

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“EFECTIVIDAD DE LA RECARGA INDUCIDA DEL
ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO CHILLÓN CON FINES
DE APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS
SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS”**

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

EDWIN ALEXANDER RAFAEL ESPINOZA

LIMA-PERÚ

2008

**EFFECTIVIDAD DE LA RECARGA INDUCIDA DEL ACUIFERO DEL VALLE
DEL RIO CHILLON CON FINES DE APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS
SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS.**

	Página
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Justificación	3
1.3 Antecedentes.....	4
1.4 ●jetivos	4
 II. REVISION BIBLIOGRAFICA	 5
2.1 Conceptos Básicos:.....	5
2.1.1 Metamorfismo	5
2.1.2 Propiedades Hidrodinámicas del Acuífero.....	5
2.1.3 Recarga Artificial	5
2.1.3.1 Aspectos Teóricos de la Recarga Artificial de Acuíferos.....	6
2.1.4 Recursos Hidráulicos y Caudal Seguro	6
2.1.5 Cálculo de las Reservas.....	7
2.1.6 Fluctuaciones del Nivel de la Superficie Piezométrica.....	8
2.1.7 Movimiento de las Aguas Subterráneas	9
2.2 Conceptos Fundamentales: Diseño y Manejo de Lechos de Infiltración.....	11
2.2.1 Tasas de Infiltración	11
2.2.2 Atascamiento del Suelo.....	13
2.2.3 Efecto de la Profundidad del Agua en la Infiltración	15
2.3 Manifestación de la Recarga en el Ciclo Hidrológico	16
2.4 Balance Hídrico y Técnicas de Trazadores para el Cálculo de la Recarga	16
2.4.1 Formulación Básica.....	17
2.4.2 Técnicas de Trazadores.....	17
2.5 Utilización del Balance de Cloruros en la Zona No Saturada para la Estimación de la Recarga Natural a un Acuífero	18
2.5.1 El Método del Balance de Cloruro en la ZNS. Técnica de los Perfiles de Solutos.....	18
2.5.2 Fundamento Teórico	19
2.6 Métodos de Estimación de la Recarga del Agua Subterránea en Sudáfrica....	20
2.6.1 Balance de Agua (Método de la Fluctuación del Volumen Saturado – SVF).....	21
 III. MATERIALES Y METODOLOGIA DE INVESTIGACION.....	 22
3.1 Materiales y Equipos	22

3.2	Características Generales del Área de Estudio.....	22
3.2.1	Cuenca del Río Chillón.....	22
3.2.1.1	Área de Estudio.....	25
3.2.1.2	Uso Conjuntivo de las Aguas del Valle del Río Chillón.....	25
a.	Sistema de Control y Monitoreo (SCADA).....	26
3.2.1.3	Descripción de Los Lechos de Infiltración.....	27
3.2.1.4	Aspectos Demográficos y Servicios de Agua Potable.....	28
3.2.2	Climatología.....	29
3.2.2.1	Estaciones Meteorológicas.....	30
3.2.2.2	Tipos Climáticos.....	30
3.2.2.3	Temperatura.....	30
3.2.2.4	Evaporación.....	30
3.2.2.5	Precipitación.....	30
a.	Precipitación Total Media Mensual y Anual.....	31
3.2.3	Hidrología Superficial.....	31
3.2.3.1	Escorrentamiento Superficial.....	31
a.	Análisis de Frecuencias de la Descarga Media Mensual.....	32
3.2.3.2	Evolución del Caudal del Río Chillón.....	32
3.2.3.3	Componente del Flujo del Río Chillón.....	33
3.2.3.4	Disponibilidad del Recurso Hídrico.....	35
3.2.3.5	Demanda del Recurso Hídrico.....	37
3.2.3.6	Balance Hídrico Anual.....	37
3.2.3.7	Aforo del Río Chillón en la Bocatoma Huarangal – Área de Estudio.....	38
3.2.4	Geomorfología y Geología.....	39
3.2.4.1	Geomorfología Local.....	40
3.2.4.2	Geología.....	41
a.	Unidades Estratigráficas.....	41
b.	Fenómenos Tectónicos.....	43
3.2.4.3	Prospección Geofísica.....	44
a.	Generalidades.....	44
b.	Secciones Geofísicas.....	44
c.	Techo del Basamento Rocoso (Isobatas).....	45
d.	Resistividades y Espesores del Horizonte Acuífero Superior.....	45
e.	Resistividades y Espesores del Horizonte Acuífero Inferior.....	45
3.3	Planteamiento General de la Hipótesis.....	46
3.4	Metodología.....	47
IV.	RESULTADOS Y ANALISIS.....	60
4.1	Generalidades.....	60
4.2	Caracterización General del Acuífero.....	61
4.2.1	Manantiales.....	61
4.2.2	Pozos en el Área de Estudio.....	61
4.2.2.1	Pozos Tubulares.....	61

