

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“ESTIMACIÓN DE LA RECARGA DEL ACUÍFERO RÍMAC –
SECTOR ATE, MEDIANTE EL RIEGO DE ÁREAS VERDES”**

PRESENTADO POR:

CLAUDIA KARINA CHIONG RAVINA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2015

DEDICATORIA

A Dios, de quien viene la inteligencia y sabiduría.

*“El principio de la sabiduría es el temor de Jehová;
Los insensatos desprecian la sabiduría y la enseñanza.”*

(Proverbios 1:7)

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A Dios, quien me sostuvo todo el tiempo que duró esta investigación, dándome ánimo, fuerzas, paciencia y perseverancia.

A mis padres Javier y Carmen, a mi hermano Javier y a mi abuelita Gume, por su constante ánimo.

A mis amigos: Erika Cadillo, Jorge Chuquillanqui y Teresa Medina, por su apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A Diego Del Carmen, por su constante ánimo y monitoreo para que termine esta investigación.

Al Ing. Lucio Salazar, por sus valiosos aportes al desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Guillermo Aguilar y al Ing. Sebastián Santayana, por su constante asesoramiento en el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	GENERALIDADES.....	1
1.2	JUSTIFICACIÓN	2
1.3	OBJETIVOS	2
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	ACUÍFERO RÍMAC	4
2.1.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	4
2.1.2	EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	6
2.2	RECARGA DE ACUÍFEROS	8
2.2.1	TIPOS DE RECARGA.....	10
2.2.2	PROYECTOS DE RECARGA DESARROLLADOS EN EL ACUÍFERO RÍMAC.....	13
2.3	USO SOSTENIBLE DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	22
2.4	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.....	23
2.4.1	CASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	24
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
3.1.1	ÁREAS VERDES	39
3.1.2	CANAL ATE.....	40
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	40
3.3	METODOLOGÍA	41
3.3.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	41
3.3.2	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NETA MEDIANTE EL MÉTODO DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS.....	42
3.3.3	CANAL ATE	45
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1	ESTIMACIÓN DE RECARGA POR EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL ACUÍFERO RÍMAC – SECTOR ATE.....	47

4.1.1	CÁLCULO DE LA RETENCIÓN MENSUAL DE AGUA POR EL FOLLAJE Y/O CULTIVO	47
4.1.2	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN DEL SUELO.....	48
4.1.3	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN MENSUAL POR RIEGO	50
4.1.4	CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	51
4.1.5	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN	51
4.1.6	CÁLCULO DE RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO	52
4.1.7	RESUMEN DE RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO	63
4.2	DISCUSIÓN	64
V.	CONCLUSIONES	66
VI.	RECOMENDACIONES	67
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

ÍNDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
2.1	Explotación de las aguas subterráneas del acuífero Rímac. Período 2001-2009	5
2.2	Cuadro comparativo entre recarga y descarga del acuífero Rímac	6
2.3	Volumen drenable o infiltración al suelo en función de la conductividad hidráulica	8
2.4	Valores de conductividad hidráulica en función a la textura del suelo	12
2.5	Valores de capacidad de campo, punto de marchitez y rango de agua disponible	24
2.6	Volumen de recarga potencial obtenido	24
3.1	Precipitación mensual	36
3.2	Zonificación de las áreas verdes	37
3.3	Cantidad de áreas verdes en Ate	37
3.4	Componentes del coeficiente de infiltración	43
4.1	Volumen de agua aplicado a las áreas verdes en el distrito de Ate	46
4.2	Retención de agua por las áreas verdes	47
4.3	Valores de conductividad hidráulica para las muestras de suelo de las áreas verdes de Ate	48
4.4	Valores de conductividad hidráulica promedio en las áreas verdes de Ate	48
4.5	Infiltración mensual por riego (Pi)	50
4.6	Valores de escorrentía superficial (ESC). Período 2007-2013.	50
4.7	Valores mensuales de evapotranspiración para el césped. Período 2007-2013	51
4.8	Conversión de unidades	52
4.9	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2007	55
4.10	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2008	56
4.11	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2009	57
4.12	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2010	58
4.13	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2011	59
4.14	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2012	60
4.15	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate para el 2013	61
4.16	Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate. Período 2007 - 2013	62

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.1	Distribución del aporte pluviométrico en sus diferentes componentes	10
2.1	Variación del caudal de explotación del agua subterránea y nivel de agua. (Período 1955 – 1997)	18
2.2	Explotación de las aguas subterráneas con pozos de Sedapal	19
2.3	Principales áreas de recarga hídrica en la cuenca Guara, Cuba	27
2.4	Áreas de recarga hídrica en las cuencas Pansigüís y Cushapa, Guatemala	30
2.5	Zonas para el cómputo del balance hídrico de suelos en la cuenca del río Frío, Costa Rica	32
2.6	Zonas de recarga acuífera en la cuenca del río Frío, Costa Rica	33
2.7	Recarga potencial anual de los acuíferos Barva y Colima	34
3.1	Ubicación del distrito de Ate en Lima Metropolitana	35
3.2	Metodología del balance hídrico de suelos	42
4.1	Estimación de la recarga del acuífero Rímac - sector Ate (m ³ /año). Período 2007-2013	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Descripción

ANEXO 1	Descripción del canal Ate, laterales de riego y obras de arte
ANEXO 2	Relación de áreas verdes en el distrito de Ate
ANEXO 3	Resultados del Laboratorio de Suelos de la Unalm
ANEXO 4	Panel fotográfico
ANEXO 5	Planos

RESUMEN

El presente estudio contempla la estimación de la recarga del acuífero Rímac en el sector de Ate, producto del riego de las áreas verdes del distrito para el período 2007 - 2013. Dicha estimación se realizó aplicando la metodología del balance hídrico de suelos, explicada por Schosinsky (2007). Esta metodología considera distintas variables que influyen en la recarga del acuífero, entre ellas, la conductividad hidráulica, equivalente a 1571.24 mm/día (zonas 1 y 2), y 1815.24 mm/día (zonas 3 y 4), según lo calculado mediante el *software SoilWaterCharacteristics*. Asimismo, para esta investigación, el volumen de agua que ingresa al suelo corresponde al aplicado para el riego de las áreas verdes del distrito, el cual fue de 513000 m³ para el 2007, 579 440 m³ para el 2008, 796 730 m³ para el 2009, y 1 499301.00 m³ para cada año del 2010 al 2013. La textura franco arenosa de los suelos es característica de las áreas verdes del distrito, lo que favorece la recarga del acuífero por presentar valores altos de conductividad hidráulica, según los resultados obtenidos. Asimismo, las áreas verdes del distrito hacen un total de 1 034 960.04 m² (103.5 ha). Como resultado, se obtuvo que la recarga potencial anual del acuífero Rímac, en el sector de Ate, fue 92 118.95 m³ para el 2007, equivalente al 18 por ciento del volumen de agua aplicado al riego de áreas verdes. Para el 2008, el volumen de recarga fue estimado en 96 967.32 m³; para el 2009, fue de 133 330.07 m³; y para los años 2010, 2011, 2012 y 2013 se estimó en 250902.94 m³/año, lo cual equivale al 17 por ciento del volumen total aplicado al riego. La mayor recarga se produjo en julio, y la menor, en octubre. Además, de los resultados obtenidos para el período 2007 – 2013, se observó una tendencia al aumento de la recarga, debido a que el volumen de riego se incrementó por el aumento de la cantidad de áreas verdes.

Palabras clave: *Recarga de acuíferos, balance hídrico de suelos.*

ABSTRACT

This study involves the estimation of the potential aquifer recharge in Rímac River Basin, in the area of Ate, produced by the irrigation of green areas in the district of Ate, from 2007 to 2013. This estimation was performed by applying the methodology of soil water balance, developed by Schosinsky (2007). This methodology considers different variables affecting the aquifer recharge, including hydraulic conductivity, equivalent to 1571.24 mm/day (sector 1 and 2), and 1815.24 mm/day (sector 3 and 4), as calculated by the Soil Water Characteristics software. Also, the volume of water entering the soil corresponds to that applied to irrigate the green areas of the district, which was 513000 m³ in 2007, 579440 m³ in 2008, 796730 m³ in 2009, and 1 499301.00 m³ in each year from 2010 to 2013. The sandy loam soil texture is characteristic of the green areas of Ate, which benefits the aquifer recharge, because of its high values of hydraulic conductivity. Also, the green areas of the district are estimated in 1 034960.04 m² (103.5 ha). As a result, the potential aquifer recharge in Rímac River Basin, in the area of Ate, was 92 118.95 m³ in 2007, which represents the 18 percent of the water volume applied to irrigation of green areas. In 2008, the recharge was estimated in 96967.32 m³; in 2009, was 133330.07 m³; and in 2010, 2011, 2012 and 2013 was estimated in 250902.94 m³ per year, representing the 17 percent of the total water volume applied to irrigation. Most aquifer recharge occurs in July, and the lowest, in October. Furthermore, the results for the period 2007 to 2013 show an increasing trend of recharge, because the irrigation volume increased, due to the growth of green areas in the district of Ate.

