXCAVADO.**

Aquel que se construye por medio de picos, palas, etc., o equipo para excavación como cucharones de arena. Son de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo.

#### **2. POZO TALADRADO.**

Aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo.

#### **3. POZO A CHORRO.**

Aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad. El chorro afloja el material sobre el cual actúa y lo hace rebalsar fuera del hueco.

#### **4. POZO CLAVADO.**

Aquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta se calva en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados. Son de pequeño diámetro.

#### **5. POZO PERFORADO.**

La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador, mediante presión hidráulica, o con alguna herramienta hueca de perforar, etc.

Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección contra la contaminación.

#### **4.6.2 MÉTODOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

Una perforación es un hueco que se hace en la tierra, atravesando diferentes estratos, entre los que puede haber unos acuíferos y otros no acuíferos; unos consolidados y otros no consolidados. Cada formación requiere un sistema de perforación determinado, por lo que a veces un mismo pozo que pasa por estratos diferentes obliga a usar técnicas diferentes en cada uno de los estratos.

Una misma perforación puede atravesar varios acuíferos, por lo que es conveniente valorar cada uno de ellos para definir cuales deben ser aprovechados a la hora de terminar el pozo. La determinación de si una formación es acuífera o no, así como de su permeabilidad, se hace con base en las muestras que el perforador obtiene durante el transcurso de la perforación; de aquí la gran importancia que tiene realizar un buen muestreo. Existen métodos mecanizados y manuales para perforar pozos, pero todos se basan en dos modalidades: percusión y rotación. Así mismo, se emplea una combinación de ambas modalidades.

## 1. PERFORACIÓN POR PERCUSIÓN.

La gente de la antigua China perforaba hace 1000 años, pozos de hasta 900 m de profundidad para explotar sal. Con un hierro pesado de la forma de una pera golpearon constantemente las rocas a perforar. Un poco de agua en el fondo del pozo se mezclaba con el polvo de roca y se extraía con baldes de tubo.

El método se basa en la caída libre de un peso en sucesión de golpes rítmicos dados contra el fondo del pozo.

Las partes típicas de un equipo motorizado de perforación a percusión son:

- **TREN DE RODAJE.-** Estos equipos vienen generalmente montados sobre un chasis de acero sobre cuatro ruedas con neumáticos, pero también las hay motadas sobre un camión.
- **BASTIDOR.-** Es una caja de ángulos de acero y brazos articulados en donde se ubican las piezas vitales de la perforadora y soporta además a la torre.
- **MÁSTIL O TORRE.-** Generalmente son de tipo telescópica y viene en dos tramos de 36 pies cuando esta extendida y 22 pies cuando está recogida, con sus respectivos dispositivos de extensión. El largo de la torre está en función con la sarta de perforación.
- **TIRO DE REMOLQUE.-** Es el mecanismo que va unido al tren de rodaje de la perforadora.
- **MOTOR.-** Para poder accionar todo el equipo de perforación se necesita un motor ya sea a combustión interna o con energía eléctrica como en el caso de algunos equipos soviéticos.



## 2. PERFORACIÓN POR ROTACIÓN.

Estos equipos se caracterizan porque trabajan girando o rotando la broca, trícono o trépano perforador.

El sentido de la rotación debe ser el mismo usado para la unión o enrosque de las piezas que constituyen la sarta de perforación. Todas las brocas, trépanos o tríconos, son diseñados para cortar, triturar o voltear las distintas formaciones que pueden encontrarse a su paso. Estas herramientas son diseñadas para cada tipo de formación o terreno. El trabajo de perforación se realiza mediante la ayuda del lodo de perforación el cual desempeña las siguientes funciones: evita el calentamiento de las herramientas durante la operación, transporta en suspensión el material resultante de la perforación hacia la superficie del terreno y finalmente formar una película protectora en las paredes del pozo para de esta manera impedir el desmoronamiento o el derrumbe del pozo.

Un equipo de perforación por rotación motorizado típico, tiene las siguientes partes:

- **MESA DE ROTACIÓN.-** Su función es la de recibir la fuerza necesaria del motor para poder girar la sarta de perforación.

Estas mesas pueden ser accionadas por acople directo o por engranajes y son redondas con tamaño de acuerdo a la magnitud del equipo de perforación. En el centro lleva una abertura que puede ser cuadrada o hexagonal por la que pasa la barra giratoria llamada Kelly.

- **BARRA GIRATORIA O KELLY.-** Es una barra generalmente cuadrada de 4" de lado y que pasa por el centro de la mesa rotatoria y recibe de esta el necesario movimiento giratorio para poder perforar.

El extremo inferior se acopla a las brocas y el extremo superior al eslabón giratorio llamado Swivel que lo soporta conjuntamente con toda la sarta de



perforación. La barra es de acero de alta dureza y es hueca por el centro (2”), para de esta manera permitir el paso del lodo de perforación hidráulico. El Kelly puede subir, bajar o detenerse cuantas veces lo desee el perforador mediante el accionamiento de los controles respectivos.

- **SWIVEL O ESLABÓN GIRATORIO.-** Es un mecanismo que va acoplado a la parte superior del Kelly, es una pieza hueca en el centro. Aquí se acopla la manguera que viene desde la bomba de lodos.
- **DRILL PIPE O TUBERÍA LIVIANA DE PERFORACIÓN.-** Tubería construida con acero especial y se usa agregándose cada vez que se introduce el Kelly totalmente en el pozo y vuelve a sacarse, ya que de esta manera se deja el espacio disponible para la tubería.
- **DRILL COLLARS O TUBERÍA PESADA DE PERFORACIÓN.-** También conocida como Botellas o Sobre peso. Son tubos de 6” o más y de 10’ a 20’ de largo y con un peso de 500 a 700 Kg. Su finalidad es aumentar el peso de la sarta de perforación y conseguir fácilmente el corte con los triconos.
- **TRÍCONOS O BROCAS DE PERFORACIÓN.-** Las brocas tienen la función de desagregación de las rocas durante la perforación de un pozo. Existe una amplia gama de triconos y cada uno está diseñado para determinadas desagregar rocas con determinadas características mecánicas y abrasivas.
- **BOMBA DE LODOS.-** Su función principal es tomar el lodo de perforación de la poza de lodos y llevarla por la manguera hacia el Kelly y al fondo del pozo. El lodo asciende a la superficie llevando en suspensión el detritus de la perforación. Por un canal pasa a la poza de sedimentación donde se depositan por su propio peso partículas grandes y pesadas, arena, etc.

Del pozo de sedimentación el agua con menos material en suspensión pasa por medio de otro canal hacia el pozo principal donde nuevamente es bombeado al pozo, cerrando en ciclo.

- **MOTOR.-** Pueden ir acoplados al chasis del remolque o puede usarse el mismo motor del camión del equipo de perforación. La potencia depende de la magnitud del equipo de perforación. La principal ventaja de este método es que es más rápido que el método a percusión.

#### 4.6.3 CONSTRUCCIÓN DE POZOS CON EQUIPO DE PERFORACIÓN MANUAL.

Existen diversos métodos de perforación manual, la mayoría de los cuales son por percusión. Entre ellos tenemos:

- **PALA VIZCACHA.-** Es el modelo clásico manual para perforar pozos. Se perfora sin la inyección de líquidos, solamente escarbando en la tierra dando vuelta la broca mediante la manija. Una vez llena la broca hay que sacarla y vaciarla, sacando barra por barra afuera. Por ello es muy importante que las barras estén hechas de fácil conexión.
- **A GOLPES.-** Se usa en sedimentos blandos y consiste en usar tuberías de FºGº de diámetros de 1-1/2" generalmente, y con una punta de acero que a la vez es filtro. Las piezas de tubería son de 1 a 2 m y se golpean con un combo o con aparatos especiales hasta hundirlo en el suelo y la profundidad que se puede alcanzar con este método está en los 20 m.

Los equipos de perforación manual con equipos artesanales tienen la ventaja de ser fáciles de construir y permiten perforar pozos de más de 70 m y a bajo costo. Las limitaciones que se presentan están relacionadas a la calidad del suelo que se quiere perforar, la presencia de rocas o raíces duras no permiten el trabajo. Se obtienen bajos caudales lo que limita mayormente su uso para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel unifamiliar o de pequeñas comunidades.

Pese a las limitaciones de estos equipos de perforación, en las zonas rurales donde las condiciones topográficas y la disponibilidad de agua superficial de buena calidad sanitaria, no permitan otra alternativa.

#### **4.6.4 EQUIPO DE PERFORACIÓN MANUAL MODELO CEPIS.**

En los países de la subregión andina se viene utilizando en forma exitosa sistemas de perforación manual de tipo artesanal; sin embargo, cuando en zonas donde el acceso juega un papel importante en cuanto a costos y modalidad de transporte, se han tenido problemas que han obligado a fabricar torres de perforación en los mismos lugares de la perforación, elevando los costos en la aplicación de esta tecnología.

Como una manera de paliar este problema, la OPS/CEPIS en coordinación con agencias que trabajan con esta tecnología, han desarrollado modelos de torres de dos y tres cuerpos para enfrentar las dificultades presentadas.

#### **1. APLICACIONES.**

Las torres de perforación fueron diseñadas para las siguientes condiciones de trabajo:

- Torre de tres cuerpos
- Para zonas de difícil transporte, caso de selva y otros lugares poco accesibles donde el acarreo se realiza en pequeñas embarcaciones o mediante el empleo de cargadores.
- Ideal para terrenos areno-arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados sin bolonería.
- Profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.
- Torre de dos cuerpos
- Para uso en zonas que cuentan con vehículos pequeños.
- Ideal para terrenos areno-arcillosos, aunque no se descarta su empleo en terrenos conglomerados sin bolonería.
- Profundidades de hasta 100 m en terrenos blandos.





## 2. CARACTERÍSTICAS.

- **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:** Materiales disponibles en el mercado local, secciones optimizadas mediante el análisis estructural, disponibilidad de especificaciones técnicas para la construcción.
- **OPERACIÓN:** En forma manual, fácil ensamble y desensamble haciendo uso de la herramienta auxiliar, mínimo empleo de mano de obra.
- **MANTENIMIENTO:** Mínimo y reducido a la limpieza de las partes luego de la perforación, engrase de uniones y juntas de ensamble, engrase de tornillo sinfín, revisión del desgaste de brocas y de la columna de perforación.
- **VENTAJAS:** Poco peso, alrededor de 50 kg incluyendo sus accesorios, fácil de transportar, velocidad de perforación de hasta 6 m por hora, caja de herramientas ad hoc y disponibilidad de planos y especificaciones para la construcción y montaje.
- **COSTOS:** Los costos de construcción de los modelos de dos y tres cuerpos, incluyendo la columna de perforación de 30 m, caja de herramientas y accesorios de ensamble y operación, ascienden respectivamente a US \$ 1000.00 y US \$ 1200.00
- **EXPERIENCIAS EXITOSAS:** El modelo de tres cuerpos fue probado con éxito en el departamento de Puno, Perú, con el apoyo de ADRA-PERU, lográndose perforar 22 pozos a una profundidad promedio de 25 m, alcanzándose velocidades de perforación de hasta 6 m por hora.

## 3 COMPONENTES.

- **TORRE DE PERFORACIÓN:**
  - ✓ Dos o tres cuerpos de 1.30 m cada uno, de acero A-53
  - ✓ Tres bases circulares de acero A-53



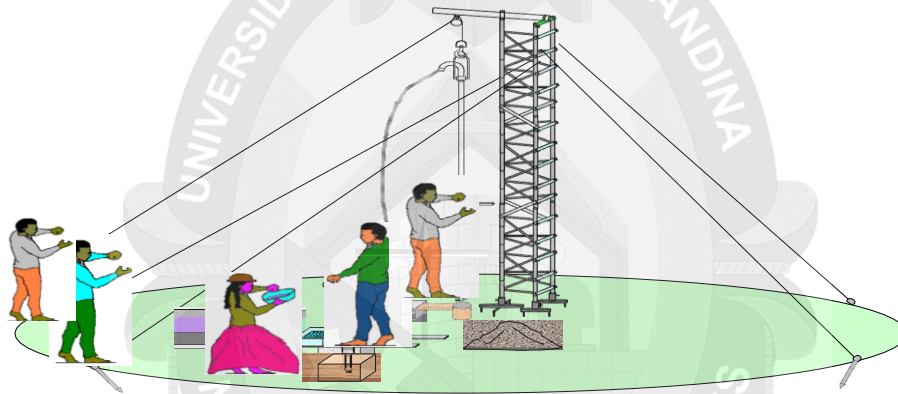
- ✓ Un ángulo L de acero A-36
  - ✓ Un soporte de polea, de acero A-53
  - ✓ Barras con sus respectivos pernos
- **TUBERÍA DE PERFORACIÓN:**
    - ✓ 30 tubos de fierro galvanizado de 3/4" x 2 m de largo, roscados en un extremo y con una unión simple en el otro extremo, acondicionados con pestañas de fierro soldadas que encajan en la manija.
- **MANIJA:**
    - ✓ De fierro galvanizado de 1/2" x 0.50 m de largo con un dispositivo central abisagrado que permite encajar con las pestañas de los tubos de perforación, para posibilitar la acción de rotación de estos.
- **BROCA DE PERFORACIÓN:**
    - ✓ Construida con acero A-36, con diseño de acuerdo al tipo de terreno a perforar.
- **BOMBA DE LODOS:**
    - ✓ De tubo galvanizado, con cilindro de 2" de diámetro, se conecta con la tubería de perforación mediante una manguera plástica de 6 m de longitud.
- **ACCESORIOS**
    - ✓ Cuerda (soga) de 35 m de nylon para tirantes de la torre y para jalar los tubos de perforación a través de la polea.
    - ✓ Cuatro estacas de acero estructural de 1" por 0.60 m, para anclar en el suelo los tirantes de la torre.
    - ✓ Una plancha de acero en forma de U, para facilitar el retiro de los tubos una vez concluida la perforación del pozo.
    - ✓ Un tornillo herramienta que sirve para facilitar el armado y

desarmado de los cuerpos de la torre.

#### 4. PROCEDIMIENTO PARA LA PERFORACIÓN.

Esta tecnología de perforación de pozos se basa en dos movimientos combinados: el de perforación y el de percusión, por medio de ellos se consigue soltar la tierra del fondo y usando tubos se consigue una recirculación de agua que fluye a presión por medio de una bomba de lodos, logrando desplazar la tierra suelta del fondo del pozo en forma continua.

**GRÁFICO 2**  
**TORRE DE PERFORACIÓN ENSAMBLADA**



FUENTE: PRIETO B., CARLOS J. 2004. El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Importancia del agua subterránea. ECOE ediciones.

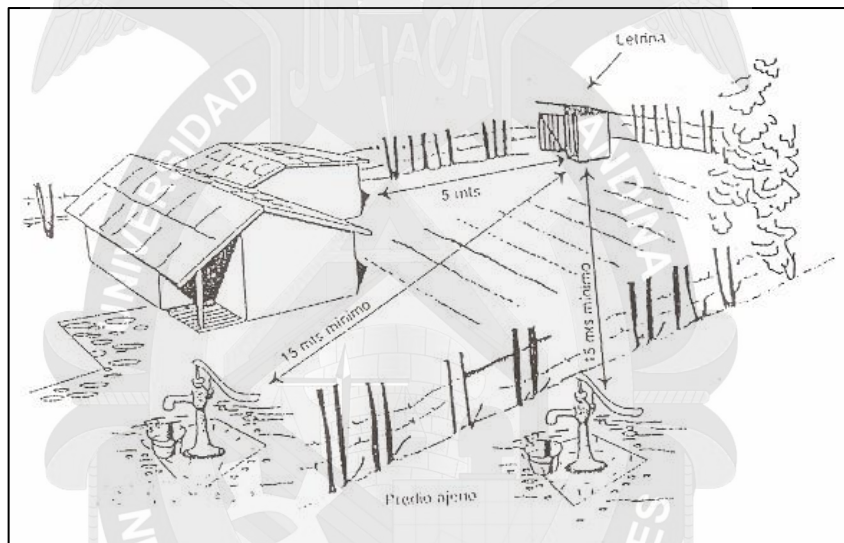
Para desarrollar un proyecto de perforación de pozos es necesario predecir las características del subsuelo y de la calidad del agua a obtener, para ello debe tenerse en cuenta la siguiente información:

- Informes de mapas geológicos, de recursos hidráulicos y mapas topográficos.
- Informes de consultores y perforadores locales.
- Características superficiales de la zona, como corrientes de agua, manantiales y vegetación.
- Fuentes contaminantes: aguas residuales, basurales, letrinas.

Existen métodos predictivos de la existencia de recursos hídricos, tales como: imágenes por satélite y fotografías aéreas, estudios de resistividad eléctrica y estudios sísmicos.

En el gráfico siguiente se muestra la ubicación sanitaria correcta de los pozos.

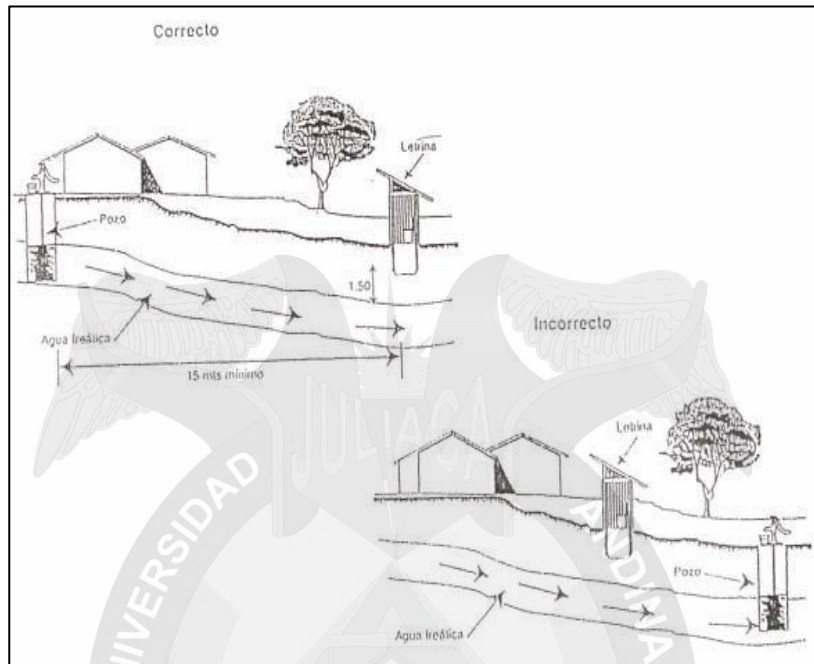
**GRÁFICO 3**  
**UBICACIÓN DE POZOS Y LETRINAS**



FUENTE: PRIETO B., CARLOS J. 2004. El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Importancia del agua subterránea. ECOE ediciones.