4.2.2.2	Estratigrafía de Pozos.....	65
4.2.3	El Reservorio Acuífero.....	65
4.2.3.1	Forma y Límites.....	65
4.2.3.2	Dimensiones.....	67
4.2.4	El Medio Poroso.....	67
4.2.4.1	Litología.....	67
4.2.4.2	La Napa Freática.....	67
4.3	Análisis e Interpretación Hidrogeológica del Perfil Litológico.....	68
4.4	Análisis Temporal de la Recarga y Descarga del Acuífero.....	71
4.4.1	Comportamiento Histórico de la Recarga y Descarga (1996 – 2001).....	72
4.4.2	Comportamiento Actual de la Recarga y Descarga (2001 – 2004).....	77
4.5	Análisis Espacial de la Recarga del Acuífero.....	83
4.5.1	Análisis de las Cargas Hidráulicas.....	83
4.5.2	Isopropundidad de la Napa Freática.....	85
4.5.3	Fluctuaciones del Nivel Freático.....	89
4.6	Zonificación del Acuífero en base a la Morfología del Agua Subterránea.....	94
4.7	Explotación Actual de las Aguas Subterráneas.....	95
4.8	Pruebas de Bombeo.....	100
4.9	Propiedades Hidrodinámicas del Acuífero.....	106
4.9.1	Transmisividad (T) y Conductividad Hidráulica (K).....	108
4.9.2	Rendimiento Específico (Sy).....	111
4.10	Cálculo de los Radios de Influencia.....	112
4.11	Análisis Hidrogeoquímico durante la Recarga y Descarga del Acuífero.....	115
4.11.1	Calidad del Agua (1996 – 1997).....	115
4.11.2	Análisis Espacial de la Química del Agua (2004 – 2005).....	124
4.11.2.1	Niveles de CE y Concentración de Cloruro, Bicarbonato Sulfato, Nitrato y Calcio.....	126
4.11.2.2	Representación Gráfica según Zonificación del Acuífero.....	136
4.12	Reservas Temporales.....	153
4.12.1	Reservas o Volúmenes de Recarga 1999 – 2000.....	153
4.12.2	Reservas o Volúmenes de Recarga 2001 – 2002.....	153
4.12.3	Reservas o Volúmenes de Recarga 2002 – 2003.....	154
4.12.4	Reservas o Volúmenes de Recarga 2003 – 2004.....	154
4.13	Análisis Cualitativo de la Recarga Inducida.....	154
4.13.1	Empleo del Cloruro como Trazador.....	155
4.14	Análisis Cuantitativo de la Recarga Inducida.....	161
4.14.1	Componente del Flujo del Río Chillón – Bocatoma Huarangal.....	161
4.14.2	Determinación del Tiempo de Tránsito Agua Superficial – Agua Subterránea.....	163
4.14.3	Determinación de la Velocidad de Infiltración Agua Superficial – Agua Subterránea.....	165

4.14.4	Relación Agua Superficial – Agua Subterránea.....	167
4.15	Efectividad de la Recarga Inducida (Volumen Seguro).....	176
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	179
5.1	Conclusiones.....	179
5.2	Recomendaciones.....	181
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	184
VII.	ANEXOS	188

ABREVIATURAS EMPLEADAS

ABREVIATURA	DENOMINACION
C.S.	Centro de Servicio
CAP	Cooperativa Agraria de Producción
DIGAS	Dirección General de Aguas Subterráneas
FIA	Facultad de Ingeniería Agrícola
IAEA	International Atomic Energy Agency
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
LMP	Límite Máximo Permisible
OMS	Organización Mundial de la Salud
SAN	Servicio Aerofotográfico Nacional
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina
ZNS	Zona No Saturada
ZS	Zona Saturada