Key words: *Aquifer recharge, soil water balance.*

I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La ciudad de Lima Metropolitana es abastecida de agua mediante fuentes superficiales y subterráneas. Sin embargo, la creciente expansión demográfica y el cambio de uso de las tierras, de agrícola a urbana, propició el incremento de la extracción de agua subterránea de menos de 1 m³/s en 1955, hasta llegar a su punto más crítico en 1997, con una extracción de 12.4 m³/s, (Quintana y Tovar, 2002). Considerando solamente la explotación que realiza Sedapal para el abastecimiento de agua potable, los últimos datos indican que la extracción de agua subterránea en Lima Metropolitana asciende a 3.67 m³/s, siendo el 37 por ciento (1.36 m³/s) proveniente del acuífero Rímac - sector Ate, principal zona de extracción de aguas subterráneas, (INEI y Sedapal, 2012). A esta cifra se suma la extracción realizada por pozos de particulares, que cada día se incrementa debido a los pozos informales que operan en la ciudad. Toda esta extracción del recurso hídrico subterráneo genera períodos de sobreexplotación en el acuífero que traen desequilibrio en el nivel freático y posibles casos de intrusión marina, entre otras consecuencias.

Las áreas verdes brindan diversos beneficios a la comunidad; contribuyen a la salud de las personas y mejoran el paisaje urbano. De acuerdo a las recomendaciones dadas por la Organización Mundial de la Salud, se requiere un mínimo de 8 m²/hab de áreas verdes; sin embargo, Lima Metropolitana cuenta solamente con 2.6 m² por habitante. En el caso del distrito de Ate, zona donde se desarrolla la presente tesis, la cifra es aún menor (2 m²/hab). Esta situación confirma la importancia de promover el cuidado y la implementación de áreas verdes y así reducir el déficit en el distrito de Ate. Asimismo, existen diferentes canales que se utilizan para el riego de áreas verdes, siendo el canal Ate el principal. Sin embargo, este canal presenta varios de sus tramos y laterales deteriorados. Además, la población que habita en las zonas aledañas, no contribuye a preservar el recurso hídrico, pues arroja desechos que generan focos infecciosos y perjudican la salud y el bienestar de las personas, deteriorando además la cantidad y calidad de agua que eventualmente va a recargar el acuífero Rímac en este sector.

Considerando los problemas presentados, la presente tesis busca estimar la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate, producida por el riego de las áreas verdes del distrito, usando el método del balance hídrico de suelos, presentado por Schosinsky (2007). Asimismo, por ser la fuente principal de abastecimiento para el riego de áreas verdes, se presenta, de forma general, una descripción de la situación actual del canal Ate, que permita sugerir propuestas para el mejoramiento de su infraestructura, y así contribuir a que se pueda disponer de una mayor cantidad de agua superficial que servirá para el riego de áreas verdes y en consecuencia propiciar la implementación de más parques y jardines en el distrito de Ate. De esta manera, al haber una mayor área de riego, el volumen de recarga para el acuífero Rímac en el sector de Ate, se incrementará.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate mediante el riego de áreas verdes, beneficia al acuífero que actualmente se encuentra con un déficit de 38.06 MMC/año. Además, de acuerdo a estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (2010), aproximadamente 42 MMC/año de agua recargada al acuífero, proviene del riego de áreas verdes (bermas, jardines, parques, etc.). Por otro lado, al sugerir mejoras pertinentes a la infraestructura del canal Ate, se podrá disponer de una mayor cantidad de agua superficial para el riego de parques y jardines, dentro de su zona de influencia. Al tener más agua disponible, habrá mayores posibilidades de incrementar la cantidad de áreas verdes en el distrito, aumentando así la cantidad disponible por habitante y evitando mayores costos operativos a la municipalidad por el uso de camiones cisterna y agua potable para riego.

1.3 OBJETIVOS

Objetivo general:

- Estimar la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate, producida debido al riego de las áreas verdes del distrito, en el período 2007 – 2013.

Objetivos específicos:

- Calcular el total de áreas verdes en el distrito de Ate, para propósitos de recarga del acuífero.
- Determinar las características texturales del suelo del distrito de Ate, mediante análisis de laboratorio.

- Estimar el volumen de recarga anual del acuífero Rímac en el sector de Ate, producido por el riego de áreas verdes, mediante el método del balance hídrico de suelos, para el período 2007 – 2013.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ACUÍFERO RÍMAC

En base a bibliografía consultada sobre estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (2009-2010), Sedapal (1995-2013) y otros autores, se tiene la siguiente información acerca del acuífero del río Rímac.

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

a. Características físicas

El acuífero Rímac comprende un área de 332.91 km², con un ancho que varía aproximadamente entre 1.5 y 27 km. Su espesor se encuentra en un rango de 100 a 300 m, y en la zona de Ate varía de 60 a 160 m (ANA, 2009).

b. Características hidrogeológicas

El acuífero es libre y se alimenta principalmente a través del lecho del río, entre otras fuentes. El reservorio acuífero está constituido por depósitos aluviales del cuaternario reciente del valle Rímac. En estos depósitos se encuentran cantos rodados, gravas, arenas y arcillas, intercalados en estratos y/o mezclados entre sí (Quintana et al., 2012).

El acuífero tiene un ancho variable, cuyo sector más estrecho se encuentra en la parte alta, aguas arriba de Vitarte, área donde los depósitos aluviales tienen un ancho aproximado de 1.5 km. Por otro lado, el sector más amplio del acuífero se encuentra en la parte baja. (ANA, 2009). En La Molina, el espesor del relleno aluvial en el acuífero del Rímac, varía de 60 a 100m. En Ate, en el sector de la planta industrial de Backus y alrededores varía entre 100 y 120 m.

c. Fuentes de recarga

Las principales fuentes de recarga son las filtraciones que se producen a través del lecho del río Rímac, los flujos subsuperficiales provenientes de las partes altas del valle, los canales y áreas que aún se encuentran bajo riego (parques, jardines y parcelas) y las

pérdidas por fugas en los sistemas de distribución de agua potable en las áreas urbanas. Sin embargo, debido al constante cambio de áreas agrícolas por urbanas, las fuentes de recarga vienen disminuyendo significativamente (ANA, 2010).

d. Propiedades hidráulicas

El valor promedio de transmisividad era igual a 2.02×10^{-2} m²/s (1745.3 m²/día) en la margen derecha, y a 1.19×10^{-2} m²/s (1028.2 m²/día) en la margen izquierda del río Rímac. Por otro lado, el valor promedio de permeabilidad es 3.76×10^{-4} m/s (margen derecha) y 1.91×10^{-4} m/s (margen izquierda). Según la ANA (2009), estos valores son representativos de acuíferos de buenas condiciones hidráulicas para la circulación, alimentación y extracción de aguas subterráneas. Con respecto al coeficiente de almacenamiento, este es igual a 15 por ciento, valor obtenido de acuerdo a pruebas de acuífero realizadas por Sedapal. Por otro lado, el valor de conductividad hidráulica varía de 4 a 50 m/día, con un valor promedio de 25 m/día en la zona de Ate.

e. Napa freática

El flujo subterráneo va de este a oeste, siguiendo la dirección del río Rímac hasta las proximidades del cerro El Agustino. A partir de este punto de afloramiento rocoso y debido a la mayor extensión del abanico aluvial del valle, una parte del flujo continúa en el sentido este a oeste, mientras que la otra parte discurre de noreste a suroeste, en ambos casos con dirección al mar. A la altura del aeropuerto Jorge Chávez, Callao, el acuífero Rímac se une al Chillón, donde ambos siguen su recorrido hacia el océano Pacífico.

La profundidad del nivel freático en las cercanías del río varía de 5 a 10 m, incrementándose hacia la zona sur, hasta un máximo de 75 m. Sobre la margen derecha del río Rímac, en el sector comprendido entre el puente Huachipa y los cerros Pedreros, la profundidad de la napa disminuye en dirección del flujo subterráneo de este a oeste, de 30 a 5 m, lo que se atribuye al represamiento por la presencia de cerros. En general, la profundidad del techo de la napa varía de 5 a 100 m, siendo más cercana a la superficie en la zona del río Rímac (5-10 m) e intermedia en el distrito de Ate, de 57 a 68 m (ANA, 2009).

f. Calidad de agua

Para analizar la calidad, se utilizó como parámetro indicador la conductividad eléctrica, la cual indica el grado de salinidad del agua. Las mediciones se realizaron en pozos representativos, arrojando como resultado que en ambos márgenes del río Rímac, la concentración salina se encuentra en un rango bajo a moderado, incrementándose conforme se aleja del lecho del río (Sedapal, 2009).