**GRÁFICO 4**  
**UBICACIÓN SANITARIA DE POZOS**



FUENTE: PRIETO B., CARLOS J. 2004. El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. Importancia del agua subterránea. ECOE ediciones.

#### **4.7 CONSTRUCCIÓN DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERÁNEA PARA EL CONSUMO DOMÉSTICO EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.**

##### **4.7.1 CONSTRUCCIÓN DE POZOS ENTUBADOS.**

###### **a) ENTUBADO DEL POZO.**

Concluida la perforación del pozo se procede al retiro de la barra de perforación, tubo por tubo y con mucho cuidado para evitar la caída de las barras al fondo del pozo. El filtro debe estar preparado previamente. En dos costados se cortan con sierra las ranuras de penetración, por las que pasará el agua desde el acuífero hacia el pozo. Es mejor usar una sierra de corte ancho para aumentar el área de filtración. Es suficiente que cada corte llegue a pasar apenas la pared del tubo. Para que las ranuras queden alineadas, es necesario rayar primero la tubería.

El tubo del filtro lleva en la parte inferior un tapón hecho con el mismo material del entubado y debe ser en punta para facilitar la introducción en el pozo. Sobre el tubo ranurado, se coloca una manga de tela poliéster para evitar que penetre arena al pozo. El filtro acondicionado, se hunde en la perforación. Para introducirlo es necesario empujar con fuerza, porque la tela no deja penetrar por el filtro el agua espesa que ha quedado en el hueco de la perforación. El filtro se llena con agua para disminuir el empuje ascendente. Los tubos siguientes se van uniendo al filtro con pegamento y cuando la punta del filtro llega al fondo de la perforación, el pozo ha quedado entubado dejando 50 cm de tubo sobre la superficie del terreno.

#### **b) LIMPIEZA DEL POZO**

Terminado el entubado se continúa con la limpieza del pozo para expulsar el agua. Se inyectan aproximadamente 150 litros de agua limpia, haciendo uso de la bomba manual conectada herméticamente al tubo del pozo. Así obligamos que el agua salga por el filtro expulsando el agua espesa desde el fondo hacia la superficie, cuando el agua que sale es clara entonces el pozo ya está limpio. Preparamos la arena gruesa, unos dos baldes de 20 litros y agregamos alrededor del tubo, llega rápidamente al fondo y cubre el espacio entre el tubo-filtro y la pared del pozo. El agua pasará a través de la arena y el filtro hacia el pozo entubado.

#### **c) ACTIVACIÓN DEL POZO**

Transcurrido el tiempo de espera, se introduce en el pozo la manguera aspiradora. La manguera aspiradora es un tubo de polietileno de  $\frac{1}{2}$ " o  $\frac{3}{4}$ " con longitud suficiente para llegar al fondo del pozo. En el extremo que se introduce al pozo tiene una manguera de retención. No conviene llenar al tope de arena alrededor del pozo por que se corre el riesgo que desde los estratos superiores o superficie, se infiltre agua sucia hacia el agua subterránea que queremos aprovechar. Por esta razón la parte restante se rellena con arena gredosa. Mientras baja la arena y se acomoda alrededor del filtro, pasan por lo menos 5 horas. Hasta que transcurra ese tiempo no

conviene empezar el bombeo de limpieza y el ensayo del pozo. Al inicio se introduce la manguera unos 5 m y se procede a realizar movimiento ascendente y descendente con impulso fuerte en un tramo de 50 cm, al meter la manguera sale un buen chorro de agua. Cuanto más rápido sean los movimientos más agua sale por esta sencilla bomba.

Al principio sale el agua que se ha inyectado al lavar el pozo y es un poco clara, luego sale agua muy turbia lo que indica que el agua subterránea sale hacia el filtro arrastrando material gredoso. Después de bombear de esta manera unos 500 litros, el agua sale ya bastante limpia, indicando que el acuífero está lavado. A veces sucede que después de unos cuantos bombeos se seca el pozo. En estos casos se tapa la salida de la manguera aspiradora, se la introduce hasta la zona del filtro y se hacen los movimientos ya descritos con la mayor fuerza posible. Se repite estos movimientos unas veinte veces. Así se ejerce presiones y depresiones en el acuífero, forzando la entrada y salida de agua de la porosidad, con lo que se lava el material gredoso que obstaculiza el paso del agua hacia el pozo. Luego se destapa la salida y se bombean unos 5 litros, se repite la operación hasta que el pozo responda con agua bajo bombeo continuo. En promedio los pozos obtenidos mediante el empleo de la tecnología de perforación manual, rinden de 1 m<sup>3</sup> a 4 m<sup>3</sup> por hora (0,3 a 1,1 litros por segundo).

#### **4.7.2 CONSTRUCCIÓN DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EXCABADOS MANUALMENTE EN LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.**

Son obras de perforación excavadas a mano, con un diámetro mínimo de 1,5 metros. Su profundidad normalmente es de unas pocas decenas de metros (20 o 30), aunque se han llegado a alcanzar varios centenares si bien el diámetro mínimo, tal y como se ha comentado es de 1,5 metros, espacio imprescindible para el trabajo de una persona, es frecuente que supere los 3 metros, con máximos de hasta 6 metros. Este tipo de obras se realizan en acuíferos de materiales poco consolidados con niveles piezométricos poco profundos. El



método constructivo es el clásico de pico y pala, aunque también se utilizan martillos neumáticos y explosivos. Requieren de una bomba de achique para que pueda ser extraída el agua una vez alcanzado el nivel que permita la continuación de los trabajos.

Normalmente, y sobre todo en terrenos poco consolidados, es necesario revestir la obra con objeto de evitar el derrumbe de las paredes, para ello se utiliza piedra, ladrillo, cemento o anillos de hormigón prefabricados, colocados a medida que avanza la perforación. Este último método, llamado de "hinca" o "sistema indio", está provisto en la base con una zapata cortante, normalmente de acero, que facilita el descenso del encofrado. La entrada de agua a la captación se verifica directamente a través de aberturas realizadas en el revestimiento llamados "mechinales", bien mediante agujeros simples, juntas abiertas, ladrillos colocados transversalmente, o perforaciones practicadas en el hormigón. Estas perforaciones permanecen obstruidas o cerradas durante la construcción del pozo y son abiertas a la finalización de la obra. No es frecuente la instalación de rejillas o zonas filtrantes. La pérdida de carga en estas obras es importante y su realización debe ser sopesada convenientemente. La ejecución de este tipo de captaciones tiene un elevado coste y su construcción requiere de unos determinados condicionantes que justifiquen su realización, estos son:

- Acuífero donde el nivel piezométrico se encuentra cerca de la superficie y la profundidad de la perforación es pequeña (menor de 20 metros)
- En acuíferos de poco espesor o con problemas de arrastres, donde se quiera obtener una superficie filtrante máxima
- En acuíferos poco permeables, donde el pozo actúe como depósito regulador.
- En casos especiales: Instalación de maquinaria en el interior, imposibilidad de acceso a máquinas de perforación, necesidad de realizar trabajos que requieran intervención humana.



#### 4.8 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE POTABILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN POZOS DOMESTICOS DE LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.

Para tal efecto, se ha seleccionado quince (15) pozos domésticos de agua en viviendas de diferentes manzanas, que su ubicación se muestran a continuación:

**CUADRO 3**  
**VIVIENDAS CON POZOS DOMÉSTICOS DE AGUA SELECCIONADAS EN LA URBA. TAPARACHI – III SECTOR**

N°	VÍA	MANZANA	LOTE	CARACT. LOTE
1	Jr. Senegal	F-9	1	Vivienda
2	Jr. Vilcanota	F-11	15	Vivienda
3	Jr. Vilcanota	I-28	4	Vivienda
4	Jr. Huallaga	F-8	1	Vivienda
5	Jr. Huallaga	F-7	1	Vivienda
6	Jr. Suches	F-12	1	Vivienda
7	Jr. Huallaga	F-6	1	Vivienda
8	Jr. Amazonas	D-11	1	Vivienda
9	Jr. Enfrates	D-7	1	Vivienda
10	Jr. Napo	D-8	1	Vivienda
11	Jr. Desaguadero	D-10	1	Vivienda
12	Jr. Enfrates	D-9	2	Vivienda
13	Jr. Putumayo	D-13	1	Vivienda
14	Jr. Vilcanota	F-11	4	Vivienda
15	Jr. Napo	D-12	1	Vivienda

FUENTE: SELECCIÓN DE VIVIENDAS – ELABORACIÓN PROPIA

Seguidamente, después de la selección de pozos domésticos de agua, se ha tomado muestras para su análisis físico químico y microbiológico, cumpliendo las recomendaciones recibidas de la Empresa Prestadora de Servicios Sedajuliaca, oficina de División de Producción, Calidad y Medio Ambiente, Área de Control de Calidad, cuyos resultados se muestran a continuación:

## 1. POZO DOMÉSTICO JR. SENEGAL, MZ. F-9, LOTE 1.

## CUADRO 4

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.50 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.668
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.470
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2645
Temperatura	°C	-	15.9
Nitratos	mg/l	50	24.85
Sulfatos	mg/l	250	502
Dureza Total	mg/l	500	903
Cloruris	mg/l	250	405

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1263
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	268

## 2. POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. F-11, LOTE 15.

## CUADRO 5

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.60 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.670
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.472
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2642
Temperatura	°C	-	15.9
Nitratos	mg/l	50	24.87
Sulfatos	mg/l	250	502
Dureza Total	mg/l	500	906
Cloruris	mg/l	250	408

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1273
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	271

## 3. POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. J-28, LOTE 4.

## CUADRO 6

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.65 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.680
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.475
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2649
Temperatura	°C	-	16.1
Nitratos	mg/l	50	24.88
Sulfatos	mg/l	250	505
Dureza Total	mg/l	500	909
Cloruris	mg/l	250	409

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1275
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	257273



## 4. POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-8, LOTE 1.

## CUADRO 7

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.70 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.683
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.474
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2640
Temperatura	°C	-	15.8
Nitratos	mg/l	50	24.90
Sulfatos	mg/l	250	509
Dureza Total	mg/l	500	901
Cloruris	mg/l	250	413

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1268
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	262

## 5. POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-7, LOTE 1.

## CUADRO 8

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.78 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.685
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.478
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2642
Temperatura	°C	-	15.2
Nitratos	mg/l	50	24.84
Sulfatos	mg/l	250	513
Dureza Total	mg/l	500	907
Cloruris	mg/l	250	411

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1264
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	269

## 6. POZO DOMÉSTICO JR. SUCHES, MZ. F-12, LOTE 1.

## CUADRO 9

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.80 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.687
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.480
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2637
Temperatura	°C	-	15.4
Nitratos	mg/l	50	24.96
Sulfatos	mg/l	250	506
Dureza Total	mg/l	500	912
Cloruris	mg/l	250	401

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1269
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	270

## 7. POZO DOMÉSTICO JR. HUALLAGA, MZ. F-6, LOTE 1.

## CUADRO 10

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.87 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.690
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.482
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2635
Temperatura	°C	-	15.7
Nitratos	mg/l	50	24.91
Sulfatos	mg/l	250	508
Dureza Total	mg/l	500	902
Cloruris	mg/l	250	412

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1265
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	265



## 8. POZO DOMÉSTICO JR. AMAZONAS, MZ. D-11, LOTE 1.

## CUADRO 11

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.50 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.692
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.487
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2650
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.82
Sulfatos	mg/l	250	504
Dureza Total	mg/l	500	910
Cloruris	mg/l	250	404

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1270
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	272

## 9. POZO DOMÉSTICO JR. EUFRATES, MZ. D-7, LOTE 1.

## CUADRO 12

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.35 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.694
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.484
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2638
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.95
Sulfatos	mg/l	250	510
Dureza Total	mg/l	500	908
Cloruris	mg/l	250	400

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1274
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	275

## 10. POZO DOMÉSTICO JR. NAPO, MZ. D-8, LOTE 1.

## CUADRO 13

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.85 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.697
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.481
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2651
Temperatura	°C	-	15.6
Nitratos	mg/l	50	24.86
Sulfatos	mg/l	250	503
Dureza Total	mg/l	500	913
Cloruris	mg/l	250	411

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1267
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	270268

## 11. POZO DOMÉSTICO JR. DESAGUADERO, MZ. D-10, LOTE 1.

## CUADRO 14

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.45 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.699
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.483
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2648
Temperatura	°C	-	15.2
Nitratos	mg/l	50	24.92
Sulfatos	mg/l	250	510
Dureza Total	mg/l	500	904
Cloruris	mg/l	250	403

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1271
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	277



## 12. POZO DOMÉSTICO JR. EUFRATES, MZ. D-9, LOTE 2.

## CUADRO 15

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.90 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.672
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.489
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2652
Temperatura	°C	-	15.1
Nitratos	mg/l	50	24.83
Sulfatos	mg/l	250	507
Dureza Total	mg/l	500	911
Cloruris	mg/l	250	407

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1260
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	264

## 13. POZO DOMÉSTICO JR. PUTUMAYO, MZ. D-13, LOTE 1.

## CUADRO 16

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.20 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.675
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.490
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2641
Temperatura	°C	-	15.4
Nitratos	mg/l	50	24.89
Sulfatos	mg/l	250	509
Dureza Total	mg/l	500	900
Cloruris	mg/l	250	410

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1266
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	276

## 14. POZO DOMÉSTICO JR. VILCANOTA, MZ. F-11, LOTE 4.

## CUADRO 17

**REGIÓN** : Puno  
**PROVINCIA** : San Román  
**DISTRITO** : Juliaca  
**TIPO DE AGUA** : Agua de pozo (profundidad 2.40 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.677
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.492
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2645
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.93
Sulfatos	mg/l	250	512
Dureza Total	mg/l	500	914
Cloruris	mg/l	250	406

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1261
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	274

## 15. POZO DOMÉSTICO JR. NAPO, MZ. D-12, LOTE 1.

## CUADRO 18

<b>REGIÓN</b>	: Puno
<b>PROVINCIA</b>	: San Román
<b>DISTRITO</b>	: Juliaca
<b>TIPO DE AGUA</b>	: Agua de pozo (profundidad 2.30 mt.)

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.679
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.481
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2639
Temperatura	°C	-	15.3
Nitratos	mg/l	50	24.81
Sulfatos	mg/l	250	507
Dureza Total	mg/l	500	906
Cloruris	mg/l	250	402

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1262
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	263

## 4.9 ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA.

El agua hace posible un medio ambiente saludable pero, paradójicamente, también puede ser el principal vehículo de transmisión de enfermedades. Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el "agua sucia" las causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año (OMS, 1995). Se estima que 3 000 millones de personas carecen, de servicios higiénicos. Más de 1200 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre. En lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas, las





enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con gran rapidez. Esto sucede cuando excrementos portadores de organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se lixivian hasta los manantiales de agua dulce, contaminando el agua potable y los alimentos (FLEISHER, J; JONES, et. 1993). La magnitud de la propagación de estos organismos infecciosos en un manantial de agua dulce determinado depende de la cantidad de excremento humano y animal que éste contenga. Dado que se puede producir la contaminación fecal de los abastecimientos de agua, si el agua no se trata adecuadamente, el patógeno puede penetrar en un nuevo hospedador, al consumirla.

Las enfermedades diarreicas, las principales enfermedades transmitidas por el agua, prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas residuales es inadecuado. Los desechos humanos se evacuan en letrinas abiertas, canales y corrientes de agua, o se esparcen en las tierras de labranza. Según las estimaciones, todos los años se registran 4.000 millones de casos de enfermedades diarreicas, que causan 3 a 4 millones de defunciones, sobre todo entre los niños (OPS- OMS, 2000). El uso de aguas residuales como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera (DESA, 2010). Estas enfermedades pueden incluso volverse crónicas en lugares donde los suministros de agua limpia son insuficientes. A principios de los años noventa, por ejemplo, las aguas residuales sin tratar que se utilizaban para fertilizar campos de hortalizas ocasionaron brotes de cólera en Chile y Perú. La epidemia del cólera -que se abatió sobre Perú en 1991 y se extendió a casi toda Latinoamérica- es un recordatorio de la velocidad con que se propagan las enfermedades transmitidas por el agua.

Con más de un millón de casos reportados y casi 10 mil muertos a fines de 1994, el cólera también alertó sobre el hecho de que la activación de una ruta de transmisión impulsa otras.

#### 4.9.1 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Las afecciones que se propagan por el agua se conocen como "Enfermedades transmitidas por el agua". Sus agentes patógenos son biológicos, más que químicos, y los males que provocan casi siempre son contagiosos. Por lo general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos, que se transmiten en las heces excretadas por individuos infectados o por ciertos animales. De forma que estas enfermedades se suelen contraer al ingerirlos en forma de agua o de alimentos, contaminados por esas heces (vía fecal-oral).

Los patógenos humanos transmitidos por el agua incluyen muchos tipos de microorganismos tales como: bacterias, virus, protozoos y, en ocasiones, helmintos (lombrices), todos ellos muy diferentes en tamaño, estructura y composición.

#### 4.9.2 BACTERIAS TRANSMITIDAS POR EL AGUA.

*Shigellae dysenteriae*, que causa la disentería (diarrea sangrante), una enfermedad que se manifiesta con fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones también puede causar epidemias de gran magnitud, con altísimos índices de mortalidad, como la que se registró en América Latina entre 1969 y 1973, que causó más de 500 mil enfermos y 9 mil muertos. *Salmonella typhi*, es un bacilo que causa la fiebre tifoidea, una enfermedad sistémica grave que puede dar lugar a hemorragia o perforación intestinal. Aunque el agente de la fiebre tifoidea puede transmitirse también por alimentos contaminados y por contacto directo con personas infectadas, la forma más común de transmisión es a través del agua.

La fiebre tifoidea ha sido prácticamente eliminada de muchas partes del mundo, principalmente como resultado del desarrollo de métodos efectivos para tratar el agua. *Salmonella spp.*, agente de salmonelosis, enfermedad más frecuente que la fiebre tifoidea, pero generalmente menos severa. *Vibrio cholerae*, agente etiológico del cólera, se transmite habitualmente a través del agua. Sin embargo, también puede transmitirse por consumo de mariscos u hortalizas

crudas. La enfermedad ha sido prácticamente eliminada en los países desarrollados gracias a la eficaz potabilización del agua. *Escherichia coli*, generalmente las cepas de *E. coli* que colonizan el intestino son comensales, sin embargo dentro de esta especie se encuentran bacterias patógenas causantes de una diversidad de enfermedades gastrointestinales. Dentro de los *E. coli* patógenos se incluyen: *E. coli* enteropatogénico, *E. coli* enterotoxigénico, *E. coli* enteroinvasivo, *E. coli* enterohemorrágico, *E. coli* enteroadherente, *E. coli* enteroagregativo.

#### 4.9.3 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA.

A causa de las enfermedades de origen hídrico y el interés de controlarlas, los estudios bacteriológicos del agua se han orientado, en su mayor parte, hacia sus aspectos sanitarios. Uno de los criterios, utilizado para determinar la calidad sanitaria del agua, es la clase y número de bacterias que se encuentran presentes. En general, los métodos utilizados están diseñados para detectar el grado de contaminación del agua con desechos de origen humano y/o animal (FATTAL, B.; PELEG-OLEVSKY, E.; AGURSKY, T. & SHUVAL, H. 1987).

Tradicionalmente se han usado ensayos para la determinación de microorganismos indicadores más que para la determinación de patógenos. Los métodos usados para el aislamiento y el recuento de los microorganismos patógenos en agua, alimentos, etc. pueden no ser eficaces debido a que dichos microorganismos se encuentran en muy baja cantidad, sobre todo en presencia de números altos de otros microorganismos, o tienen una distribución irregular en el producto. Aun cuando se cuenta con métodos sensibles, en general son largos y costosos; además, hay patógenos que no pueden determinarse en laboratorios no especializados, como, por ejemplo, el virus de la hepatitis A (CEPIS/OPS 2000).

Estas dificultades han hecho que se utilicen grupos de microorganismos de detección y cuantificación más fáciles y cuya presencia en cierto número se considera como una indicación de que la muestra estuvo expuesta a condiciones que pudieron determinar la llegada a la misma de microorganismos peligrosos y/o



permitir la proliferación de especies patógenas. Estos grupos de microorganismos se denominan "indicadores". Estos son organismos habitualmente asociados al tracto intestinal, cuya presencia en el agua indica que el agua ha recibido una contaminación de origen intestinal. El grupo de bacterias coliformes ha sido siempre el principal indicador de calidad de los distintos tipos de agua; el número de coliformes en una muestra se usa como criterio de contaminación y por lo tanto, de calidad sanitaria de la misma. Los coliformes son bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, que fermentan la lactosa con formación de gas cuando se incuban 48 horas a 35 °C. Incluye los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y especies lactosa positivas de otros géneros. En la práctica, los organismos coliformes son siempre miembros del grupo de las bacterias entéricas. Estas bacterias son adecuadas como indicadores porque son habitantes comunes del tracto intestinal, tanto de las personas como de los animales de sangre caliente, donde están presentes en grandes cantidades. También interesa la determinación de coliformes fecales que representan la fracción de coliformes presentes en intestinos y materias fecales del hombre o animales de sangre caliente (coliformes termotolerantes). Esto proporciona información importante sobre la fuente y el tipo de contaminación presente.

Un método muy utilizado para el recuento de coliformes en agua ha sido siempre el Número Mas Probable (NMP), aunque se han ido variando los medios de cultivo, las condiciones y las técnicas de análisis, con el objetivo de obtener cada vez mayor sensibilidad y precisión, hasta el punto que se ha llegado a aceptar como método estándar. Los distintos métodos de NMP para coliformes totales se basan, en primera instancia, en una selección de los microorganismos que producen ácido y gas a partir de lactosa a 35°C. Por ello, el primer paso es siempre la siembra en tubos de algún caldo lactosado, con o sin inhibidores, con un tubo de fermentación que permite recoger el gas que pueda producirse. A esto sigue una confirmación en un medio líquido selectivo y/o una determinación de los coliformes fecales cuya diferenciación se realiza con base en el hecho de que pueda producir gas desde lactosa, en un medio apropiado cuando se incubaba a





44,5°C mientras que los demás coliformes no. También es utilizado el método de filtración por membrana para el recuento de bacterias coliformes totales y fecales. Es un método altamente reproducible, que puede usarse para analizar volúmenes de muestra relativamente grandes y con el que se obtienen resultados en menor tiempo que con el NMP. Sin embargo, no puede aplicarse a cualquier tipo de muestra y tiene sus limitaciones. Las bacterias coliformes dan colonias oscuras con brillo metálico en medio Endo, luego de 24 h de incubación a 35°C. La determinación de coliformes fecales se hace a partir de las colonias desarrolladas en Endo o directamente incubando la membrana en medio m-FC e incubando a 44,5°C.

Para la detección simultánea de coliformes totales y *Escherichia coli* se puede utilizar la prueba de sustrato enzimático. En este caso, el grupo de coliformes totales incluye todas las bacterias que presentan la enzima beta-D-galactosidasa, que hidroliza un sustrato cromogénico (por ejemplo, ONPG) liberando el cromógeno. Como *E. coli* se incluyen todas las bacterias que dan positiva la reacción de coliformes totales y que tienen actividad beta-glucuronidasa, que rompe el sustrato fluorogénico (por ejemplo, MUG), liberando el fluorógeno. Este método permite llevar a cabo tantos recuentos como ensayos de ausencia/presencia. También se usa como indicador de contaminación fecal la presencia de *Enterococcus faecalis*. El hábitat normal de los *Enterococcus faecalis* es el intestino del hombre y los animales de sangre caliente, por lo tanto, son indicadores de contaminación fecal, sobre todo en muestras de lagos, estuarios, ríos, etc. La identificación de las especies puede proporcionar información sobre la fuente de contaminación debido a que algunas especies son específicas en cuanto a sus posibles huéspedes. Existen distintos métodos estándar para su estimación: NMP y Filtración por membrana.

El recuento de bacterias heterotróficas totales consiste en un método estandarizado para determinar la densidad de bacterias heterótrofas, mesófilas aerobias y anaerobias facultativas en el agua. Así se obtiene información útil que se estudia junto con el índice de coliformes; también se usa para controlar un

determinado proceso en el tratamiento de agua o para verificar la calidad del agua tratada, luego de recorrer toda la red de distribución. Otro grupo de indicadores que ha comenzado a utilizarse en aguas lo constituyen los colífagos, que son bacteriófagos de coliformes, es decir, se encuentran siempre que haya coliformes totales y fecales. De acuerdo con estudios de correlación entre números de colífagos y coliformes en agua, se podría utilizar el índice de colífagos como índice de calidad sanitaria del agua. Además, como son más resistentes a la cloración que los coliformes, pueden ser mejores indicadores de desinfección que estos últimos.

El método de cuantificación se basa en la formación de placas de lisis. Los colífagos (bacteriófagos) infectan y se multiplican en bacterias sensibles a ellos. Esto provoca la lisis celular de esas bacterias y la liberación de partículas virales que infectarán las células bacterianas adyacentes. A medida que las bacterias se vayan lisando, se formarán zonas claras entre el crecimiento confluyente de la bacteria utilizada, determinando las conocidas como "placas de lisis". La cepa utilizada en los ensayos es una E. coli sensible a la infección por colífagos (ATCC 13706) (KORNACKI J.L. & JOHNSON J.L. 2001).

#### 4.10 PRINCIPALES CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de la de sus concentraciones, estos han sido clasificados completando la clasificación de Freeze y Cherry (1979) por su frecuencia de aparición y valor de concentración decrecientes.

Constituyentes mayoritarios o fundamentales:

- Aniones : Carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y nitratos
- Cationes : Ca". Mg". Na. K'. NH<sub>4</sub>
- Otros : CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SiO<sub>4</sub>H<sub>4</sub>, o SiO<sub>2</sub>

Constituyentes minoritarios o secundarios:

- Cationes : Mn, Fe, Li', Sr, Zn.
- Constituyentes traza: F-, S, SH, Br, NO, PO<sub>3</sub>, Al, Ti, Co, Cu, Pb, Ni, Cr, etc.

En condiciones particulares un constituyente minoritario puede alcanzar rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica (sales casi totalmente disociadas) con menor frecuencia se presentan en forma molecular parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas.

### 1. CLORUROS.

Si se exceptúan las evaporitas y rocas de origen marino, las rocas por lo común presentan escasa proporción de cloruros. Sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales estos pasan rápidamente a la fase acuosa alcanzando concentraciones muy altas. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión Cl<sub>-</sub>, especialmente en zonas próximas a la costa, la concentración de Cl<sub>-</sub> en el agua de lluvia disminuye rápidamente tierra adentro. El ión cloruro no forma sales de baja solubilidad, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, no es adsorbido significativamente ni entra a formar parte de procesos bioquímicos, lo que le da un carácter de trazador ideal (Rigola 1999).

### 2. NITRATOS, NITRITOS Y AMONIOS.

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno, la mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmósfera (78% en volumen) en forma oxidada constituye una relativamente importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo). El nitrógeno puede aparecer en forma de NH<sub>3</sub>. NH<sub>4</sub> y, por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en N<sub>2</sub> (gas) y, finalmente en NO<sub>3</sub>; que es la forma más usual y

estable en que el nitrógeno se presenta en las aguas subterráneas (Tebbutt 2001).

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan o por la oxidación bacteriana de materia orgánica (Kiely 2003).

### 3. CALCIO.

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas, en rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato o de sulfato (Kiely 2003)

### 4. MAGNESIO.

El magnesio es menos abundante que el Ca en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina. La solubilidad de la magnesita ( $MgCO_3$ ) en las aguas subterráneas naturales es mayor que la de la calcita por lo que en condiciones normales el  $MgCO_3$  no precipita directamente de la disolución de modo que para un período dilatado de tiempo puede producirse cierto grado de sobresaturación respecto a los diferentes carbonatos magnésicos (Tebbutt 2001).

### 5. SODIO.

Una fuente importante de Na la constituyen los aportes de agua marina en regiones costera, tanto por fenómenos de intrusión en acuíferos costeros como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar. Las sales de Na son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del Ca. Sin embargo, el Na puede ser adsorbido en



arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado por Ca provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural) (Tebbutt 2001).

#### **6. HIERRO.**

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas, en aguas subterráneas suele encontrarse en forma de  $Fe^{2+}$ , contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos, bicarbonato, sulfatos, etc.) La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas (Rigola 1999).

#### **7. MANGANESIO.**

Es esencial para el metabolismo de las plantas, se puede encontrar en forma de Mn o en forma de complejo, en cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central (Tebbutt 2001).

#### **8. POTASIO**

El potasio corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm, por lo cual es mucho menos significativo que el sodio (Rigola 1999).

### **4.11 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o

características fisicoquímicas como: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc.

#### **4.11.1 TURBIEDAD**

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, es decir, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, entre otros (Glynn, Heinke 2000).

#### **4.11.2 COLOR.**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficacia del proceso usado para su remoción (Kiely 2003).

#### **4.11.3 POTENCIAL DE HIDROGENO**

El pH es el logaritmo negativo de la concentración molar, el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrogeno presente. Es medido en una escala de cero a catorce, en la cual siete indica que la sustancia es neutra.

#### **4.11.4 TEMPERATURA.**

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto. A efectos prácticos, puede considerarse que en los

acuíferos existe una "zona neutra" de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente, por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradient geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que en áreas continentales, se considera normal cuando es de 3°C/100 m (Rigola 1999).

#### **4.11.5 CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.**

Como consecuencia de su contenido iónico el agua se hace conductora de la electricidad a medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad (C) o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medida de conductividad es uS/cm (microsiemens/cm) o/mho/cm (micromho/cm) ambas equivalentes. La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad, para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad. El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles (Rigola 1999).

#### **4.11.6 ALCALINIDAD.**

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos, esta capacidad debe definirse para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralización hasta pH = 4.5 y la alcalinidad TA hasta pH = 8.3. En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad (Glynn, Heinke 2000)

#### **4.11.7 DUREZA.**

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones, Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles puede intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu. Na, Zn, etc.



actualmente la dureza se define en términos de contenido en Ca y Mg (dureza total) (Rigola 1999).

#### **4.11.8 SÓLIDOS TOTALES.**

Son la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión. Los sólidos disueltos o salinidad total es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada, y los sólidos en suspensión es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser detenidos en un filtro (Rigola 1999).

#### **4.11.9 ACIDEZ.**

Es la capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, sin embargo su presencia afecta a tuberías o calderas por corrosión. Se mide con las mismas unidades de la alcalinidad y se determina mediante adición de bases (Rigola 1999)

#### **4.12 ESQUEMA DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRANEAS.**

Ya se mencionó que es la alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua, por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables. Características físicas: temperatura, pH, turbidez, olor, color. Características químicas: salinidad total (SDT), tipo y concentración aniónica, tipo y concentración catiónica, otros compuestos solubles, etc. Características biológicas: modificación de la composición biológica natural, ya sea introduciendo nuevos organismos o eliminando los existentes. Además, la contaminación puede ser: natural y artificial y esta última, directa o inducida (Auge, 2004). Natural. Es común la salinización del agua por contacto con sedimentos marinos y salinos, o la incorporación de sustancias que forman los yacimientos metalíferos (Pb, Hg, Zn y Cu), no metalíferos, radiactivos y petrolíferos y la disolución de oligoelementos como F y As, a partir de sedimentos de origen volcánico (Loess Pampeano).



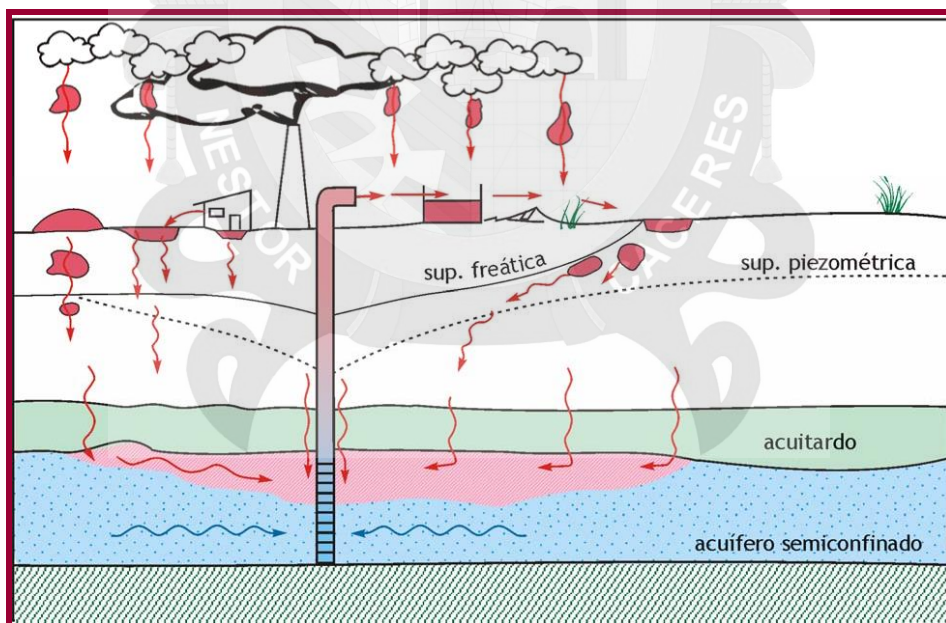


- **ARTIFICIAL DIRECTA:** Es la más frecuente y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce (urbana y rural) o a la actividad que la genera (doméstica, industrial, agropecuaria).
- **URBANA:** vertidos domésticos; residuos de los escapes de los motores; pérdidas en las redes cloacales; lixiviados de basurales; humos y desechos líquidos, sólidos y semisólidos de la industria.
- **RURAL:** empleo de fertilizantes y plaguicidas, desechos humanos y animales. Doméstica: vertido de jabones, detergentes, lavandina, materia orgánica (alimentos, fecal, basura en general). Cuando no se dispone de desagües cloacales, el resultado es la generación de ambientes propicios para la reproducción bacteriana y la formación de  $NH_3$ ,  $NO_2$  y  $NO_3$ .
- **INDUSTRIAL:** Contaminación de la atmósfera por la eliminación de humos y otros compuestos gaseosos y del suelo y el agua, por vertidos líquidos, sólidos y semisólidos. Además por la infiltración de los contaminantes atmosféricos que caen solos o arrastrados por la lluvia.