2.1.2 EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Sedapal explota las aguas subterráneas para complementar el suministro de las plantas de tratamiento de La Atarjea y Chillón, mediante 675 pozos tubulares distribuidos en los distritos de Ate, Surco, Los Olivos, entre otros. A esto se suma la explotación que hacen los particulares mediante pozos tubulares y pozos a tajo abierto para diversos fines (industriales, comerciales, recreacionales y de consumo humano).

El alto volumen de extracción de las aguas subterráneas, condujo a períodos de sobreexplotación del acuífero, generando graves problemas para la fuente de agua. Entre ellos, el descenso progresivo del nivel de la napa freática e intrusión marina en el acuífero. Durante el período 2001-2009, los pozos pertenecientes a Sedapal extrajeron un volumen total aproximado de 107.23 hm³, lo que corresponde a un caudal de 3.4 m³/s. Por otro lado, los pozos pertenecientes a terceros, extrajeron un volumen igual a 55.37 hm³, equivalente a un caudal de 1.75 m³/s. Así, se tuvo que el caudal de explotación del acuífero Rímac durante este período fue de 5.15 m³/s, tal como se muestra en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1: Explotación de las aguas subterráneas del acuífero Rímac. Período 2001-2009

Propietario de los pozos	Volumen extraído	
	Q (hm ³ /año)	Q (m ³ /s)
Sedapal	107.23	3.4
Terceros	55.37	1.75
TOTAL	162.6	5.15

FUENTE: OP & Consultores asociados (2011)

Por otro lado, Seifert (2009) menciona que se tiene una pérdida comprobada que asciende a millones de metros cúbicos de agua dulce que se pierden en el océano Pacífico. Esto se

debe a la fuerte pendiente de los cauces que discurren del flanco occidental de la Cordillera de Los Andes.

Existen 694 pozos registrados que se abastecen del acuífero, según el inventario de pozos realizado por Sedapal (2012). La recarga del acuífero es aproximadamente 306.24 hm³/año, mientras que su descarga es 344.30 hm³/año; así, se tiene un balance negativo de aguas subterráneas del acuífero igual a 38.06 hm³/año. En el Cuadro 2.2 se puede apreciar los diferentes tipos de recarga, descarga, y lo que representan del total.

Cuadro 2.2: Tipos de recarga y descarga del acuífero Rímac

Tipo de recarga	Cantidad de recarga		Tipo de descarga	Cantidad de descarga	
	(hm ³)	(%)		(hm ³)	(%)
Flujo subterráneo de la cuenca húmeda	80.73	26.36	Explotación de galerías filtrantes	3.79	1.1
Recarga del lecho del río	31.85	10.4	Explotación de pozos por Sedapal	219.18	63.66
Riego de áreas verdes	42.29	13.81	Explotación de pozos por terceros	75.6	21.96
Fugas en la red pública	151.37	49.43	Flujo hacia el mar	45.73	13.28
TOTAL	306.24	100	TOTAL	344.3	100

FUENTE: ANA (2010)

Por otro lado, para contrarrestar el problema de sobreexplotación, los modelos de simulación matemática han considerado que el máximo caudal explotable del acuífero de Lima es de 8 m³/s, y el rendimiento seguro es de 6 m³/s. También, a la fecha existen resoluciones ministeriales y decretos supremos dados por el Ministerio de Agricultura que establecen zonas de veda en el acuífero de Lima. Sin embargo, ninguna de estas contempla zonas que estén comprendidas en el acuífero Rímac, lo que deja libre paso a su explotación.

En el 2002, debido a la sobreexplotación local en el sector comprendido entre los cerros Mulería, La Milla (distrito de San Martín de Porres) y el distrito de La Punta, se presentó una depresión hidráulica, encontrándose el nivel freático por debajo del nivel del mar en un sector importante del acuífero, quedando así expuesto a problemas de intrusión marina (Seifert, 2009).

Mediante el método del balance, la ANA (2009) determinó que el acuífero Rímac contiene una reserva racionalmente explotable de 126.14 hm³ anuales, valor que debe considerarse para que su uso sea sostenible y se mantenga el equilibrio del sistema acuífero. Sin embargo, al 2008, alrededor de 1341 pozos explotaron 153.64 hm³/año, excediendo las reservas explotables.

2.2 RECARGA DE ACUÍFEROS

a. Definición de recarga

Según un estudio publicado por la ANA (2010) y otros autores, se denomina recarga al proceso por el cual se incorpora a un acuífero agua procedente del exterior del contorno que lo limita. Asimismo, al volumen de agua que se infiltra o al flujo descendente en un intervalo de tiempo que alcanza el nivel freático formando o aumentando las reservas de agua.

Por otro lado, Quiroz et. al. (2011) define la recarga como el proceso por el cual el agua atraviesa el límite inferior de la zona no saturada, llegando al acuífero y produciendo ascensos del nivel freático. En el medio natural, la recarga se efectúa por el aporte de fuentes superficiales o a partir de la infiltración del agua de lluvia y su posterior percolación. Dentro de los métodos existentes para el cálculo de la recarga, se tiene al balance hídrico de suelos. Mediante este método, se estima una recarga potencial promedio de 18 por ciento del total de agua infiltrada al suelo, para el caso de llanuras.

b. Unidades geológicas con potencial de recarga

Según Burns (2009), dentro de los posibles proyectos de recarga de acuíferos, se encuentra el de infiltración vía riego agrícola, siempre que se garantice la calidad del agua infiltrada. También, expresa que los depósitos aluviales del cuaternario, como es el caso del acuífero Rímac, son zonas aptas para proyectos de recarga, a través de lagunas o pozos de infiltración con aguas pluviales o tratadas. La tasa de infiltración es de 5 cm/h, pudiendo infiltrar hasta 200 m anualmente; de esta manera, se logra un impacto de recarga inmediato en los niveles freáticos locales. Por otro lado, a través del riego se logra infiltrar hasta el 25 por ciento del agua utilizada.

c. Factores que influyen en el proceso de infiltración

Según Burns (2009), mientras que las formaciones geológicas realizan un papel determinante en la capacidad de almacenamiento del agua y la facilidad con la que se extrae, existen diversos factores relacionados con la superficie, que intervienen en los procesos de infiltración. Uno de ellos, es la capacidad de campo del suelo, que se refiere al contenido de humedad que queda retenido en el suelo contra las fuerzas de la gravedad, ocupando los poros del terreno.

Por otro lado, Custodio y Llamas (1983) mencionan tres factores que influyen en el proceso de infiltración:

- Condiciones de la superficie: tipo y densidad de vegetación que cubre al suelo, compactación del suelo y pendiente del terreno.
- Características del terreno: textura y estructura del suelo, cantidad de arcilla y calor específico.
- Condiciones ambientales: humedad del suelo, temperatura del medio y del suelo.

Asimismo, Schosinsky y Losilla(2000) presentan un porcentaje de volumen de agua drenable, en función al valor de la conductividad hidráulica del suelo, tal como se muestra en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3: Volumen drenable o infiltración al suelo en función de la conductividad hidráulica

Permeabilidad/porosidad eficaz	Conductividad hidráulica (cm/hora)	Volumen drenable o Infiltración al suelo (%)
Muy lenta	< 0.15	< 2.00
Lenta	0.15 - 0.50	2.00 - 4.00
Lenta a moderada	0.50 - 2.00	4.00 - 8.50
Moderada	2.00 - 5.00	8.50 - 12.00
Moderada a rápida	5.00 - 10.00	12.00 - 17.60
Rápida	5.00 - 15.00	17.60 - 18.30
Muy rápida	15.00 - 25.00	18.30 - 22.00
Extremadamente rápida	> 25.00	> 22.00

FUENTE: Modificada de Schosinsky y Losilla, 2000

2.2.1 TIPOS DE RECARGA

Se puede clasificar a la recarga del acuífero en cuatro tipos: natural, artificial, accidental e inducida. La primera ocurre cuando el agua recargada proviene de precipitaciones o aguas superficiales. La segunda, es obtenida mediante dispositivos especialmente diseñados para incorporar agua al acuífero. Por otro lado, la recarga accidental es causada por actividades humanas que no tuvieron la intención primordial de recargar el acuífero. Finalmente, la recarga inducida es aquella que crea condiciones favorables a la infiltración natural.

a. Recarga natural

Se llama recarga tanto al volumen de agua como al flujo unitario (tasa de recarga), en volumen por unidad de tiempo (L^3T^{-1}), que penetra en un cierto intervalo de tiempo al medio saturado. La recarga también es frecuente darla como volumen por unidad de superficie y unidad de tiempo, o altura por unidad de tiempo (LT^{-1}). Esta tasa de recarga puede ser tanto el valor en un momento determinado, como el valor medio correspondiente a un cierto período de tiempo, o bien el valor medio que corresponde a un largo período de tiempo.