La industria produce la gama más numerosa y variada de contaminantes. En los países desarrollados, a fines de la década de 1980, se estimaba en aproximadamente 1 millón la nómina de compuestos orgánicos. De estos, unos 40.000 se producen y se utilizan en forma corriente, pese a que un número significativo es tóxico en diferentes grados. A los citados hay que agregarle los metales pesados, fenoles, hidrocarburos, plaguicidas, etc. De los mencionados, algunos son altamente tóxicos, aún en concentraciones de millonésimas de gramo por litro de solución. En los anexos I, II, III y IV, se reproducen las normas de potabilidad establecidas en: Código Alimentario Argentino (CAA), Environmental Protection Agency (EPA), Ley 24051 de residuos peligrosos y Organización Mundial de la Salud (OMS).

En la figura se reproduce esquemáticamente la producción industrial de contaminantes, la emisión al aire y los vertidos sobre el suelo y el subsuelo. Los humos contienen contaminantes en diferentes estados (sólido, líquido, gaseoso) que deterioran al aire y luego llegan al suelo por su propio peso o arrastrados por la lluvia. Generalmente tienden a concentrarse en las depresiones topográficas (ríos, lagos, lagunas), llevados por el escurrimiento superficial, o a infiltrarse y pasar al subsuelo, si existen condiciones favorables para la recarga. En la figura, se aprecia también la migración a través de capas de baja permeabilidad (acuitardos), favorecida por el bombeo del acuífero semiconfinado subyacente, lo que genera una sobrecarga favorable al acuífero libre sobrepuesto. Este proceso fue el que permitió la migración de los  $\text{NO}_3$  contenidos en el Acuífero Pampeano hacia el Puelche infrapuesto, con el consecuente deterioro en la calidad de este último.

**FIGURA 4**  
**CONTAMINACIÓN ÁREA, SUPERICIAL Y SUBTERÁNEA**



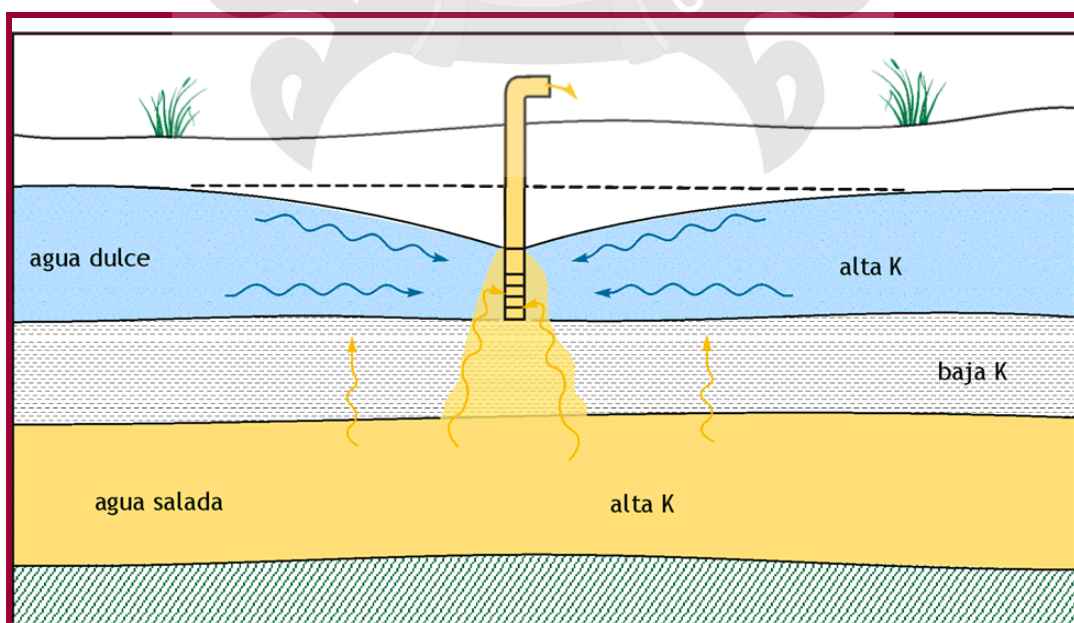
FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F

- **AGROPECUARIA:** Se origina por el empleo de plaguicidas y fertilizantes para mejorar la productividad. Los primeros (organoclorados y organofosforados), son altamente tóxicos como DDT, Aldrín, Dieldrín,

Paratión, Malatión, Heptacloro, etc. Los carbamatos también son plaguicidas, aunque mucho menos tóxicos que los anteriores. Los fertilizantes más comunes son: materia orgánica y nitrogenada, fósforo y potasio. La materia nitrogenada se oxida a  $\text{NO}_3$  que son muy solubles, estables y móviles, mientras que el P y el K, y sus derivados, son fijados con facilidad por las partículas arcillosas del suelo. El comportamiento del contaminante, en relación a su solubilidad, movilidad y degradabilidad, condicionan su permanencia y perdurabilidad en el medio. Así, las bacterias provenientes de los vertidos fecales, rara vez subsisten más de 50 días en el agua si esta no posee una adecuada concentración de materia orgánica. Los  $\text{NO}_3$  por su parte pueden mantenerse en solución en forma casi indefinida, salvo que sean reducidos a  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , o  $\text{N}_2$ , por actividad bacteriana, o por otro medio reductor.

- **ARTIFICIAL INDUCIDA:** Es la que deriva de la sobre-explotación; la más común es la salinización en acuíferos costeros o por ascenso de agua salada de fondo en acuíferos continentales lentiformes, portadores de agua dulce.

FIGURA 5  
SALINIZACIÓN POR ASCENSO VERTICAL



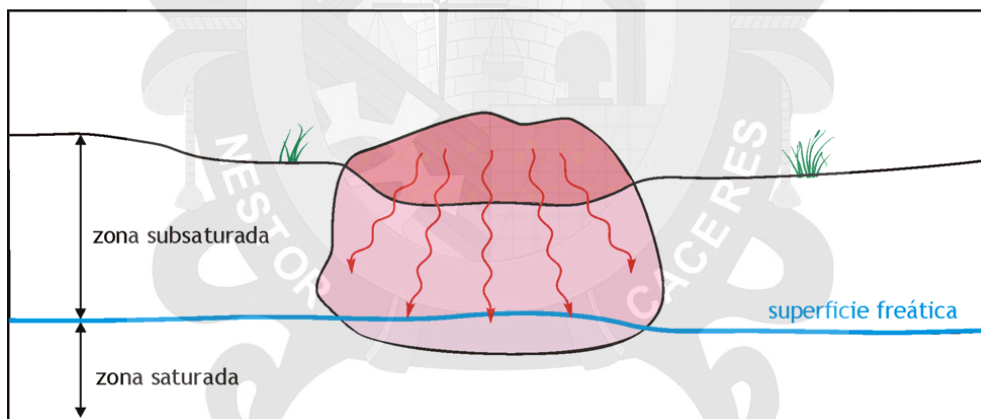


FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F

#### 4.12.1 ZONA SUBSATURADA.

Es la sección que se ubica inmediatamente por encima de la superficie freática y en ella coexisten los 3 estados de la materia (sólido, líquido y vapor) (figura 12). La zona subsaturada posee gran trascendencia hidrogeológica, no sólo en el aspecto dinámico sino también geoquímico, pues en ella, particularmente en su franja más superficial (franja edáfica), es donde se produce la mayor incorporación de las sales solubles que caracterizan al agua subterránea de ciclo. Además, la zona subsaturada o de aireación, o no saturada, es un efectivo filtro natural frente a los contaminantes, en su recorrido descendente hacia la zona saturada, o del agua subterránea propiamente dicha.

**FIGURA 6**  
**CONTAMINACIÓN DE LA ZONA SATURADA**

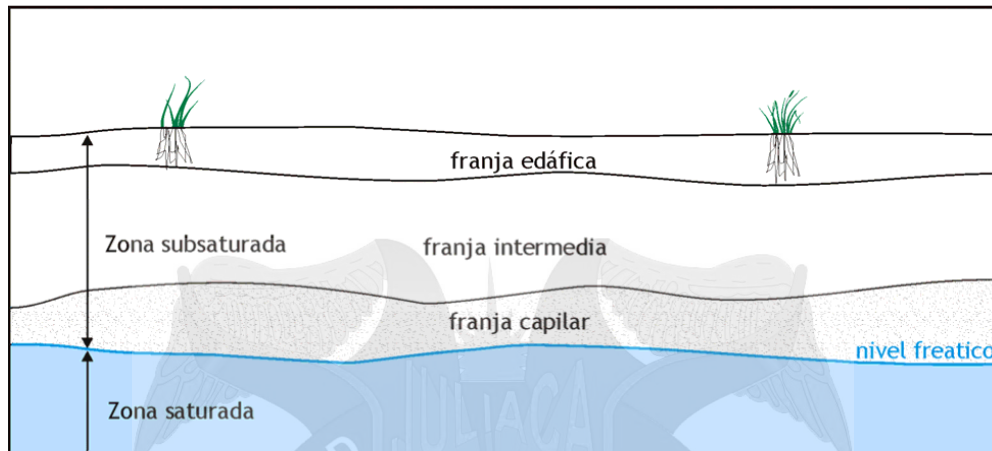


FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F.

La eficacia de la zona subsaturada para impedir o dificultar el acceso de los contaminantes al agua subterránea deriva de: la capacidad de fijación que poseen los microporos, la interacción del sólido-agua- contaminante-aire, el intercambio iónico, la actividad biológica, la adsorción sobre las partículas finas, la formación de complejos de baja solubilidad, etc. Dentro de la zona subsaturada, la franja edáfica (hasta donde penetran las raíces) es la más efectiva como filtro natural, debido a su alto contenido en materia orgánica y fuerte actividad biológica.



**FIGURA 7**  
**COMPONENTES HIDRÁULICOS DEL SUB SUELO**



FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F

Los contaminantes solubles, persistentes y estables ( $Cl$ ,  $NO_3$ ) no son retenidos en la zona de aireación si existe excedente en el balance hídrico e infiltración efectiva (zonas húmedas), aún cuando ésta tenga baja permeabilidad y un espesor considerable.

#### 4.12.2 PROTECCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA FRENTE A LA CONTAMINACIÓN Y AL AGOTAMIENTO.

Las medidas para proteger al agua subterránea de la contaminación, están orientadas a prevenirla, a eliminar sus consecuencias y a preservar su calidad, para asegurar un uso efectivo de la misma. Dado que la contaminación del agua subterránea está íntimamente relacionada con el estado del agua superficial, la atmósfera, la lluvia y el suelo, su protección debe encararse al mismo tiempo y sobre la base de pautas que apunten a la preservación del ambiente en forma global. Dentro de las medidas de naturaleza técnica, se pueden citar:

- La creación de sistemas cerrados para la disposición de residuos líquidos industriales y urbanos.

El empleo de tecnología limpia o que genere pocos residuos.



- El tratamiento de las aguas servidas.
- La verificación y reparación de pérdidas en los sistemas de saneamiento (desagües cloacales).
- El aislamiento de las aguas contaminadas respecto de las aptas.
- La desactivación y reemplazo de los pozos ciegos o fosas sépticas por redes cloacales.
- La eliminación o purificación de emisiones gaseosas o humos.
- La limitación en el empleo de fertilizantes y pesticidas en la actividad agropecuaria.
- La creación de territorios especiales para la preservación del agua y de los otros recursos naturales (suelo, aire, biota).

La experiencia indica que la restauración de la calidad de un acuífero deteriorado por el ingreso de uno o varios contaminantes, constituye una tarea sumamente complicada en el aspecto técnico y generalmente de elevado costo. Además, no sólo resulta impracticable restaurarlo a su condición original, sino que con frecuencia, ni siquiera se logra recomponerlo para las exigencias que requiere el uso. En este sentido, no debe olvidarse la escasa dinámica que posee el agua subterránea si se la compara con el agua superficial o el aire, por lo que los procesos de contaminación insumen tiempos prolongados para producirse y manifestarse (años, decenios, centenios y hasta milenios), pero también para mejorar su condición frente a la polución. Por ello, en la generalidad, es mucho más sencillo y rápido, restaurar la calidad de un río que la de un acuífero (Auge, 1990).

Otros factores trascendentes en la prevención para evitar el deterioro del agua subterránea son: la educación; la difusión; las normas legales y el control que asegure su cumplimiento. En lo referente a educación, es poco lo que se hace a nivel mundial respecto a la importancia de los recursos naturales y su preservación. Los habitantes de los países desarrollados y sus dirigentes, han comprendido la trascendencia de este tema y por ello, lo han incluido en los programas de enseñanza primaria, secundaria y en la mayoría de las carreras

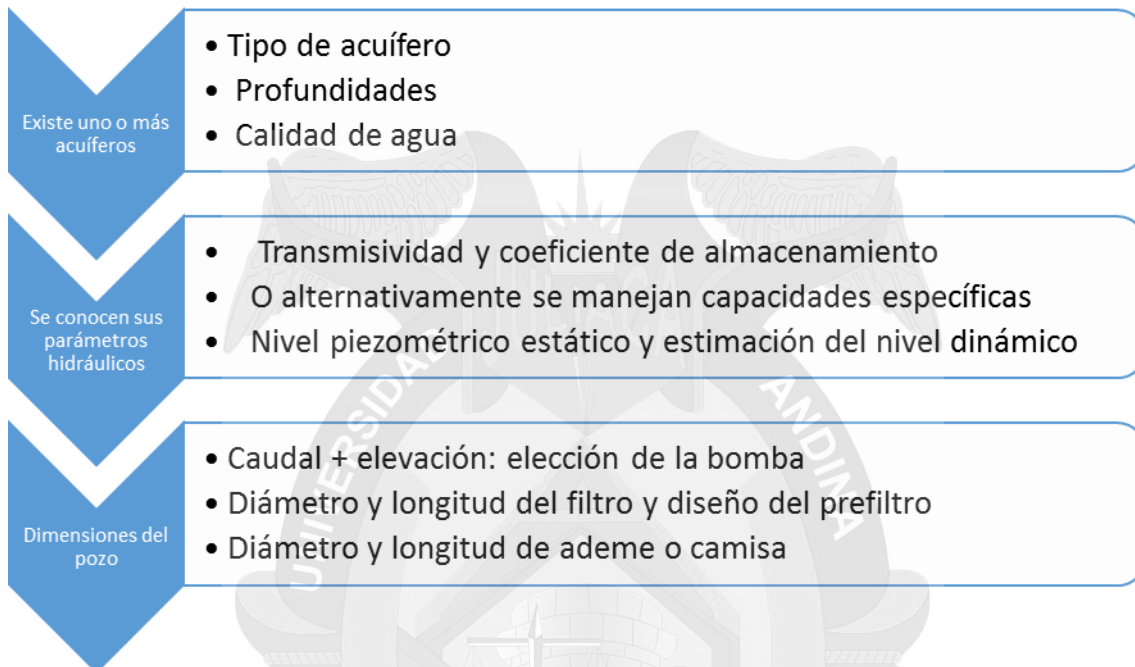


universitarias. En los países en desarrollo, si bien se le está prestando mayor atención, su enseñanza en los tres niveles todavía resulta escasa. Con la difusión, lo que se pretende es llevar a conocimiento de la población que ya ha dejado los claustros de la enseñanza, la importancia que tienen los recursos naturales y la preservación ambiental. En este sentido, también es poco lo que se hace desde los organismos gubernamentales e incluso desde las organizaciones no gubernamentales. La realización de campañas educativas e instructivas, mediante el aprovechamiento de medios masivos de comunicación como la televisión, la radio, los diarios y revistas y la publicidad impresa, constituyen excelentes vías para lograr el objetivo citado.

Otras herramientas trascendentes en la lucha para evitar el deterioro del agua subterránea, son las normas legales, regulaciones y leyes, que traten sobre la utilización, las concentraciones máximas admitidas para diferentes usos y las cargas de contaminantes permitidas en los efluentes industriales, urbanos y agrícolas. Para que tengan éxito, las normativas deben ir acompañadas de un control adecuado que asegure su cumplimiento (policía del agua). La mayoría de los países en desarrollo dispone de un marco legal adecuado que regula el uso y la preservación de los recursos naturales, pero lamentablemente no sucede lo mismo con los organismos de control y por ello, su aplicación resulta muy difícil y generalmente, imposible de concretar.

#### 4.13 PROPUESTA DE DISEÑOS MEJORADOS DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.

Por lo general deben de tomarse en cuenta los siguientes requerimientos:



La secuencia propuesta comienza por la certeza de la existencia del acuífero que se va a explotar y la calidad del agua contenida en el mismo. Sigue por el conocimiento de los parámetros hidráulicos principales de ese acuífero (todo ello por experiencia o estudios hidrogeológicos previos).

Hasta aquí queda definida la “posibilidad” y recién entonces se aboca a plantear los “requerimientos” en cuanto a caudal (compatible con la posibilidad”) y altura manométrica que deberá entregar la bomba que se emplee con lo cual se selecciona la misma (ver Equipos de bombeo empleados en perforaciones) y recién entonces se aboca a establecer las dimensiones del pozo, las cuales se definirán como veremos de abajo hacia arriba (estrictamente cierto en el caso de una captación con filtro).

##### 4.13.1 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

- **DESDE LA POSIBILIDAD HACIA LA NECESIDAD:** se conocen las características hidrogeológicas de la región y el pozo se diseña a partir del



caudal requerido y luego de las dimensiones de la bomba que se vaya a emplear, seleccionada por el Q y la AMT de diseño (requeridos o posibles).

- **DE ABAJO HACIA ARRIBA:** el filtro o rejilla se define, en diámetro y longitud, conociendo las características hidrogeológicas y el Q de diseño. Posteriormente puede completarse el diseño del pozo hacia la superficie.

Hay certeza de la existencia de un acuífero.

- **PROFUNDIDADES:** se deben conocer las profundidades del techo y piso del acuífero. Resulta también importante conocer el espesor de los estratos confinantes. Tipo de acuífero: situación (presencia de estratos confinantes, material que lo constituye, granulometría, estabilidad de las distintas formaciones, etc.).
- **CALIDAD DE AGUA:** del acuífero a explotar y de otros acuíferos supra o subyacentes que eventualmente deban aislarse.

Se conocen los parámetros hidráulicos del acuífero a explotar

- Transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
- alternativamente se manejan capacidades específicas.

Resulta esencial conocer cuál será el rendimiento estimado del pozo en función de las características hidrogeológicas mencionadas. Un parámetro manejado a menudo por los perforistas es la capacidad específica que les permite estimar el descenso o depresión que sufrirá la perforación a partir del caudal requerido. Este descenso está limitado por varios factores y preferentemente debe evitarse que el cono de depresión alcance a la unidad de filtrado o rejilla, para evitar que parte de la misma, al quedar descubierta, deje de actuar como superficie de aporte de agua a la captación.

- **NIVEL PIEZOMÉTRICO ESTÁTICO:**

Permite estimar, conjuntamente con las consideraciones planteadas en el punto anterior el nivel dinámico, parámetro fundamental para definir la bomba y los diámetros de los entubados. En ocasiones estas medidas condicionan también las dimensiones del filtro del pozo.

- **DIMENSIONES DEL POZO:**

Se completa su definición a partir de los datos anteriores con: Caudal + elevación: permiten la elección de la bomba. El caudal y la altura manométrica total AMT (suma de la profundidad del nivel dinámico de bombeo más la elevación y las pérdidas de carga), permiten seleccionar la bomba. Sus dimensiones condicionan al pozo, al establecer un diámetro mínimo (y para algunas bombas un diámetro máximo también) de la tubería en cuyo interior se instalará el cuerpo de bomba.

El caudal estará limitado por las condiciones hidrogeológicas mencionadas y por la necesidad de preservar a la captación y al acuífero. En general es preferible construir más de una captación y disminuir el caudal extraído en cada una de ellas. Además así se disminuye el riesgo de una falla general del aprovisionamiento de agua. La altura manométrica total (AMT) en general puede conseguirse con la misma bomba instalada dentro de la perforación, empero si la elevación es muy grande y ello obliga a incrementar la potencia y el tamaño de la bomba puede ser conveniente que la bomba de pozo sólo haga llegar el agua a la superficie del terreno o poco más y que luego una segunda bomba se encargue de la elevación sobre el nivel del suelo. De esta manera puede hacerse posible además la disminución del tamaño de los entubados del pozo.

- **DIÁMETRO Y LONGITUD DEL FILTRO Y DISEÑO DEL PREFILTRO.**

El filtro se define en función del caudal, pero también del espesor de la capa o manto del acuífero. Los fabricantes de filtros deben informar de su superficie libre o abierta y conviene limitar la velocidad máxima de pasaje

del agua a través de las mismas, para por una parte limitar la pérdida de carga (como vimos proporcional al cuadrado del caudal) y por el otro evitar el fenómeno de la deposición de sales (ver Química del Agua Subterránea).

En el filtro se dan dos fenómenos contrapuestos: por un lado la corrosión que tiende a aumentar el área libre si bien las formas irregulares no tienen la misma eficiencia a la hora de evaluar las pérdidas de carga que las formas regulares empleadas por los fabricantes y por el otro la incrustación que actúa en el sentido de disminuir el área libre o abierta.

- **DIÁMETRO Y LONGITUD DE ADEME O CAMISA**

La longitud estará definida en el caso de que deba aislarse un acuífero superior, por el perfil litológico. En otros casos se establecerá en función del nivel dinámico de bombeo y la consecuente profundidad de instalación del equipo de bombeo.

Para establecer el diámetro interior habrá que tener en cuenta el tamaño de las tuberías que deban bajarse por su interior y el de la propia bomba, además del requerido para efectuar las maniobras constructivas necesarias.

#### 4.13.2 OTROS FACTORES A CONSIDERAR

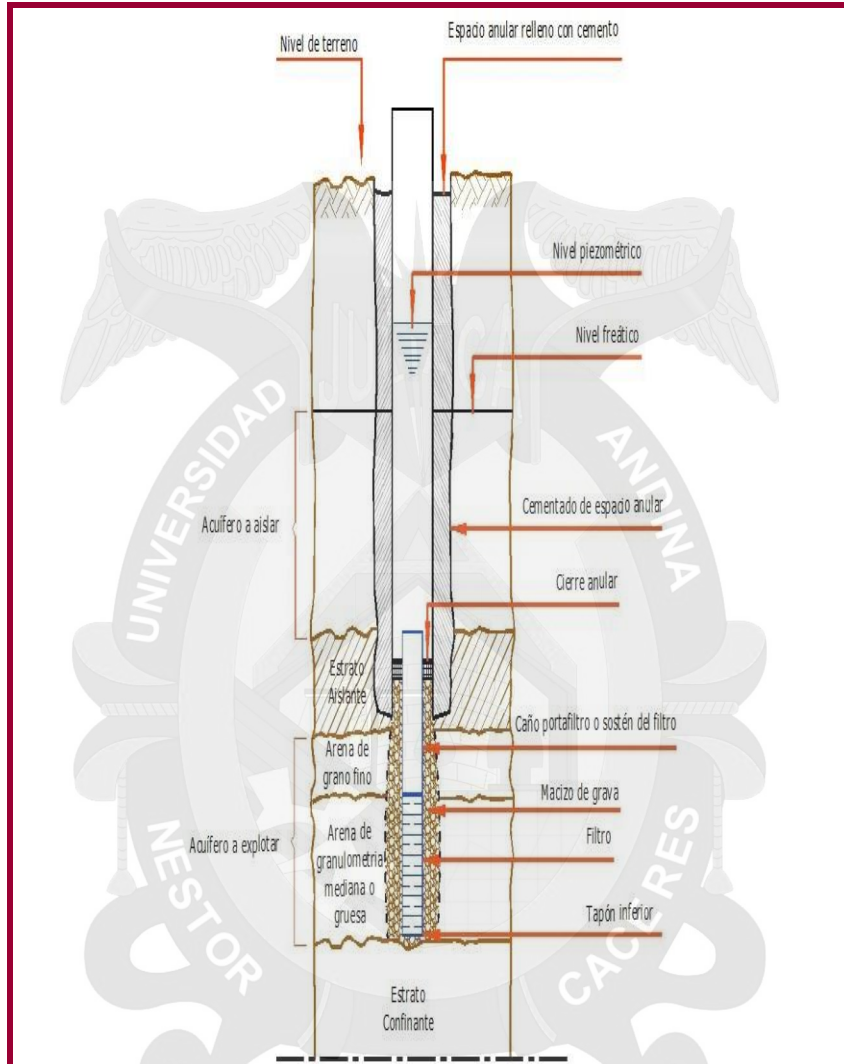
- **TENER EN CUENTA LA EXISTENCIA DE REGLAMENTOS.-** En las distintas jurisdicciones (estados, provincias, municipios) suelen existir reglamentos que establecen características constructivas o restricciones tales como lugar de implantación, caudal a extraer, etc.
- **EL USO A QUE SE VA A DESTINAR EL AGUA.-** Por ejemplo si el agua no se va a emplear para uso potable es posible explotar acuíferos que no la posean, cuidando en todos los casos de no perturbar a los acuíferos con agua de mejor calidad.



- **LAS BOMBAS.-** Disponibilidad de energía y los materiales existentes en el mercado local. Este factor es esencial en el diseño de un pozo. Por ejemplo hay que verificar la existencia de servicio técnico capacitado para el mantenimiento y las reparaciones que se requieran (repuestos y mano de obra capacitada) accesibles tanto por la ubicación geográfica como por los costos que impliquen.
- **CAPACIDAD DE LA EMPRESA QUE VA A EJECUTAR LOS TRABAJOS.-** Personal y equipamiento. Siempre se deben verificar los antecedentes de la empresa constructora, evaluando su capacidad y nivel de cumplimiento de los compromisos asumidos.
- **ESPACIO EXISTENTE EN EL SITIO DE CONSTRUCCIÓN.-**Tanto para construir como para efectuar tareas de mantenimiento y reparación, se necesita contar con espacio suficiente, sobre el terreno y en elevación.
- **EN CADA PASO DE LA DECISIÓN: LOS COSTOS.-** Los ingenieros no deben obviar en cada paso de sus decisiones el factor costo. La solución a adoptar será como siempre de compromiso entre lo mejor de la técnica y los costos tanto iniciales como de operación o explotación.

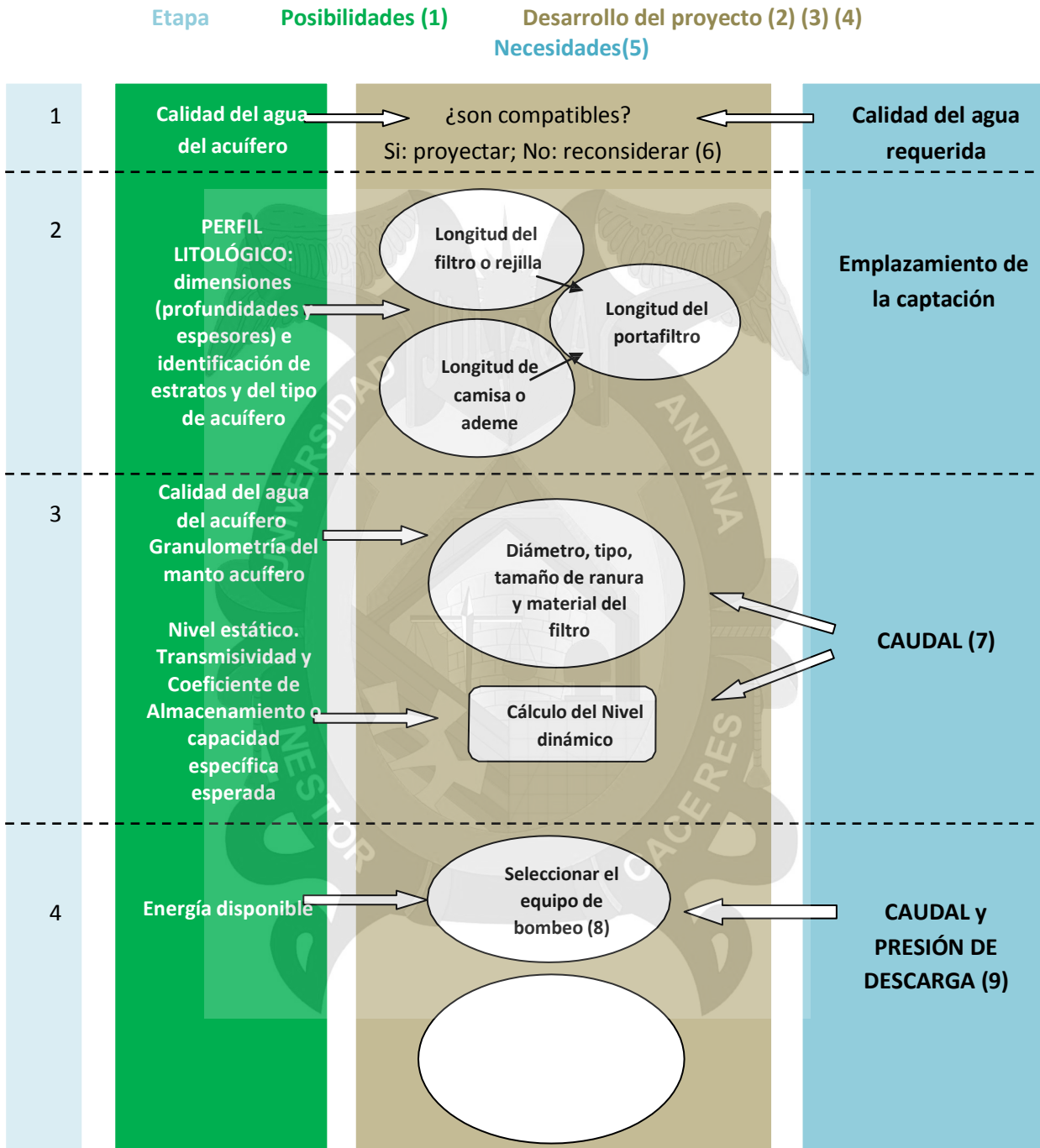


### GRÁFICO 5 DISEÑO DE POZOS DE AGUA POZO ARTESIANO DEL TIPO "TELESCÓPICO"



FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F

## DIAGRAMA DISEÑO POZO





- (1) Son consecuencia del conocimiento previo: existente o adquirido por medio de estudios ad hoc.
- (2) Se deben emplear los valores determinados en una etapa como datos para las siguientes.
- (3) Para el "Desarrollo del proyecto" se deben considerar en todo momento la disponibilidad de materiales en el mercado, los aspectos reglamentarios y los costos asumidos.
- (4) Para los materiales y la mano de obra empleada: estipular la vida útil esperada de la instalación.
- (5) Surgen de la modalidad de empleo a la que se destinará el agua.
- (6) Reconsiderar el proyecto: ver si es posible emplear el agua natural o efectuar un tratamiento de la misma para adecuarla a las necesidades.
- (7) Es el caudal (Q) requerido debe ser compatible con las condiciones hidrogeológicas del lugar o bien adecuarse a las mismas.
- (8) La bomba con su curva característica Q-H y dimensiones, accesorios, columna de suspensión, etc.
- (9) La presión de descarga es la requerida. Para el cálculo de la altura manométrica total (H) de la bomba se deben considerar además todas las pérdidas y la elevación dentro del pozo.

#### 4.13.3 DEFINIR LAS DIMENSIONES DEL POZO.

Profundidad total del pozo: depende del perfil litológico del terreno (corte del terreno que permite la identificación de las diferentes rocas o estratos constitutivos) en el lugar de emplazamiento. Si está explotando un acuífero confinado o semiconfinado podrá alcanzar como máximo la profundidad del piso de ese acuífero o comienzo del estrato confinante inferior. Sin embargo en otras ocasiones se prefiere alcanzar una profundidad menor a fin de no interesar el manto confinante inferior en cercanías del cual existe en general una zona de transición entre el material de mayor permeabilidad que conforma el acuífero y el de menor permeabilidad del manto confinante. En otras ocasiones y como se verá al tratar de la colocación del filtro, éste se coloca en una posición intermedia



dentro del acuífero a fin de aprovechar una zona de mejor permeabilidad, en tal caso la perforación termina relativamente lejos del comienzo del manto confinante.

Entubado, ademe o encamisado: depende del perfil litológico del terreno. Si se desea explotar un acuífero confinado o semiconfinado que posee por encima otra acuífero que carezca de interés o bien deba aislarse en razón de la calidad inadecuada del agua que posee, deberá entubarse o encamisarse (con un tubo o ademe) la totalidad del mismo y gran parte del estrato aislante que exista entre ambos. La misma situación puede presentarse en caso de que los estratos de terreno superiores sean inestables. El diámetro de esta tubería será tal que permita el descenso por dentro de la misma de los tubos que ocuparán las porciones inferiores del pozo, incluyendo al filtro o rejilla y que exista el espacio suficiente para maniobras tales como construcción de prefiltros de gravilla, cementado o colocación de cierres en espacios anulares, etc. Por último deberá poseer el diámetro mínimo para la instalación del equipo de bombeo. En muchas ocasiones este factor es el determinante. Diámetro y longitud del filtro: la longitud del filtro guarda relación con el tipo y granulometría del material que conforma el acuífero y con el caudal a extraer. Un factor importante que pesa a la hora de la decisión es el costo, ya que la rejilla suele ser el elemento comparativamente más costoso de los que componen el pozo, si se excluye el equipo de bombeo.

Para instalar el filtro se busca entonces una zona de composición homogénea y de mayor granulometría, sucede que por la clasificación hidráulica en el caso de materiales como la arena, esta zona se encuentra en el tercio inferior del espesor del acuífero y allí se deberá instalar la unidad de filtración. Espesores típicos de acuíferos pueden ser entre 10 y 30 metros y longitudes de filtro de entre 7 y 20 metros respectivamente. Selección de la abertura del filtro: el tamaño de la abertura de filtro se selecciona en función de la granulometría del material que compone el acuífero y en su caso, de la granulometría del filtro o prefiltro de grava o gravilla que eventualmente se emplee. En este último caso la rejilla debe contener al material artificialmente agregado y no al que constituye el acuífero.



Los fabricantes de rejilla indican las velocidades óptimas o máximas que debe tener el agua al atravesar la superficie exterior de la misma. Un dato habitualmente manejado es limitar dicha velocidad a 3 cm/s, a fin de disminuir las pérdidas de carga y disminuir el riesgo de las incrustaciones. Una velocidad baja ayuda a evitar asimismo el ingreso de los materiales que integran el acuífero (por arrastre del mismo). El prefiltro o filtro es un empaque de grava artificial, que se coloca cuando el acuífero está compuesto por arenas de granulometría fina (aprox. hasta 0,25 mm) o mediana (aprox. hasta 0,5 mm), en cuyo caso las ranuras o aberturas de los filtros no pueden contener los granos que serían arrastrados por el agua bombeada. En este caso el filtro está constituido por la grava más la rejilla, ya que esta última actúa como soporte de aquella.

Al hablar de desarrollo de perforaciones volveremos sobre este aspecto.

#### 4.13.4 EJEMPLO DE UN DISEÑO DE POZO

Se quiere conocer cuál será el abatimiento y nivel dinámico en un pozo que se desea construir conociendo la capacidad específica en función de otras captaciones ubicadas en la misma región.

Definir si es necesario construir un pozo del tipo telescópico y sus dimensiones principales: diámetro y longitud de entubado de revestimiento, filtro o criba y tubo de acompañamiento del filtro.