En el caso de la recarga por lluvia, situación más común (aunque no en Lima) y regionalmente más importante, tras descontar de la precipitación la parte del agua que queda interceptada por la vegetación y la parte del agua detenida en la superficie, lo que queda se reparte entre escorrentía superficial directa (agua que escurre sobre el terreno) e infiltración. Parte de la escorrentía superficial directa puede infiltrarse aguas abajo en encharcamientos o donde las condiciones del terreno sean favorables al proceso. La tasa (intensidad o valor por unidad de tiempo) de estos componentes varía a lo largo del evento de precipitación. Así, la interceptación y detención son importantes al inicio de la lluvia. La infiltración decrece con el tiempo y la escorrentía superficial aumenta a lo largo de la lluvia. Una parte del agua infiltrada se puede desplazar más o menos rápidamente en sentido horizontal por la parte superior del suelo siguiendo macroporos, canalículos, grietas, etc., y luego reaparecer en superficie a menor elevación como escorrentía superficial diferida o flujo subsuperficial, uniéndose a la escorrentía superficial directa para formar la escorrentía superficial del evento de lluvia.

La tasa de infiltración viene limitada por la permeabilidad intrínseca del suelo y su estado de humedad, cuyo límite superior es la porosidad y su límite inferior está condicionado por

procesos capilares que disminuyen el potencial hidráulico, permitiendo la succión de agua por el suelo. Así, en el terreno, hay una parte del agua infiltrada que desciende hacia el nivel freático y otra fracción que asciende para reponer las pérdidas a la atmósfera por evapotranspiración, esto como suma de la evaporación desde la superficie del suelo que produce la radiación solar y la extracción de agua que producen las raíces y que luego se evapora o transpira en las hojas de la planta. La percolación es recarga en tránsito, y formará más tarde la recarga al acuífero. En la Figura 1.1 se observa la distribución del aporte pluviométrico en sus diferentes componentes.

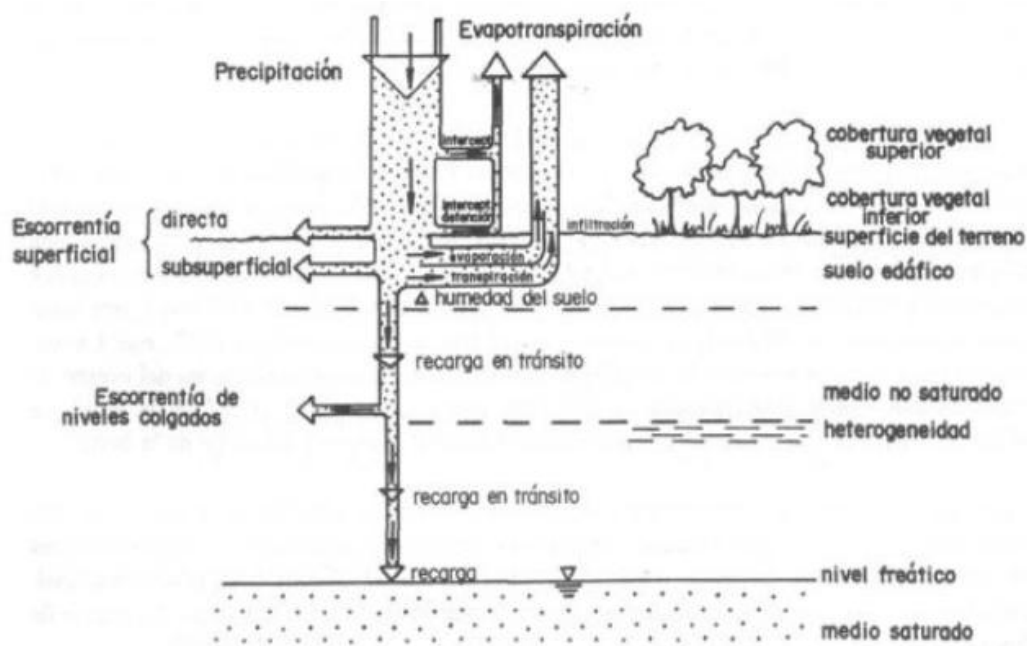


Figura 1.1: Distribución del aporte pluviométrico en sus diferentes componentes
FUENTE: ANA, 2010

Las formas de recarga natural a los acuíferos son por agua de lluvia, por aguas superficiales y por transferencia entre acuíferos. Se distinguen dos tipos de recarga natural: directa e indirecta. La recarga directa se define como el agua que se une a la reserva de agua subterránea por percolación vertical directa de la precipitación, a través de la zona no saturada procedente de los excedentes de humedad en el suelo y de la evapotranspiración. Por otro lado, la recarga indirecta es el resultado de la percolación hasta la superficie freática de la escorrentía superficial y de la localizada en depresiones topográficas como zonas estancadas, lagunas, etc. Cabe mencionar, que existen otros tipos de clasificación dados por otros autores.

b. Recarga artificial inducida

Consiste en provocar un gradiente hidráulico entre los niveles de agua superficial y subterránea, para atraer el agua del río hacia el acuífero, lo cual se logra a través del bombeo de pozos de extracción-recarga situados en proximidades del lecho del río. Para el funcionamiento de este sistema, es necesaria la existencia de una adecuada conexión hidráulica entre el río y la napa del acuífero, lo cual se presenta cuando existe agua en el lecho del río y el nivel de la napa se encuentre próximo al fondo del lecho del río. En períodos de sequía y/o estiaje, no existe conexión hidráulica ni recarga inducida. Cuando el nivel de la napa se encuentra muy por debajo del lecho del río, aun en períodos de avenidas, no existe conexión hidráulica directa entre la napa del acuífero y la masa de agua del río, por lo que la conexión se produce con las filtraciones que se dan debajo del lecho del río. En este caso, la recarga inducida tiene menor efectividad que en el caso anterior, pudiendo ser nulo si la distancia entre el lecho del río y el nivel de la napa es demasiado grande. Es importante recordar que, en un programa de recarga artificial inducida, los pozos deben funcionar únicamente en períodos de avenidas.

c. Recarga mediante riego agrícola y otras actividades

Burns (2009) cita al acuífero de la cuenca del río Tula en México con un ejemplo de la efectividad de recarga mediante el riego agrícola. También menciona que en las zonas urbanas, es importante mantener e implementar infraestructura de riego para garantizar la recarga a futuro del acuífero.

Según Custodio(1997) y otros autores, la recarga de un acuífero puede darse producto de actividades como la irrigación, fugas en las redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos. Asimismo, Lerner (1990) propone el tipo de recarga por retorno de riegos, que se refiere al exceso de estos o a las pérdidas en canales de distribución. Por otro lado, Vélez (2004) menciona que se presenta recarga directa al acuífero por medio del riego de parques y jardines, complementándose con la recarga localizada a lo largo de los lados de calles y vías donde no existe un drenaje de aguas de lluvias u otras actividades que generen aniego. En palabras de Vélez (2004), “la urbanización introduce nuevas fuentes de recarga al acuífero, tales como goteo de tanques sépticos y de alcantarillas, recarga proveniente de efluentes, irrigación de jardines, etc.”. De forma general, es posible identificar las fuentes de recarga en zonas urbanas mediante tres métodos: piezometría (niveles piezométricos), trazadores químicos (concentración de solutos en el agua) y

realizar un balance hídrico del agua en el suelo. Según Ortuño (2007), para realizar un balance del agua en el suelo, se requiere calcular la infiltración, a través de datos meteorológicos, y las propiedades del suelo, para luego estimar la evapotranspiración con dichos datos. Cuando ya se conocen los datos de infiltración, evapotranspiración y la capacidad de retención de agua en el suelo, se puede calcular la recarga del acuífero.

Estudios realizados por Quiroz, et al. (2011) concluyen que, en el caso de calcularse la recarga del acuífero por precipitaciones, los valores varían entre 9 y 21 por ciento del total de la precipitación, con un valor medio total de 14 por ciento.