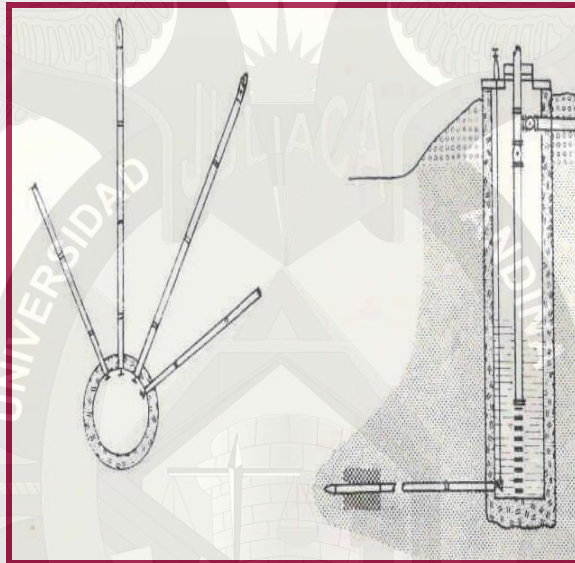
Datos:

Caudal requerido	: 20 m <sup>3</sup> /h
Elevación sobre nivel del piso	: 30m
Tipo de acuífero	: semi confinado, por encima del cual existe una napa a aislar.
Profundidades: techo del acuífero	: 40 m
Piso del acuífero	: 63 m
Capacidad específica esperada	: 5,5 m <sup>3</sup> /h.m
Nivel estático del acuífero	: 19m

#### 4.13.5 DISEÑO ALTERNATIVO.

Resolver con los mismos datos del problema anterior con la sola modificación de la capacidad específica a 11 m<sup>3</sup>/h.m.

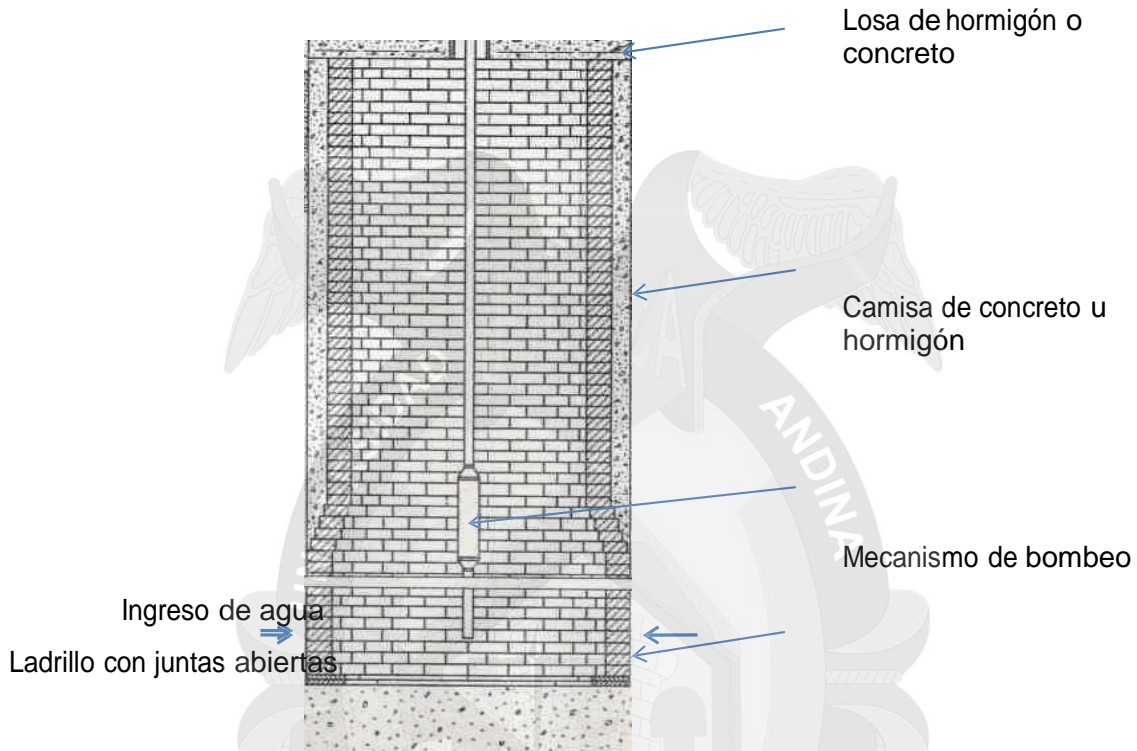
### GRÁFICO 6 DISEÑO DE POZOS DE AGUA TIPOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA AGUA



FUENTE: RIGOLA L., MIGUEL, 1999. Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Parámetros de calidad de las aguas. Alfaomega, editores. México D.F.

El arriba denominado “pozo tradicional” lo es en función de su simplicidad constructiva, excavado en el suelo en forma manual, a lo sumo con la ayuda de implementos rudimentarios y con sus paredes revestidas con mampostería, tubos cementicios, etc. No obstante ello en el pasado se han construido pozos de este tipo con profundidades considerables, incluso con las paredes sin revestir o calzar.

## GRÁFICO 7 DISEÑO DE POZOS DE AGUA TIPOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA AGUA



Pozo cavado con pared revestida

Los pozos para obtener agua han evolucionado como toda obra humana, pero curiosamente coexisten las formas más primitivas, tanto en configuración como en sus métodos constructivos, con las captaciones producto de las técnicas más avanzadas. En las figuras de arriba ejemplos de pozos que se siguen construyendo en razón de la baja inversión requerida y en el caso del pozo radial por motivos vinculados a la hidrogeología del lugar.

#### 4.14 EVALUACIÓN Y COMENTARIO GENERAL DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICRO BIOLÓGICO DEL AGUA DE POZOS DE CONSUMO DOMÉSTICO DE LA URB. TAPARACHI DE LA CIUDAD DE JULIACA.

Se considera el análisis físico, químico y micro biológico en quince pozos domésticos seleccionados en igual número de viviendas de la Urbanización Taparachi III Sector de Juliaca, en diferentes manzanas y lotes, a fin de evaluar

estructuralmente su construcción y nivel de potabilidad en cada uno de ellos, resultados que se ha mostrado en el ítem 4.8 del presente trabajo.

Los ensayos efectuados, vale decir el físico, químico y micro biológico, han sido efectuados por la E.P.S. de Sedajuliaca, que cuenta con laboratorios debidamente implementados y es en cuanto a potabilidad del agua la institución más recomendada para efectuarla.

## **1. COMENTARIO DE RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS AL AGUA EN POZOS SELECCIONADOS.**

En esta parte se considera, la turbidez, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica y temperatura, los resultados físicos, no representan preocupación, en el sentido que puedan ser dañados, ya que los resultados obtenidos, están dentro de los máximos valores establecidos para el agua potable; por ejemplo el potencial de hidrógeno (ph) ideal es de 7.00 y los resultados son compatibles.

## **2. COMENTARIO DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS QUÍMICOS AL AGUA EN POZOS SELECCIONADOS.**

Las aguas para establecer el nivel de potabilidad en el aspecto químico ha sido efectuada por la E.P.S. de Sedajuliaca; donde los valores del análisis químico esta establecido como valores máximos permisibles en cada ensayo y está en la columna (IMP DS 031-2010 SA), donde se registra los valores máximos y luego se tiene la columna de loa resultados de las aguas examinales (VALORES OBTENIDOS), luego por simple comparación se puede observar el nivel de potabilidad y el nivel dañino para la salud, cuando se destina para el consumo humano.

En todo ello esta considerado las sustancias químicas siguientes; nitratos, sulfatos, dureza total, cloruros; donde cada análisis del mismo modo tiene los valores máximos permisibles (I.M.P. DS 031-2010 SA) y los valores obtenidos, que corresponde al nivel de sustancias químicas alcanzadas en



cada pozo doméstico, los valores en su mayoría son ligeramente mayores, preocupando mayormente la dureza.

### 3. COMENTARIO DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS EN EL AGUA DE POZOS SELECCIONADOS.

De igual forma estos análisis, fueron efectuados por la E.P.S. Sedajuliaca; en esta parte se verifica la cantidad de coliformes totales y coliformes termotolerantes, donde el nivel de potabilidad exige que estas sean nulas, para que el agua sea potable; sin embargo todos los pozos en general contienen contaminación de este tipo, aspecto que será comentario con más amplitud luego.

#### 4.14.1 COMENTARIO ESPECÍFICO DE LOS ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN DOS POZOS DOMÉSTICOS SELECCIONADOS.

En esta parte, con la finalidad de especificar los resultados de los análisis; se efectuará una evaluación específica en dos pozos domésticos, siendo estos los siguientes:

1. Pozo doméstico – Jr. Amazonas, Mz: D-11, lote 1.
2. Pozo doméstico – Jr. Eufrates, Mz: D-7, lote 1.

Cuyos cuadros se reproducen a continuación:

#### 1. POZO DOMÉSTICO - JR. AMAZONAS, MZ. D-11, LOTE 1.

##### CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.692
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.487
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2650
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.82
Sulfatos	mg/l	250	504
Dureza Total	mg/l	500	910
Cloruris	mg/l	250	404

FUENTE: ANÁLISIS EFECTUADOS EN LA E.P.S. E SEDAJULIACA

## CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1270
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	272

FUENTE: ANÁLISIS EFECTUADOS EN LA E.P.S. E SEDA JULIACA

## 2. POZO DOMÉSTICO JR. EUFRATES, MZ. D-7, LOTE 1.

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.694
Potencial de Hidrógeno	Ph	6,5-8,5	7.484
Conductividad Eléctrica	Us/cm	1500	2638
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.95
Sulfatos	mg/l	250	510
Dureza Total	mg/l	500	908
Cloruris	mg/l	250	400

FUENTE: ANÁLISIS EFECTUADOS EN LA E.P.S. E SEDA JULIACA

### CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARÁMETROS	Unidad de Medida	I.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1274
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	275

FUENTE: ANÁLISIS EFECTUADOS EN LA E.P.S. E SEDA JULIACA

## 1. POZO DOMÉSTICO – JR. AMAZONAS, MZ: D-11, LOTE 1.

### A. COMENTARIO AL ANÁLISIS FÍSICO.

Considerando que los análisis fueron efectuados por la E.P.S. de Sedajuliaca y mostrado en el ítem 4.14.1 se considera los siguientes aspectos:

- Los análisis referidos están orientados al aspecto físico.
- Los valores considerados para el nivel de potabilización física son: turbidez (valor excedente) potencial de hidrógeno (pH) (valor excelente), conductividad eléctrica (valor mayor que al máximo)

permisible, no es fundamental para el nivel de potabilidad), temperatura (valor mayor no es fundamental para el nivel de potabilidad)

**CONCLUSION:** El agua de este pozo físicamente puede ser empleado para cualquier actividad, menos para el consumo humano.

## 2. COMENTARIO AL ANÁLISIS QUÍMICO

Los análisis fueron efectuados por la E.P.S. de Sedajuliaca mostrado en el ítem 4.14.1 se considera los siguientes aspectos.

- Los análisis referidos están orientados al aspecto químico.
- Los valores considerados para el nivel de potabilización química son: Nitratos (valor excedente), sulfatos (valor doble, preocupante), dureza total (valor casi doble, preocupante) cloruros (valor casi doble, preocupante)

**CONCLUSIÓN:** El agua de este pozo químicamente puede ser empleado para cualquier actividad, menos para el consumo humano.

## 3. COMENTARIO AL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.

Los análisis fueron efectuados por la E.P.S. de Sedajuliaca, mostrado en el ítem 4.14.1, se considera los siguientes aspectos:

- Los análisis referidos están orientados al aspecto microbiológico.
- Los valores considerados para el nivel de potabilización microbiológico son: Coliformes totales (que deben ser nulos) y los coliformes termotolerantes (que deben ser nulos); sin embargo registran valores altos, significando que se tiene bichos, los que

generalmente provienen de contaminación por desagües, lo que se explicará con mayor claridad al final.

**CONCLUSIÓN: El agua de este pozo microbiológicamente no es apto para el consumo humano.**

## 2. POZO DOMÉSTICO – JR. EUFRÁTES, MZ: D-7, LOTE 1.

### 1. COMENTARIO AL ANÁLISIS FÍSICO.

Los análisis de igual forma se efectuó en la E.P.S. de Sedajuliaca, mostrado en el ítem 4.14.1; se considera los aspectos siguientes:

- Los análisis referidos, están orientados al aspecto físico.
- Los valores considerando para el nivel de potabilización física son: turbidez (valor excelente), potencial de hidrógeno (pH) (valor excelente), conductividad eléctrica (valor mayor, no es fundamental para el nivel de potabilización), temperatura(valor mayor, no es fundamental para el nivel de potabilidad)

**CONCLUSIÓN: El agua de este pozo físicamente puede ser empleado para cualquier actividad menos para el consumo humano.**

### 2. COMENTARIO AL ANÁLISIS QUÍMICO.

Los análisis del mismo modo fueron efectuado por la E.P.S. de Sedajuliaca, mostrado en el ítem 4.14.1, se considera los siguientes aspectos:

- Los análisis referidos están orientados al aspecto químico.
- Los valores considerados para el nivel de potabilización química son: nitratos (valor excelente), sulfatos (valor doble preocupante), dureza



total (valor casi doble preocupante), cloruros (valor casi doble preocupante).

**CONCLUSIÓN: El agua de este pozo químicamente puede ser empleado en diversa actividades, menos para el consumo humano.**

### 3. COMENTARIO AL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.

De igual forma, los análisis fueron efectuados por la E.P.S. de Sedajuliaca, mostrado en el ítem 4.14.1, se considera los siguientes aspectos:

- Los análisis referidos están orientados al aspecto microbiológico.
- Los valores considerados, para el nivel de potabilidad microbiológica son: coliformes totales (que deben ser nulos) y los coliformes termotolerantes (que deben ser nulos); sin embargo registran valores bichos, los que generalmente provienen de contaminación pro desague.

**CONCLUSIÓN: El agua de este pozo microbiológico no es apto para el consumo humano.**

#### 4.14.2 COMENTARIO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA EN POZOS SELECCIONADOS.

La totalidad de pozos seleccionados y analizados, en el aspecto microbiológico, se encuentran: coliformes totales y coliformes termotolerantes, estos provienen generalmente, de animales humanos; por tanto en la zona en estudio se tiene como fuente de contaminación los silos y/o pozos sépticos de desague humano, contruidos muchos de ellos cerca de los pozos domésticos de agua. Por tanto se puede manifestar que esta contaminación hace del agua de pozos no apto para el consumo humano.

Los organismos coliformes son bacilos gran negativos, producen gas y ácidos, por lo que está demostrado que estos organismos únicamente se relaciona con contaminación fecal, esto se fundamenta en el hecho de encontrarse en el intestino de animales y seres humanos de sangre caliente. Los coliformes termotolerantes se aíslan con frecuencia de la materia fecal, pero no son exclusivos de ella, un porcentaje considerable de estas tiene hábitat en el agua, suelo y plantas.

#### **4.15 PROPUESTA DE DISEÑO DE POZOS DOMÉSTICOS PARA LA URBANIZACIÓN TAPARACHI III SECTOR.**

Son obras de perforación excavadas a mano, con un diámetro mínimo de 1,5 metros. Su profundidad normalmente es de unas pocas decenas de metros (20 o 30), aunque se han llegado a alcanzar varios centenares si bien el diámetro mínimo, tal y como se ha comentado es de 1,5 metros, espacio imprescindible para el trabajo de una persona, es frecuente que supere los 3 metros, con máximos de hasta 6 metros. Este tipo de obras se realizan en acuíferos de materiales poco consolidados con niveles piezométricos poco profundos. El método constructivo es el clásico de pico y pala, aunque también se utilizan martillos neumáticos y explosivos. Requieren de una bomba de achique para que pueda ser extraída el agua una vez alcanzado el nivel que permita la continuación de los trabajos.