Asimismo, es preciso mencionar que en las metodologías descritas, la textura del suelo es un parámetro importante que debe considerarse, ya que puede incrementar o disminuir el valor de la conductividad hidráulica, tal como se aprecia en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4: Valores de conductividad hidráulica en función a la textura del suelo

Textura del suelo	Conductividad Hidráulica (m/día)
Arcillosa	<0.1
Limosa	0.2
Limo-arenosa	0.3
Arena limosa	0.5
Arena fina	1
Arena media	5
Arena gruesa	>10

FUENTE: Bouwer, 2002

2.2.2 PROYECTOS DE RECARGA DESARROLLADOS EN EL ACUÍFERO RÍMAC

a. Proyecto piloto de recarga artificial inducida en el acuífero Rímac (Sedapal)

En la década de los 90, el volumen de recarga natural del acuífero Rímac era inferior a lo que se explotaba diariamente (Sedapal, 1997), por lo que Sedapal emprendió diversos proyectos con el fin de recuperar progresivamente las reservas de agua subterránea. Estos proyectos (vigentes actualmente), se basaron en cuatro aspectos:

- Realizar una recarga artificial inducida en el valle del Rímac.
- Usar de forma conjunta las fuentes de agua superficial y subterránea.

- Restringir la explotación de aguas subterráneas.
- Reemplazar fuentes de aguas subterráneas por superficiales, principalmente en áreas críticas donde existen problemas de sobreexplotación y/o deterioro de su calidad.

Recarga artificial inducida en el acuífero Rímac

Este tipo de recarga consiste en inducir un gradiente hidráulico entre los niveles de agua superficial y subterránea para atraer el agua del río hacia el acuífero, lo cual se logra a través del bombeo de pozos de extracción-recarga situados en las proximidades del lecho del río.

La recarga artificial inducida del acuífero Rímac, se realizó en un tramo experimental de seis kilómetros, ubicado entre La Atarjea y el puente Huachipa. Se construyó e implementó pozos en el lecho del río con el objetivo de extraer agua para su aprovechamiento y propiciar las condiciones necesarias de vaciado parcial del acuífero, dando lugar al incremento del gradiente hidráulico entre el río y el nivel piezométrico. Este procedimiento buscó tener la inmediata realimentación del acuífero sin que las reservas existentes se vean afectadas. También, se buscó aprovechar los 400 hm³ que se pierden anualmente en épocas de lluvia (Sedapal, 2009) producto del excedente de agua de escorrentía superficial que fluyen hacia el mar.

Implementación del proyecto piloto

Para llevar a cabo la recarga artificial del acuífero, se implementaron las siguientes estructuras:

- Pantallas transversales: con el fin de mejorar la distribución del flujo superficial e incrementar la capacidad de infiltración, se construyeron 60 pantallas transversales a su eje, de 1.20 m de ancho. Estas se colocaron a 3 y 3.5 m de profundidad, separadas por 100 m entre sí.
- Pozos de extracción-recarga: se construyeron 30 pozos tubulares, de los cuales 12 se localizaron en la margen izquierda del río, separados entre sí a 300 m, en dos líneas de seis pozos cada una; siendo su capacidad productiva equivalente a 550 l/s. Los 18 pozos restantes se ubicaron en la margen derecha y también se encuentran separados entre sí a 300 m, con una capacidad productiva de 910 l/s.

- Pozos de monitoreo: se construyeron 19 pozos de 50 a 100 m de profundidad y 8” de diámetro, con el fin de realizar mediciones del nivel freático manualmente y con limnígrafos (mecánicos y electrónicos), así como tomar muestras de agua para analizar su calidad. También se realizó pruebas de acuífero para determinar parámetros hidráulicos, evaluar el comportamiento del nivel freático cuando se expone a diferentes condiciones de extracción-recarga y determinar volúmenes de recarga.

Monitoreo y evaluación

Para evaluar y monitorear la efectividad del proyecto, se realizó lo siguiente:

- Construcción de 19 piezómetros de 50 a 100 m de profundidad y 8” de diámetro, para realizar controles piezométricos, analizar la calidad del agua y determinar parámetros hidráulicos a través de pruebas de bombeo.
- Evaluación de las condiciones hidrogeológicas, lo cual abarca la definición de los factores involucrados en la alimentación y circulación de aguas subterráneas, así como también en la variación de sus reservas.
- Monitoreo del comportamiento del nivel freático en 19 piezómetros y otros pozos representativos.
- Pruebas de acuífero, con el fin de determinar parámetros hidráulicos del acuífero.
- Pruebas de rendimiento en los 30 pozos de extracción-recarga de proyecto piloto.
- Análisis y muestreo de la calidad del recurso hídrico.

Finalmente, el volumen de agua que se logró almacenar se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$V = A * \Delta h * S$$

Donde:

V (m³) = Volumen recargado

A (m²) = Área de influencia de recarga, o largo por ancho: $l * a$

Δh (m) = Recuperación del nivel de la napa

S (%) = Coeficiente de almacenamiento: 15 por ciento (determinado en base a la prueba de acuífero realizado en el pozo 459 y su piezómetro Pz-1).

Evolución del nivel freático

A marzo de 1995, el nivel freático se encontraba a siete metros de profundidad, a partir del cual se podía observar un descenso ocasionado por la disminución de la alimentación del río y por el inicio progresivo de la operación de 18 pozos de extracción-recarga en la margen derecha, pertenecientes al proyecto de recarga artificial de Sedapal. A diciembre de 1995, el nivel freático descendió hasta los 12 m de profundidad, seguido por un comportamiento cíclico compuesto por ascensos y descensos del nivel freático, los mismos que coincidieron de forma aproximada con las épocas de avenida y estiaje del río Rímac, fuente principal de alimentación del acuífero. De la misma manera, se observaron descargas máximas y mínimas similares entre 1995 y 1997, las mismas que se incrementaron entre 1998 y 1999. Por otro lado, en los períodos mencionados, el nivel freático alcanzó una recuperación máxima equivalente a ocho metros de profundidad, incrementándose en el año siguiente.

De forma general, se pudo observar que las mayores variaciones del nivel freático se producen en la margen izquierda del río Rímac, donde se ubica la mayor concentración de pozos de extracción-recarga (12 pozos). Por el contrario, las menores variaciones se producen en la margen derecha, lugar donde los 18 pozos restantes del proyecto se ubican en una sola línea.

Resultados obtenidos

Como resultado se obtuvo que, entre octubre de 1998 y marzo de 1999, el volumen de agua recargado en el área de influencia del proyecto fue, aproximadamente, 4.12 hm³, con lo que se obtuvo la máxima recuperación del nivel freático. Esta cifra a su vez equivale al 33 por ciento del volumen de agua (12.3 hm³) extraído del acuífero a través de los 30 pozos de extracción-recarga, en el mismo período.

Situación actual del proyecto

Actualmente, el 70 por ciento de las pantallas de infiltración implementadas se encuentran cubiertas por material detrítico de colmatación, pudiéndose apreciar arenas, gravas y cantos rodados. En época de avenidas, la situación se agrava debido a las partículas y/o fragmentos

de arrastre (de hasta 30 cm) que trae el agua del río, deteriorando aun más las pantallas. Durante las épocas de lluvia, el material flotante y de arrastre (troncos, cañas, piedras, etc.) llenaban las instalaciones, por lo que ante esta situación Sedapal realizaba cada cuatro años una limpieza del cauce, lo que generaba elevados costos de mantenimiento. En consecuencia, el proyecto se suspendió en el 2009 (Seifert, 2009), debido a razones presupuestarias, ya que no estaban en la capacidad de afrontar los 100 dólares por hora que demandaba el alquiler de la maquinaria para limpiar las pozas. Por otro lado, hasta el 2009, aún continuaba un problema legal por los terrenos aledaños, situación que habría impedido completar los kilómetros restantes necesarios para la continuidad del proyecto (al 2009, sólo se habían implementado 6 de los 22 km que comprende el proyecto).

Sin embargo, a pesar de los problemas que se presentaron, personal de Sedapal manifestó estar convencido de que el proyecto sería una buena alternativa a los problemas presentados, ya que resulta menos costoso y conflictivo que el trasvase de aguas de una cuenca hacia otra.

En la figura 2.1 se muestra la extracción de las aguas subterráneas con pozos de Sedapal, y la variación del nivel freático en el pozo representativo P-156, Zárata 3. Asimismo, la figura 2.2 muestra los resultados obtenidos con las medidas tomadas para contrarrestar la sobreexplotación del acuífero Lima al 2006, y el comportamiento del nivel freático en el acuífero de Lima Metropolitana.

b. Estudio de evaluación del acuífero de Lima Metropolitana y medidas implementadas para contrarrestar la sobreexplotación (2002)

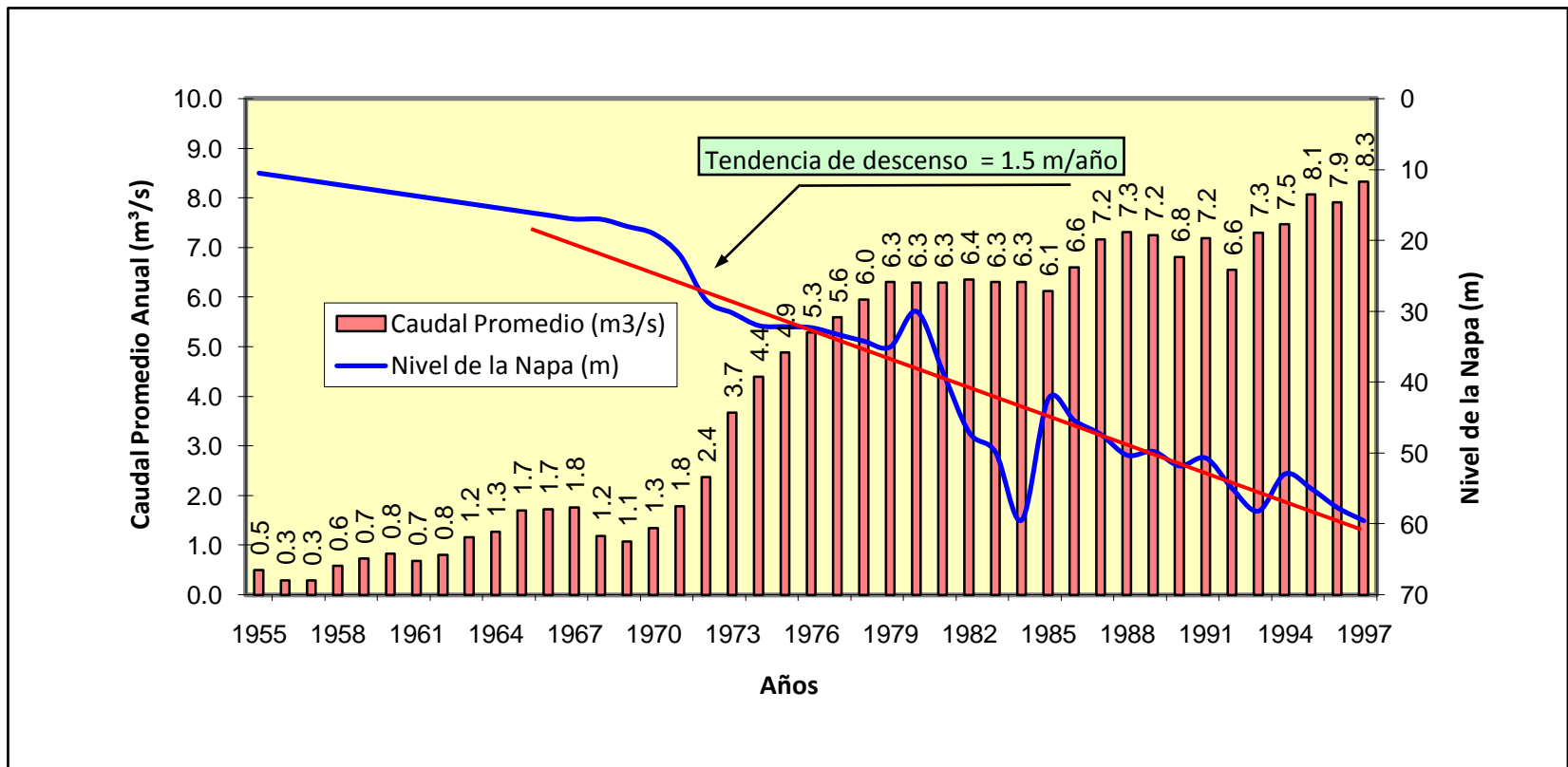
Según Quintana y Tovar (2002), la creciente demanda de agua en la ciudad de Lima Metropolitana, ocasionada por el cambio de uso de la tierra de agrícola a urbana, y la escasa disponibilidad de agua superficial hicieron que la extracción de agua subterránea se incrementara, alcanzando la sobreexplotación en 1997, con un caudal de extracción igual a 12.4 m³/s, cifra mucho mayor a la que se explotaba en 1955 (menos de 1 m³/s). El nuevo caudal extraído correspondía mayormente a los pozos administrados por Sedapal (9 m³/s) y el resto a pozos de empresas industriales y de particulares.

Para contrarrestar la sobreexplotación del acuífero Lima y estabilizar el desequilibrio del nivel freático, Sedapal desarrolló diversos proyectos que se describen a continuación:

- Micromedición: se basa principalmente en el uso racional del agua. Hasta 1997, el sistema de facturación de Sedapal, por el abastecimiento de agua potable en Lima, consistía en sectorizar a toda la ciudad y luego asignarle un valor determinado de acuerdo a la zona y a la categoría a la que pertenecían. Sin embargo, este sistema no permitía conocer el volumen real de agua que se estaba abasteciendo ni la cantidad de dinero que Sedapal dejaba de facturar.

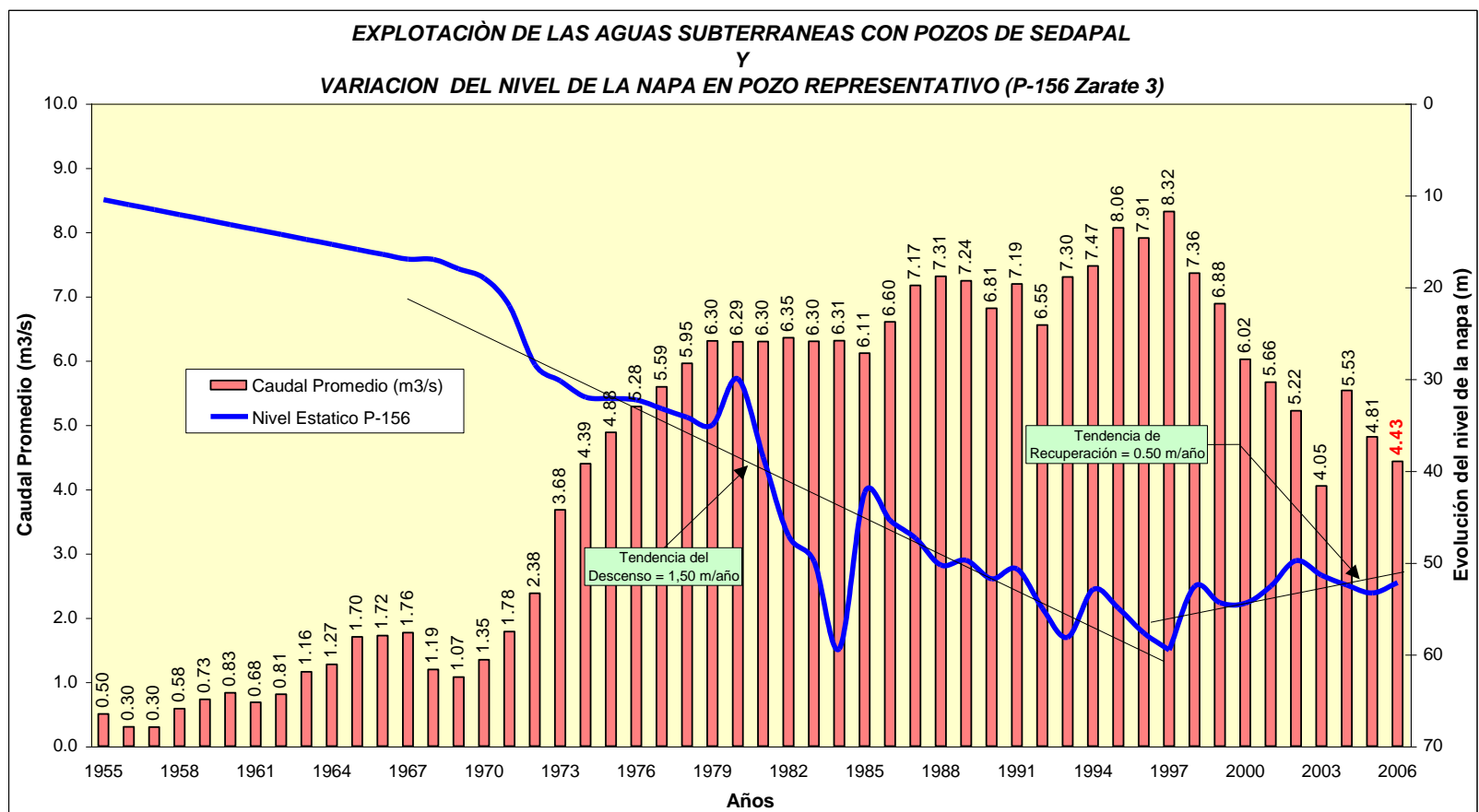
Por tal motivo, a partir de 1997 se instauró el proyecto de micromedición, implementando 700 mil medidores de agua en los domicilios de la ciudad, siendo el distrito de Surquillo la zona donde se inició el proyecto. Hacia agosto del 2001, alrededor de 662 mil medidores ya se encontraban instalados. Gracias a esta medida, se logró recuperar volúmenes importantes de agua, con un caudal de 5 m³/s, cifra que los usuarios de agua potable desperdiciaban en acciones innecesarias como regar pistas, veredas, etc.