Normalmente, y sobre todo en terrenos poco consolidados, es necesario revestir la obra con objeto de evitar el derrumbe de las paredes, para ello se utiliza piedra, ladrillo, cemento o anillos de hormigón prefabricados, colocados a medida que avanza la perforación. Este último método, llamado de "hinca" o "sistema indio", está provisto en la base con una zapata cortante, normalmente de acero, que facilita el descenso del encofrado. La entrada de agua a la captación se verifica directamente a través de aberturas realizadas en el revestimiento llamados "mechinales", bien mediante agujeros simples, juntas abiertas, ladrillos colocados transversalmente, o perforaciones practicadas en el hormigón. Estas perforaciones permanecen obstruidas o cerradas durante la

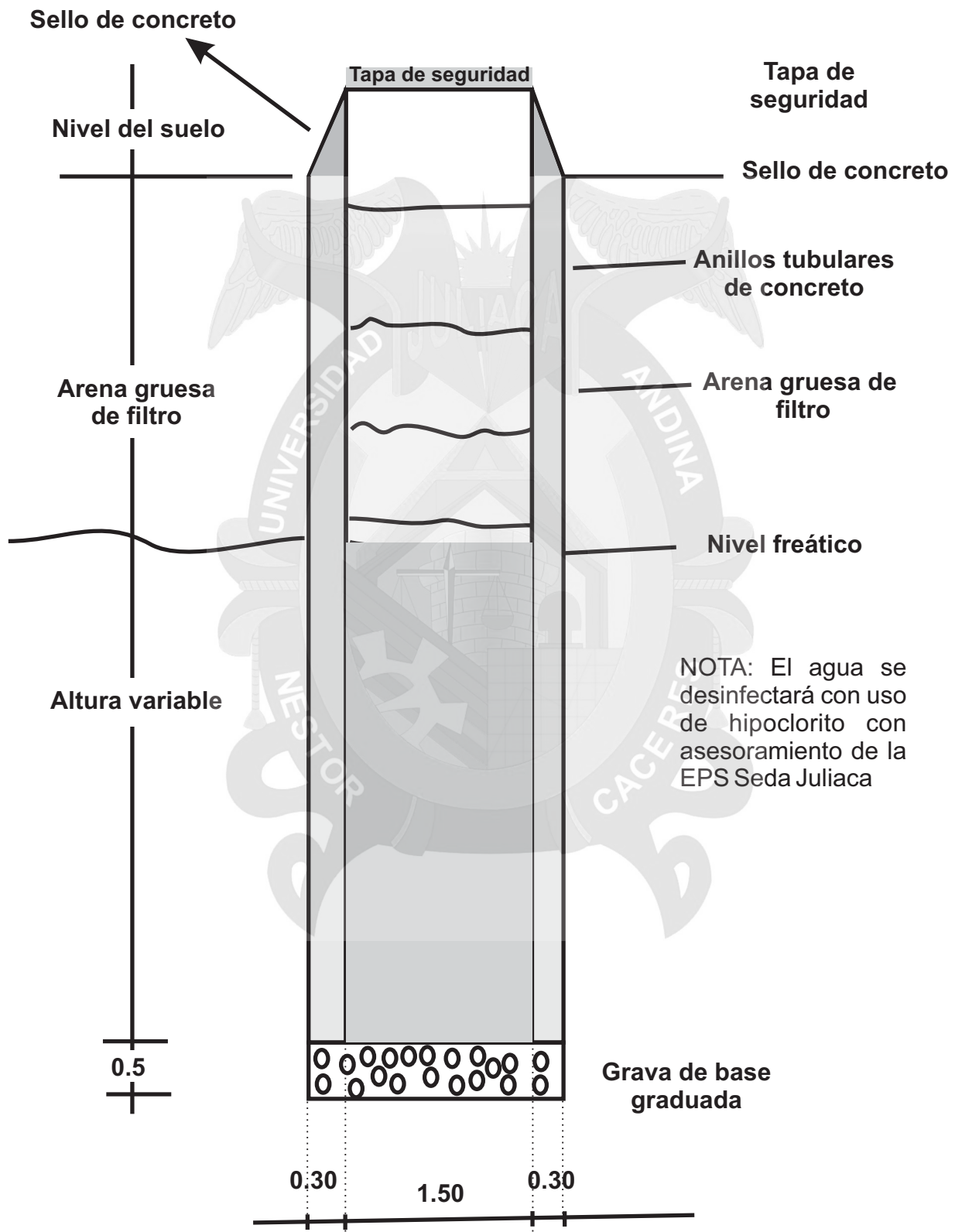


construcción del pozo y son abiertas a la finalización de la obra. No es frecuente la instalación de rejillas o zonas filtrantes. La pérdida de carga en estas obras es importante y su realización debe ser sopesada convenientemente. La ejecución de este tipo de captaciones tiene un elevado coste y su construcción requiere de unos determinados condicionantes que justifiquen su realización, estos son:

- Acuífero donde el nivel piezométrico se encuentra cerca de la superficie y la profundidad de la perforación es pequeña (menor de 20 metros)
- En acuíferos de poco espesor o con problemas de arrastres, donde se quiera obtener una superficie filtrante máxima
- En acuíferos poco permeables, donde el pozo actúe como depósito regulador.
- En casos especiales: Instalación de maquinaria en el interior, imposibilidad de acceso a máquinas de perforación, necesidad de realizar trabajos que requieran intervención humana.

A continuación se muestra el diseño de un pozo de uso doméstico para la Urbanización Taparachi III Sector.

# PARA USO DOMESTICO







## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES.

**PRIMERA** : Los servicios de agua potable, no cubren a la totalidad de nuevas urbanizaciones en la ciudad de Juliaca; razón por la que estas nuevas viviendas al necesitar agua para el consumo humano; construyen pozos domésticos, a fin de extraer las aguas subterráneas; sin embargo las construcciones de ellos es muy artesanal y no protegen su potabilidad.

**SEGUNDA** : La construcción de los pozos domésticos, se efectúan por excavación, con el empleo de herramientas básicas, alcanzan una profundidad promedio de 3.00 mt.; son de forma circular con diámetro que varía de 0.90 mt. A 1.20 mt.; no tienen mayor estructura de protección la mayoría de ellos; en mínimo porcentaje se tiene pozos tubulares, para lo que se emplean anillos de concreto, que si protegen la potabilidad del agua subterránea.

**TERCERA** : Para verificar el nivel de potabilidad de las aguas subterráneas, se ha seleccionado quince (15) pozos de preferencia uno de cada manzana que corresponde a la Urbanización Taparachi - III sector de Juliaca. En que respecta al análisis físico, como es la turbidez, potencial de hidrógeno y conductividad eléctrica los resultados fueron satisfactorios; en lo que se respecta al análisis químico, los sulfatos y cloruros han sobrepasado los valores máximos establecidos para el agua potable finalmente los análisis bacteriológicos si son preocupantes, todos ellos contienen coliformes totales y coliformes termotolerantes se presentaron en todas ellas valores preocupantes como por ejemplo en 1260 VFC/100mL Y 260 VFC/100mL respectivamente.



**CUARTA** : Se ha propuesto dos modelos de estructuras de pozos domésticos para su construcción, que permite el control físico, químico y bacteriológico y/o la contaminación de estos aspectos.





## RECOMENDACIONES.

**PRIMERA** :Se requiere un control físico, químico y bacteriológico, permanente en la totalidad de pozos domésticos, en la zona en estudio; con tecnologías existente baratas que se tiene.

**SEGUNDA** : Respecto a las características geométricas y estructurales, se debe normalizar estas y emplear diversos diseño que ofrecen instituciones del estado, como el muestreo de vivienda, Foncodes, entre otros.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. ALLEN, M. 1996. La Importancia para la Salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del Agua Potable. CEPIS. OPS. OMS. Lima, Perú.
2. AURAZO DE ZUMAETA, M. (2004). Manual para Análisis Básicos de Calidad del agua de bebida. OMS. Lima Perú.
3. AUTORIDAD LOCAL DEL AGUA TACNA 2012. Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos. Cap. 3 Vigilancia y Monitoreo de la calidad de las fuentes naturales de agua.
4. BANCO MUNDIAL 2008. Programa sobre agua y saneamiento para el 2008.
5. CABELLI, DUFOUR, Mc CABE, LEVIN. 1982. Swimming Associated Gastroenteritis and Water Quality. American Journal of Epidemiology. Vol 115 (4): 606-616.
6. CÁCERES LOPEZ OSCAR. 1990. Desinfección del Agua. Ministerio de Salud- OPS. Lima-Perú.
7. CASTRO, M. L. (1996). Programa sobre monitoreo y evaluación global de la calidad del agua. Control de calidad analítica. Reunión Regional sobre la Calidad del Agua Potable. Lima, CEPIS/OPS.
8. CEPIS/OPS (2000a). Proyecto de capacitación para los laboratorios de El Salvador, Nicaragua y Honduras. Programa de Mejoramiento de la Capacidad de los Laboratorios de Control y Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, CEPIS/OPS-USAID-EPA.





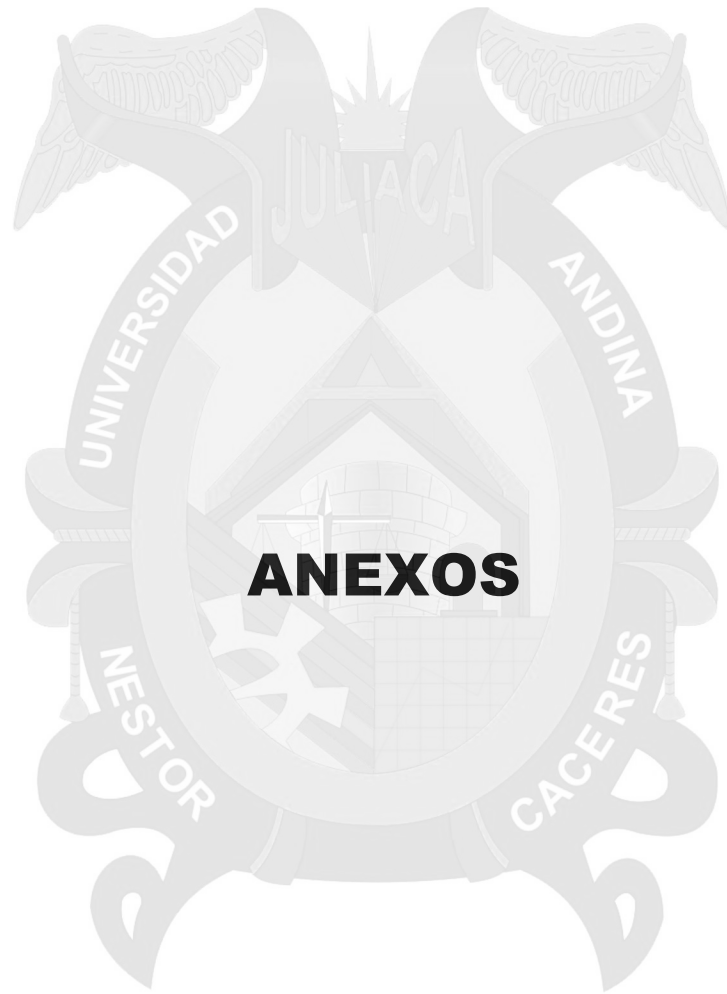
9. CONTRERAS, G.J; COHA, J.M.; MARTÍNEZ, A.M y AURAZO, M. 1996. Efecto Bactericida de Catabolitos de Pseudomonas aeruginosa sobre Coliformes fecales en Agua de Consumo. Lima. IV Congreso Latinoamericano de Higiene y Microbiología de Alimentos.
10. DECRETO SUPREMO N° 031-2010-SA. (2011). Reglamento de la calidad del agua para el consumo humano. Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú 2011.
11. DIRECCIÓN EJECUTIVA DE SALUD AMBIENTAL (DESA) TACNA – PERÚ 2010. Oficio 4163 – 2011-ESBHAZ.
12. EMPRESA PRESTADORA DE SERVICIOS TACNA 1999. Reglas del Abastecimiento de agua para el consumo humano.
13. FLORES, J.; SUÁREZ, G.; FRANCO, M.; HEREDIA, M. y VIVAS, M. 1995. Calidad Bacteriológica del Agua potable de la Ciudad de Mérida, México. Salud Pública de México. Vol 37 (3) pp.236-239.
14. GALARRAGA SOTO, EFRÉN 1984. Algunos Aspectos relacionados con Microorganismos en agua potable. Revista Politécnica de información técnica científica 9(3) p. 135-43.
15. GOEZ MARIANO, VÁSQUEZ MARÍA JOSÉ 1999. Determinación y diferenciación de E. Coli y Coliformes Totales usando un mismo sustrato cromogénico. Textos Completos. CEPIS.
16. GUARÍN SALAZAR NOLBERTO 2010. Estadística Aplicada a Poblaciones. Editorial San José. México.



17. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA 2012. Censo Poblacional 2007 Región Tacna Capitulo III, Hidrogeología Regional.
18. INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA 1992. Criterios para el perfeccionamiento de las Normas de Calidad Sanitaria de las aguas de Uso recreativo. Ministerio de salud. CUBA.
19. INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA 1992. Relación entre las Concentraciones de Cloro Residual, la Turbiedad y los Niveles de Coliformes fecales en Agua de Consumo. Ministerio de Salud. CUBA.
20. JONES, J.G. 1998. Calidad Microbiológica del agua: características del problema. Ingeniería Sanitaria y Ambiental Número 37 p: 48-53. Extractado de AQUA Vol 46 (6). 1997.
21. MORA, D. (1996). Situación del agua de consumo humano y evacuación de excretas en América Latina y el Caribe. Reunión Regional sobre la Calidad del Agua Potable. Lima, CEPIS.
22. OMS 1985. Guías OMS para la Calidad del Agua de Bebida. Volumen Publicación Científica OPS Nx 481.
23. OMS. 1995. Guías para la calidad del agua potable. OMS. Ginebra.
24. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAD 2006. Conferencia internacional sobre el agua y la calidad de vida. España.
25. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (1988). Guías para la calidad del agua potable. Vol. 3. Control de la calidad del agua



- potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades. Publicación Científica 508. Washington D. C., OPS.
26. OPS-OMS.2000. Evaluación Global de los Servicios de abastecimiento de agua y saneamiento. Informe Analítico. Perú.
  27. PAVEZ WELLMANN, ALEJANDRO 2008. Las aguas subterráneas en la costa de Perú y el norte de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile.
  28. PROYECTO ESPECIAL TACNA 2006. La Yarada en emergencia. Boletín Abril 2006
  29. ROJAS, R. (2002). Elementos de vigilancia y control. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima, CEPIS/OPS.
  30. VARGAS GARCÍA CARMEN, ROJAS RICARDO y JOSELI JUAN.1996. Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo humano. Textos Completos. CEPIS. 27p.
  31. VERGARAY GERMÁN y MÉNDEZ CARMEN ROSA. 1991. Riesgos infectocontagiosos del agua de bebida que se consume en la Ciudad de Lima. Libro de resúmenes de la I Reunión Científica- ICBAR. UNMSM. pág. 98.







**ANEXO 01**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**FOTOGRAFÍA N° 01:** Avenida que separa el II y III Sector de la Urbanización Taparachi – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 02:** Pozo doméstico en el Jr. Senegal, Manzana F-9, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 03:** Pozo doméstico en el Jr. Vilcanota, Manzana F-11, Lote 15, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 04:** Pozo doméstico en el Jr. Vilcanota, Manzana I-28, Lote 4, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 05:** Pozo doméstico en el Jr. Huallaga, Manzana F-7, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 06:** Pozo doméstico en el Jr. Huallagal, Manzana F-8, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 07:** Pozo doméstico en el Jr. Suches, Manzana F-12, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 08:** Pozo doméstico en el Jr. Huallaga, Manzana F-6, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 09:** Pozo doméstico en el Jr. Amazonas, Manzana D-11, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 10:** Pozo doméstico en el Jr. Eufrates, Manzana D-7, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 11:** Pozo doméstico en el Jr. Napo, Manzana D-8, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 12:** Pozo doméstico en el Jr. Éufrates, Manzana D-9, Lote 2, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 13:** Silo de desague en el Jr. Putumayo, Manzana D-13, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 14:** Silo de desague en el Jr. Vilcanota, Manzana F-11, Lote 4, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.





**FOTOGRAFÍA N° 15:** Silo de desague en el Jr. Napo, Manzana D-12, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



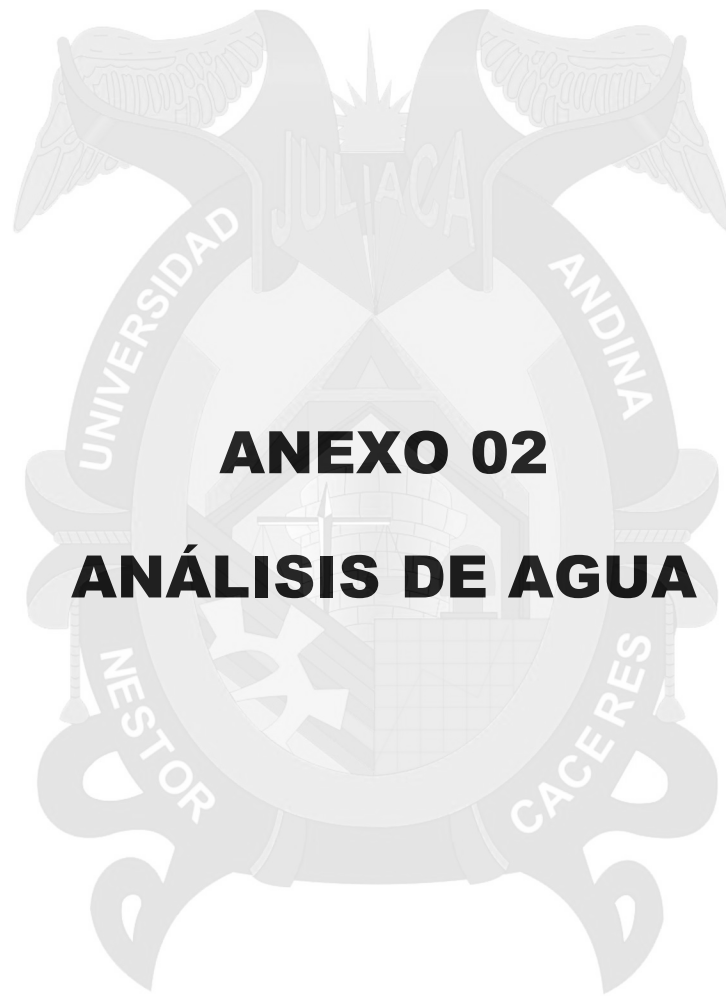
**FOTOGRAFÍA N° 16:** Silo de desague en el Jr. Huallaga, Manzana F-7, Lote 1, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.



**FOTOGRAFÍA N° 17:** Silo de desagüe en el Jr. Eúfrates, Manzana D-9, Lote 2, Urbanización Taparachi – III Sector – Juliaca.







**ANEXO 02**  
**ANÁLISIS DE AGUA**



## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283843  
RECIBO: N° 002-00901618

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Senegal Mz. F-9, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.50 m)

FECHA DE MUESTREO : 02/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHAS DE ANALISIS : 02-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.668
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.470
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	-2645
Temperatura	° C	-	15.9
Nitratos	mg/l	50	24.85
Sulfates	mg/l	250	502
Dureza Total	mg/l	500	903
Cloruros	mg/l	250	405

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1263
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	268

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
Ingeniero Incacari Sancho  
CIP N° 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD





DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

Nº 11 -17

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283844  
RECIBO: Nº 002 -00901619

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Vilcanota Mz. F-11, Lote 15

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.60 m)

FECHA DE MUESTREO : 02/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 02-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.670
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.472
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2643
Temperatura	° C	-	15.9
Nitratos	mg/l	50	24.87
Sulfates	mg/l	250	502
Dureza Total	mg/l	500	906
Cloruros	mg/l	250	408

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1273
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	271

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.