El proyecto de micromedición permitió obtener grandes beneficios, tales como un mayor almacenamiento de agua en las redes de distribución, lo que mejoraba las presiones y horarios de abastecimiento (abastecimiento las 24 horas del día) y beneficiaba a las personas que habitaban en edificios altos, debido a que el agua alcanzaba una cota mayor. Un ejemplo práctico es el caso de Surquillo, donde se analizó una muestra de 3700 conexiones domiciliarias. En los primeros meses de instalado el proyecto, se registraron consumos entre 100 y 150 m³ mensuales, cifras que luego se redujeron a un promedio de 36 m³.



Extracción total incluyendo pozos particulares (m³/s)	
Pozos de Sedapal	8.32
Galerías de Sedapal	0.12
Pozos de terceros (fuentes propias, industriales, comerciales, etc.)	3.94
TOTAL	12.38

Figura 2.1: Variación del caudal de explotación del agua subterránea y nivel de agua (Período 1955 – 1997)
 FUENTE: Ruiz Valles, 2007



FUENTES	RIMAC - CHILLON	LURIN	TOTAL
Pozos SEDAPAL + Proy. Chillón	4.22	0.21	4.43
Galerías Filtrantes SEDAPAL	0	--	0
Pozos Particulares (Terceros + Fte Propia)	2.97	0.19	3.16
TOTAL	7.19	0.40	7.59

Figura 2.2: Explotación de las aguas subterráneas con pozos de Sedapal
FUENTE: Ruiz Valles, 2007

- Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas: la utilización de ambos tipos de fuentes de agua, contribuye a que principalmente durante épocas de avenida (de enero a marzo) se suspenda temporalmente la extracción de agua subterránea. Con el fin de implementar esta medida, se amplió las redes de distribución primaria y secundaria, priorizando los sectores críticos, hasta donde debe llegar el abastecimiento de agua proveniente de la planta de La Atarjea. Al 2002, los sistemas de uso conjuntivo se encontraban en los distritos de La Molina, Los Olivos, San Borja, San Miguel y Surco, dando como resultado la paralización de 123 pozos de extracción de agua subterránea, permitiendo ahorrar 3 m³/s de este recurso. Así también, se obtuvo un ahorro en el costo de operación y mantenimiento de los pozos. De esta manera, en el distrito de San Miguel se obtuvo un rápido incremento del nivel freático en el acuífero Rímac, luego de haber paralizado algunos pozos tubulares (Sedapal, 2002).

- Reemplazo parcial de fuentes de aguas subterráneas por superficiales: el “Plan maestro de agua potable y alcantarillado” elaborado por Sedapal con una proyección hasta el 2030, manifestó que la explotación de las aguas subterráneas debería disminuir significativamente de 12.4 m³/s (cifra registrada en 1997) a 8 m³/s en el 2001, esto como consecuencia del incremento de la disponibilidad de agua superficial, producto de distintos proyectos implementados progresivamente por Sedapal.

Resultados obtenidos y recomendaciones:

Según Ruiz Valles (2007), se logró disminuir en 3.89 m³/s la explotación de las aguas subterráneas (período 1998-2006), en los pozos de Sedapal. Esta disminución propició importantes incrementos del nivel freático, especialmente en los sectores donde se utiliza en forma conjunta las aguas superficiales y subterráneas. Así, se recuperó el nivel freático en la mayor parte del acuífero, en un rango de 1 a 15 m, a razón de 0.25 a 3.75 m/año, aproximadamente. En algunos distritos, sin embargo, existen algunas zonas con tendencia al descenso del nivel freático. Por ejemplo, en el caso de Ate, este descenso se presenta en un rango de 1.3 a 2.5 m/año. Asimismo, se logró detener el riesgo de intrusión marina al acuífero en los distritos de San Miguel y Callao, esto debido al incremento del nivel freático y a la disminución de la explotación de aguas subterráneas.

De pronósticos realizados y presentación de escenarios reales sobre el comportamiento de las aguas subterráneas en los acuíferos Rímac y Chillón, se confirmó la recomendación de no exceder los 8 m³/s de extracción, y de preferencia, mantener el caudal explotado dentro del rendimiento seguro de 6 m³/s. Del mismo modo, Quintana, et al. (2002) sugiere que si se busca alcanzar el caudal de rendimiento seguro, es imperativo considerar el reemplazo parcial de fuentes de agua subterránea por agua superficial. Sin embargo, de ser necesario extraer un mayor caudal, por ejemplo, en épocas de extrema sequía, se debe tener en cuenta que el valor incrementado deberá ser estrictamente temporal y siempre inferior a la cifra crítica registrada en 1997, 12.38 m³/s.

2.3 USO SOSTENIBLE DELAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las aguas subterráneas tienen una gran importancia en el mantenimiento de los equilibrios ambientales. Son elementos fundamentales en los aportes hídricos a los humedales, lagunas y otros entornos naturales; suministran caudales imprescindibles para el abastecimiento de muchas poblaciones e industrias, así como a extensas áreas de riego de alta productividad. El uso sostenible del agua subterránea debe estar basado en la protección a largo plazo de los recursos hídricos disponibles, y en la prevención del deterioro del estado actual de las masas de agua (Fernández,2002).

En el Perú, las aguas subterráneas aún no tienen un manejo adecuado. El mal uso de este recurso puede desencadenar un estado de sobreexplotación, y en caso contrario, un mal drenaje podría devenir en la sobresaturación de los suelos, produciéndose inundaciones por la elevación del nivel freático por encima de la superficie de los suelos cultivados, entre otros (ANA, 2009).

El Área de Hidrogeología del Instituto Geológico y Minero de España (2003), afirma que para utilizar las aguas subterráneas de forma sostenible, la extracción del acuífero no debe rebasar los recursos disponibles. En este aspecto, debe considerarse que la definición de recursos disponibles hace referencia al valor medio interanual de la tasa de recarga total de la masa de agua subterránea, menos el flujo interanual medio requerido para conseguir los objetivos de calidad ecológica para el agua superficial asociada, para así evitar cualquier daño significativo a los ecosistemas terrestres asociados. De esta manera, el límite explotable de un acuífero ya

no se sitúa en su tasa de renovación, sino en que debe tener en cuenta los flujos salientes, necesarios para mantener en buen estado las aguas superficiales y los ecosistemas asociados al acuífero. También, es importante considerar la toma de medidas de protección y control para prevenir deterioros del estado del acuífero. Entre ellas, se menciona la implantación de perímetros de protección en las masas de agua subterránea utilizables para la captación de agua potable, el control de las captaciones de agua subterránea, el control de operaciones de recarga artificial, la prohibición de vertimientos directos contaminantes al recurso hídrico, establecimiento de programas de seguimiento del estado de las masas de agua subterránea (estado cuantitativo, químico, etc.).

2.4 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA MEDIANTE LA METODOLOGÍA DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

Con el propósito de determinar la recarga potencial que puede producirse en un acuífero, Schosinsky (2007) desarrolló una metodología que consiste en realizar un balance hídrico de suelos, en donde se busca calcular el volumen de agua que potencialmente recargará el acuífero. Una de las ventajas de esta metodología es que considera varias variables que influyen en la recarga, tales como la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos y sus características, la cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración, uso del suelo y pendiente del terreno. Por otro lado, el estudio del balance hídrico de suelos se fundamenta en el principio de conservación de la materia. Esto quiere decir que el volumen de agua que ingresa al suelo, equivale al volumen que se almacena más el agua que sale de él. Esta metodología se planteó, debido a la necesidad de conocer el potencial de aguas subterráneas que puede ser explotado.

En Centroamérica, existen varias regiones en las que la principal fuente de abastecimiento del recurso hídrico, son los pozos de explotación de aguas subterráneas. Asimismo, el clima característico de estas zonas con una alta precipitación anual, favorece la recarga de los acuíferos.

Asimismo, el “Reglamento de metodologías hidrogeológicas para la evaluación del recurso hídrico”, aprobado mediante el Acuerdo 60 – 2012 por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica, instituyó oficialmente el uso de la metodología del balance hídrico de suelos en este país. En el capítulo 3 de este Reglamento, se menciona que

para elaborar un balance hídrico de aguas subterráneas, se debe utilizar la metodología del balance de humedad de suelos, que fue desarrollado por Schosinsky (2007), que combina el método de precipitación que infiltra y el balance de humedad del suelo, al que dicho Reglamento define como la cantidad de agua que cede el suelo saturado como recarga al acuífero.