Ing. *[Firma]* Incauri Sancho  
CIP Nº 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD

OFICINA PRINCIPAL: Av. San Martín Nº 2011-Telefax: 051-321933 / 051-327400  
OFICINA COMERCIAL: Jr. Tumbes Nº 628-Telf.: 051-321288  
EMERGENCIAS Y RECLAMOS: 051-328568 ATENCIÓN AL CLIENTE: 051-321402  
<http://www.sedajuliaca.com>





DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

Nº 11 -18

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283845  
RECIBO: N° 002-00901620

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Vilcanota Mz. J-28, Lote 4

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.65 m)

FECHA DE MUESTREO : 02/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 02-10-2015

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.680
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.475
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2649
Temperatura	°C	-	16.1
Nitratos	mg/l	50	24.88
Sulfates	mg/l	250	505
Dureza Total	mg/l	500	909
Cloruros	mg/l	250	409

3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1275
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	273

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
Ing. Víctor Macari Sancho  
N° 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD

OFICINA PRINCIPAL: Av. San Martín N° 2011-Telefax: 051-321933 / 051-327400  
OFICINA COMERCIAL: Jr. Tumbes N° 628-Telf.: 051-321288  
EMERGENCIAS Y RECLAMOS: 051-328568 ATENCIÓN AL CLIENTE: 051-321402  
<http://www.sedajuliaca.com>





DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

Nº 11 -19

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283846  
RECIBO: N° 002-00901621

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Huallaga Mz. F-8, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.70 m)

FECHA DE MUESTREO : 04/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 04-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.683
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.474
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2640
Temperatura	° C	-	15.8
Nitratos	mg/l	50	24.90
Sulfates	mg/l	250	509
Dureza Total	mg/l	500	901
Cloruros	mg/l	250	413

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1268
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	262

UFC/100ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
Ing. Rodolfo Incauca Sancho  
CIP N° 90554  
(e) EN CONTROL DE CALIDAD

OFICINA PRINCIPAL: Av. San Martín N° 2011-Telefax: 051-321933 / 051-327400  
OFICINA COMERCIAL: Jr. Tumbes N° 628-Telf: 051-321288  
EMERGENCIAS Y RECLAMOS: 051-328568 ATENCIÓN AL CLIENTE: 051-321402  
<http://www.sedajuliaca.com>





LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283847  
RECIBO: N° 002 -00901622

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Huallaga Mz. F-7, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.78 m)

FECHA DE MUESTREO : 04/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 04-10-2015

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.685
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.478
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2642
Temperatura	°C	-	15.2
Nitratos	mg/l	50	24.84
Sulfates	mg/l	250	513
Dureza Total	mg/l	500	907
Cloruros	mg/l	250	411

3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1264
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	269

UFC/100ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.

Ing. Rodolfo Incacari Sancho  
CIP N° 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD





LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283848  
RECIBO: Nº 002-00901623

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Suches Mz. F-12, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.80 m)

FECHA DE MUESTREO : 04/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 04-10-2015

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.687
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.480
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2637
Temperatura	° C	-	15.4
Nitratos	mg/l	50	24.96
Sulfates	mg/l	250	506
Dureza Total	mg/l	500	912
Cloruros	mg/l	250	401

3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1269
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	270

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
Ing. Rodolfo Acacari Sancho  
C.I. Nº 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD





LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283849  
RECIBO: N° 002-00901624

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Huallaga Mz. F-6, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.87 m)

FECHA DE MUESTREO : 06/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 06-10-2015

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.690
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.482
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2635
Temperatura	°C	-	15.7
Nitratos	mg/l	50	24.91
Sulfates	mg/l	250	508
Dureza Total	mg/l	500	902
Cloruros	mg/l	250	412

3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1265
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	265

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD  
Ing. *[Signature]* Incacari Sancho  
CIP N° 90554  
(e) EN CONTROL DE CALIDAD





DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

Nº 11 -23

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283850  
RECIBO: N° 002-00901625

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Amazonas Mz. D-11, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.50 m)

FECHA DE MUESTREO : 06/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 06-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.692
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.487
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2650
Temperatura	°C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.82
Sulfates	mg/l	250	504
Dureza Total	mg/l	500	910
Cloruros	mg/l	250	404

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1270
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	272

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



EPS SEDAJULIACA S.A.  
Ing. Rodolfo Incaerari Sancho  
CIP N° 90554  
(e) EN CONTROL DE CALIDAD

OFICINA PRINCIPAL: Av. San Martín N° 2011-Telefax: 051-321933 / 051-327400  
OFICINA COMERCIAL: Jr. Tumbes N° 628-Teif.: 051-321288  
EMERGENCIAS Y RECLAMOS: 051-328568 ATENCIÓN AL CLIENTE: 051-321402  
<http://www.sedajuliaca.com>





DIVISION DE PRODUCCION, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE  
AREA DE CONTROL DE CALIDAD

N° 11 -24

## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283851  
RECIBO: N° 002 -00901626

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Eufrates Mz. D-7, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.35 m)

FECHA DE MUESTREO : 06/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 06-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.694
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.484
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2638
Temperatura	° C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.95
Sulfates	mg/l	250	510
Dureza Total	mg/l	500	908
Cloruros	mg/l	250	400

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1274
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	275

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
*Rodolfo Incajari Sancho*  
C.P. N° 90564  
(e) EN CONTROL DE CALIDAD

OFICINA PRINCIPAL: Av. San Martín N° 2011-Telefax: 051-321933 / 051-327400  
OFICINA COMERCIAL: Jr. Tumbes N° 628-Telf.: 051-321288  
EMERGENCIAS Y RECLAMOS: 051-328568 ATENCIÓN AL CLIENTE: 051-321402  
<http://www.sedajuliaca.com>





**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**1. DATOS GENERALES**

**ENTIDAD SOLICITANTE** : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283852  
RECIBO: Nº 002-00901627

**LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO** : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Napo Mz. D-8, Lote 1

**TIPO DE AGUA** : Agua de Pozo (Profundidad 2.85 m)

**FECHA DE MUESTREO** : 08/10/2015  
**HORAS DE MUESTREO** : 06:00:00 a.m.  
**MUESTREADO POR** : Interesado  
**FECHA DE ANALISIS** : 08-10-2015

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.697
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.481
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2651
Temperatura	° C	-	15.6
Nitratos	mg/l	50	24.86
Sulfates	mg/l	250	503
Dureza Total	mg/l	500	913
Cloruros	mg/l	250	411

**3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1267
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	268

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.

Ing. *[Firma]* Sancho  
CIP Nº 90554  
(6) EN CONTROL DE CALIDAD





**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**1. DATOS GENERALES**

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283853  
RECIBO: N° 002-00901628

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Desaguadero Mz. D-10, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.45 m)

FECHA DE MUESTREO : 08/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 08-10-2015

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.699
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.483
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2648
Temperatura	° C	-	15.2
Nitratos	mg/l	50	24.92
Sulfates	mg/l	250	510
Dureza Total	mg/l	500	904
Cloruros	mg/l	250	403

**3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1271
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	277

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.  
Ing. Rodolfo Incacari Sancho  
CIP N° 90554  
EN CONTROL DE CALIDAD





## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283854  
RECIBO: Nº 002 -00901629

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Eufrates Mz. D-9, Lote 2

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.90 m)

FECHA DE MUESTREO : 08/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 08-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.672
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.489
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2652
Temperatura	°C	-	15.1
Nitratos	mg/l	50	24.83
Sulfates	mg/l	250	507
Dureza Total	mg/l	500	911
Cloruros	mg/l	250	407

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1260
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	264

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S. SEDAJULIACA S.A.

Ing. *Modesto Incapari Sancho*  
CIP N° 90554  
(e) EN CONTROL DE CALIDAD





## LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

### 1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283855  
RECIBO: N° 002-00901630

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Putumayo Mz. D-13, Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.20 m)

FECHA DE MUESTREO : 10/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 10-10-2015

### 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.675
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.490
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2641
Temperatura	° C	-	15.4
Nitratos	mg/l	50	24.89
Sulfates	mg/l	250	509
Dureza Total	mg/l	500	900
Cloruros	mg/l	250	410

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1266
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	276

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



E.P.S SEDAJULIACA S.A.

Ing. *Roberto Incajari Sancho*  
C.O. N° 90554  
(6) EN CONTROL DE CALIDAD





**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**1. DATOS GENERALES**

**ENTIDAD SOLICITANTE** : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE  
Solicitud de Servicios: 00283856  
RECIBO: N° 002-00901631

**LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO** : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Vilcanota Mz. F-11, Lote 4

**TIPO DE AGUA** : Agua de Pozo (Profundidad 2.40 m)

**FECHA DE MUESTREO** : 10/10/2015  
**HORAS DE MUESTREO** : 06:00:00 a.m.  
**MUESTREADO POR** : Interesado  
**FECHA DE ANALISIS** : 10-10-2015

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.677
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.492
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2645
Temperatura	° C	-	15.5
Nitratos	mg/l	50	24.93
Sulfates	mg/l	250	512
Dureza Total	mg/l	500	914
Cloruros	mg/l	250	406

**3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1261
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	274

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Rómulo Incaqui Sanchó  
GERENCIA DE OPERACIONES  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD





**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

**1. DATOS GENERALES**

ENTIDAD SOLICITANTE : KRISTEL YAMILETH TORRES ESCALANTE

Solicitud de Servicios: 00283857

RECIBO: Nº 002 -00901632

LOCALIZACION Y/O PUNTO DE MUESTREO : Región : Puno  
Provincia : San Román  
Distrito : Juliaca  
Lugar : Urb. Taparachi  
III Sector  
Jr. Napo Mz. D-12 Lote 1

TIPO DE AGUA : Agua de Pozo (Profundidad 2.30 m)

FECHA DE MUESTREO : 10/10/2015  
HORAS DE MUESTREO : 06:00:00 a.m.  
MUESTREADO POR : Interesado  
FECHA DE ANALISIS : 10-10-2015

**2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Turbidez	NTU	5.00	0.679
Potencial de Hidrógeno	pH	6,5-8,5	7.481
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500	2639
Temperatura	° C	-	15.3
Nitratos	mg/l	50	24.81
Sulfates	mg/l	250	507
Dureza Total	mg/l	500	906
Cloruros	mg/l	250	402

**3. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

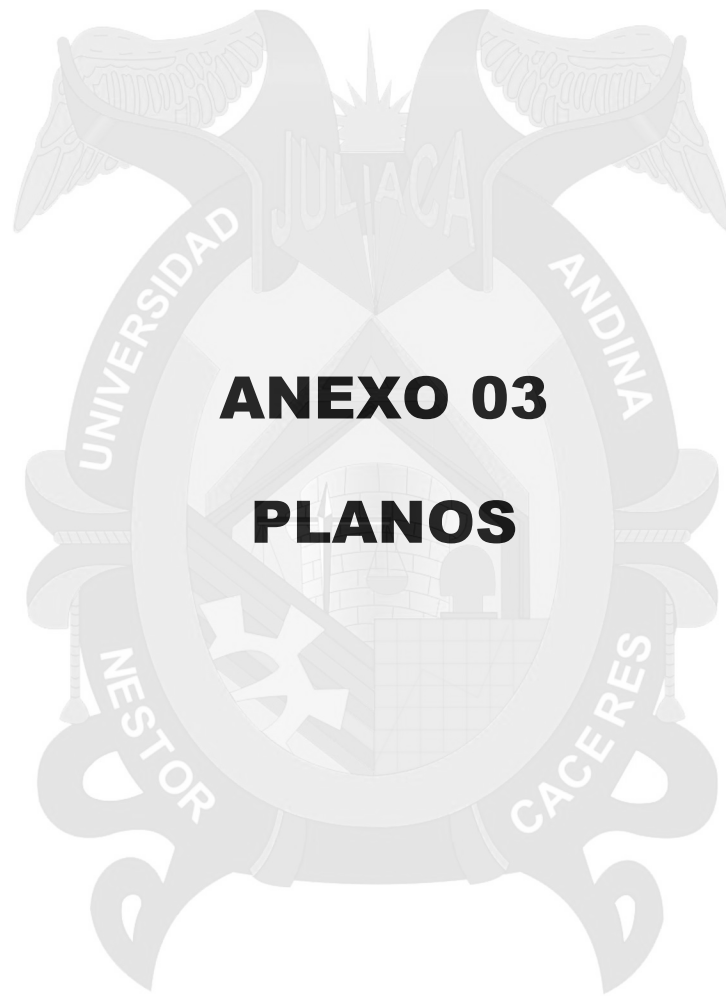
PARAMETROS	Unidad de Medida	L.M.P. D.S. 031-2010 SA.	VALORES OBTENIDOS
Coliformes Totales	UFC/100ml	0 UFC/100ml	1262
Coliformes Termotolerantes	UFC/100ml	0 UFC/100ml	263

UFC/1 00ml = Unidades Formadoras de Colonia en 100ml de muestra de agua filtrada

Juliaca, Octubre de 2015



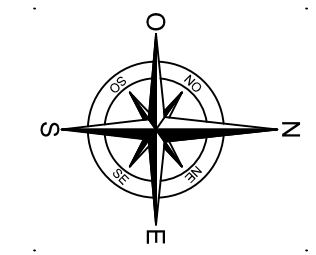
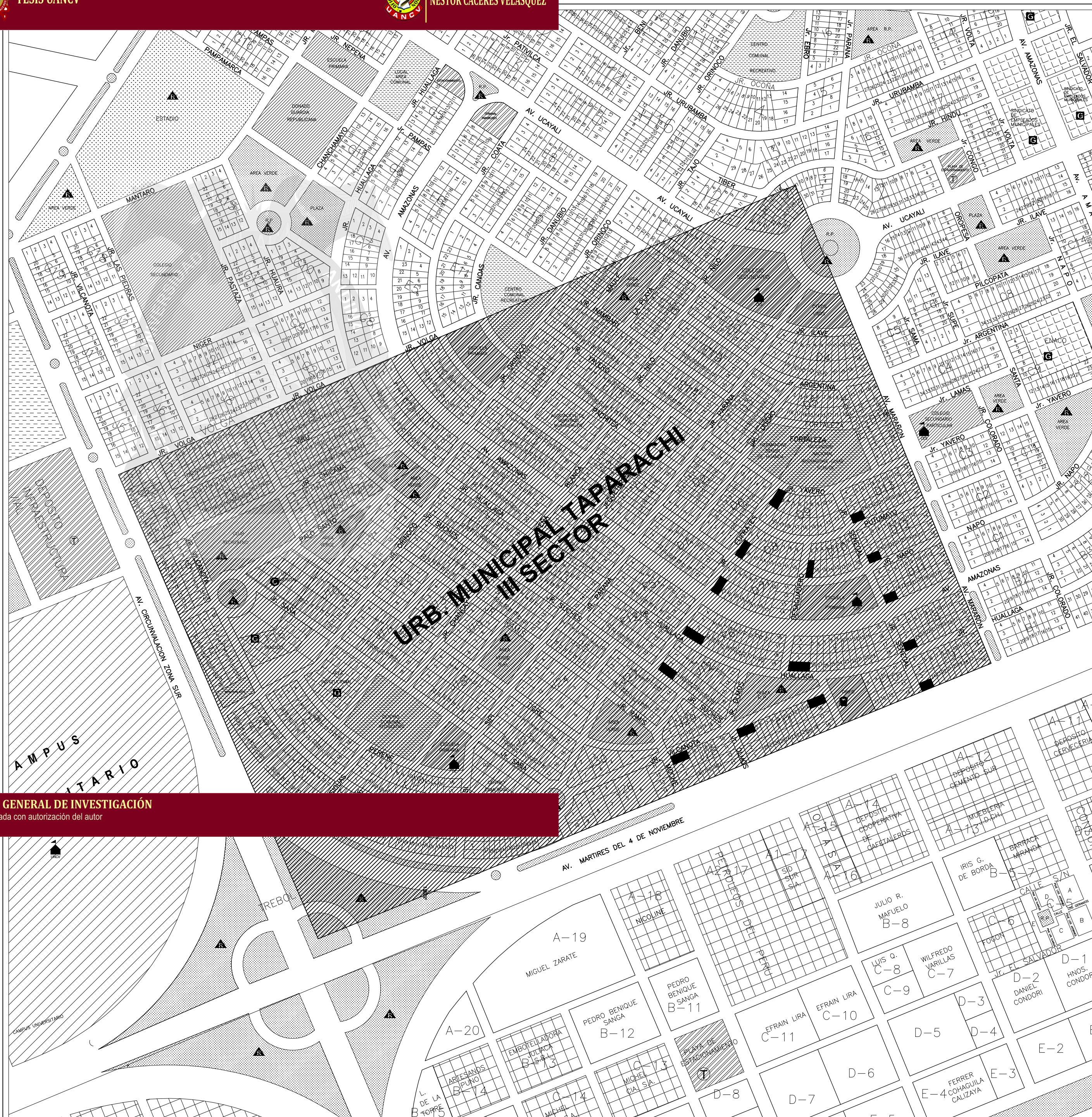
*[Signature]*  
**Gerente**  
**Ing. Aníbal Incañan Sancho**  
 CIP N° 90554  
 EN CONTROL DE CALIDAD



# ANEXO 03

# PLANOS





**PLANO UBICACION**  
ESC: 1/10000

**LEYENDA**  
■ LOTES SELECCIONADOS CON POZOS ARTESANALES

**OFICINA GENERAL DE INVESTIGACIÓN**  
Tesis publicada con autorización del autor

**PLANO LOTIZACION** ESC: 1/5000

DATUM HORIZONTAL: WGS84

<b>UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ</b> <b>CAP DE INGENIERIA CIVIL</b>			
Proyecto: <b>EVALUACION ESTRUCTURAL DE POZOS DE AGUA PARA CONSUMO DOMESTICO EN LA URB. MUNICIPAL TAPARACHI - III SECTOR - JULIACA</b>			
Plano: <b>PLANO DE UBICACION Y LOTIZACION DE LA URB. TAPARACHI</b>			
Bach. Ing. Civil: <b>KRISTELL YAMILETH TORRES ESCALANTE</b>		Fecha: <b>MAYO 2015</b>	Lamina: <b>PU01</b>
Ubicación: Urb.: MUNICIPAL TAPARACHI III SECTOR Dist.: JULIACA Prov.: SAN ROMAN Dpto.: PUNO		Escala: <b>INDICADA</b>	