Para la aplicación de la metodología del balance hídrico de suelos, se debe considerar lo siguiente: (a) delimitación de la cuenca hidrogeológica o la hidrológica para los casos en que coincidan, (b) precipitación promedio mensual, (c) evapotranspiración y (d) tipo de suelo, según su clase textural, pendiente, capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente, profundidad de raíces de los cultivos presentes en la zona donde se aplique la metodología.

La metodología propuesta por Schosinsky (2007) considera como primer paso evaluar la infiltración de la lluvia que ingresa al suelo. Para ello, se determina la precipitación mensual, la infiltración básica del suelo, la cobertura vegetal y la pendiente. Seguidamente, a fin de poder realizar el balance hídrico de suelos, se determina la profundidad de raíces de los cultivos, la capacidad de campo, el punto de marchitez, la evapotranspiración y la humedad del suelo al inicio del análisis.

Para determinar los coeficientes de infiltración, Schosinsky (2007) consideró lo planteado en el “Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos” desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas, y con la contribución de los gobiernos de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Costa Rica. Asimismo, analizó los índices de escurrimiento sugeridos por Ven Te Chow (1994).

2.4.1 CASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Se ha encontrado casos de la aplicación de la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por Schosinsky (2007), principalmente en acuíferos de Centroamérica y El Caribe, los que se describen a continuación.

a. Acuíferos Sarchí, Agualote, Rosales y sector occidental. Cantón de Grecia, provincia de Alajuela, Costa Rica

Ramírez et al. (2008) consideró los datos de las estaciones meteorológicas existentes en el área del cantón, y los coeficientes de infiltración básica de los materiales de origen volcánico que forman parte de la cobertura de los acuíferos de la zona. Con esta información, se elaboró cuatro balances hídricos de suelos a fin de estimar la recarga potencial de los acuíferos de las cuencas de los ríos Sarchí, Agualote, Rosales y del sector occidental del cantón de Grecia.

De los resultados obtenidos se observa que durante los meses más lluviosos, se da la máxima recarga potencial (setiembre). Los valores de temperatura media se encontraron entre 21.9 °C (diciembre) y 24.4 °C (abril) para el 2007. El porcentaje de horas de sol mensual se calculó alrededor de 8 y 9 por ciento. La evapotranspiración oscila entre 145.3 y 164.7 mm/mes.

Para el cálculo de la recarga potencial se empleó la metodología del balance hídrico de suelos presentada por Schosinsky (2007). Se elaboró mapas de precipitación y modelos de infiltración por lluvia mediante Sistemas de Información Geográfica, a fin de mostrar la precipitación que infiltra en las áreas de estudio. Para determinar la densidad de los suelos (DS), el coeficiente de infiltración básica (fc) promedio es de 1087.73 mm/día, el coeficiente de infiltración por textura del suelo (K_{fc}) promedio es de 0.97631 y la densidad promedio es de 2.61 g/cm³, debido al predominio de tobas líticas, cineríticas, pumíticas, etc. como parte del suelo, que es de origen volcánico. Para determinar el factor de pendiente (K_p), se realizaron mediciones en campo y se complementó la información con mapas de pendiente de la zona, obteniéndose un K_p promedio de 0.125 para el sector occidental y las cuencas de los ríos Rosales y Agualote; y un K_p promedio de 0.105 para la cuenca del río Sarchí. En cuanto al factor de vegetación, se obtuvo un valor promedio de 0.17, dado que en la zona de estudio existen más terrenos cultivados con pasto búfalo (zacate). Asimismo, la profundidad de raíces promedio para los cultivos existentes en la zona es de 200 centímetros, y se estima un 12 por ciento de lluvia interceptada por el follaje.

Seguidamente, se determinó los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez, considerando la textura del suelo. Asimismo, se calculó la humedad disponible esperada, la que equivale a la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitez, como se

observa en el Cuadro 2.5. Para determinar la humedad de suelo inicial (HSi), se tomó el valor de la capacidad de campo.

Cuadro 2.5: Valores de capacidad de campo, punto de marchitez y rango de agua disponible

Área evaluada	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitez (PM)	Humedad disponible	
			(CC-PM)	
			(% peso)	(mm)
Cuenca río Sarchí	20.88%	9.46%	11.42%	605.26
Cuenca río Agualote	21.28%	9.64%	11.64%	605.28
Cuenca río Rosales	21.70%	9.83%	11.87%	605.37
Sector occidental de Grecia	21.20%	9.60%	11.60%	605.52

FUENTE: Ramírez S., et al, 2008

Finalmente, los resultados de recarga potencial a los acuíferos presentes en el área de estudio se muestran en el Cuadro 2.6.

Cuadro 2.6: Volumen de recarga potencial obtenido

Área evaluada	Área (km ²)	Recarga potencial (mm/año)	Volumen (m ³ /año)
Cuenca río Sarchí	47.08	520.99	24,528,209.20
Cuenca río Agualote	7.46	520.98	3,886,510.80
Cuenca río Rosales	55.49	520.96	28,908,070.40
Sector occidental de Grecia	142.13	520.91	74,036,938.30

FUENTE: Ramírez S., et al, 2008

b. Acuífero Guara. Cuenca Guara, Cuba

Para determinar la recarga potencial del acuífero Guara, Rodríguez y Pérez (2014) aplicaron la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por Schosinsky (2007) y un Sistema de Información Geográfica (SIG) para identificar las áreas de recarga en un mapa. De esta manera, se generaron mapas digitales para representar el tipo de suelo, pendiente, cobertura vegetal y precipitación en la zona de estudio. Al superponer los mapas, se identificaron 29 polígonos biofísicos, que son áreas con los mismos valores de evapotranspiración potencial, humedad inicial, retención de humedad del suelo (capacidad de campo y punto de marchitez permanente), densidad aparente, infiltración básica del suelo, intercepción de la lluvia y

profundidad de raíces del cultivo, datos necesarios para la aplicación de la metodología de Schosinsky (2007). El acuífero Guara es libre y se encuentra enmarcado en una llanura cársica.

Para el caso del acuífero Guara, la única fuente de alimentación de recarga es la precipitación. Asimismo, conocer la recarga potencial del acuífero e identificar las áreas de mayor aporte en la cuenca, se convierte en algo indispensable para realizar una adecuada gestión ambiental. Cuba es un país netamente agrícola, por lo que la adecuada gestión del recurso hídrico es de vital importancia para el desarrollo económico y social del país. Por otro lado, en Cuba se emplea la metodología del balance hídrico para el control del uso de las aguas superficiales y subterráneas, lo que está especificado en el instrumento de planificación conocido como el Plan de Uso de las Aguas (PUA).

La metodología propuesta por Schosinsky (2007) fue adaptada a las condiciones cubanas, respecto a los coeficientes por textura del suelo y cobertura vegetal. Los pasos seguidos en su aplicación fueron los siguientes: caracterización general de la cuenca, determinación de rangos de pendientes, identificación de la distribución de precipitaciones, cálculo de la evapotranspiración, reconocimiento de la cobertura vegetal, determinación del tipo de suelo y sus propiedades físicas, determinación de los polígonos biofísicos, aplicación de la ecuación del balance en cada uno de los polígonos identificados y cálculo de la recarga potencial. En la zona de recarga predominan los pastos, y la mayoría de los suelos son de textura arcillosa.

Como resultado se obtuvo que en el acuífero Guara se recarga $79\,009.35\text{ m}^3$ de agua anualmente. Este resultado fue congruente con lo obtenido por el Gráfico de Control de Balance de las Aguas Subterráneas elaborado por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Cuba. Asimismo, los autores proponen acciones para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos, considerando la variabilidad de la recarga hídrica del acuífero. Cabe resaltar que el 32 por ciento de la precipitación que cae en la cuenca, llega a ser recarga potencial al acuífero. El 15 por ciento se retiene en el follaje, el 51 por ciento evapotranspira a través de la vegetación, y el 2 por ciento se pierde por escurrimiento.

Para validar el resultado de recarga obtenido a través de la metodología de Schosinsky (2007), se comparó con el valor obtenido mediante el Gráfico de Control de Balance de las Aguas

Subterráneas (GCBAS), equivalente a 160 000.00 m³/año. Este último valor fue mayor que el primero, lo que permitió asumir que la metodología del balance hídrico de suelos arrojó un resultado confiable. Por otro lado, se estimó que el 13 por ciento del área total con cobertura vegetal presentó una alta recarga, el 27 por ciento una recarga muy alta, el 55 por ciento una recarga media, y el 5 por ciento restante, una recarga baja. Asimismo, se identificó que en el área de bosques se obtuvo una mayor recarga respecto a la obtenida en el área de pastos. Esto se debe a que los bosques retienen menos agua que los pastos.

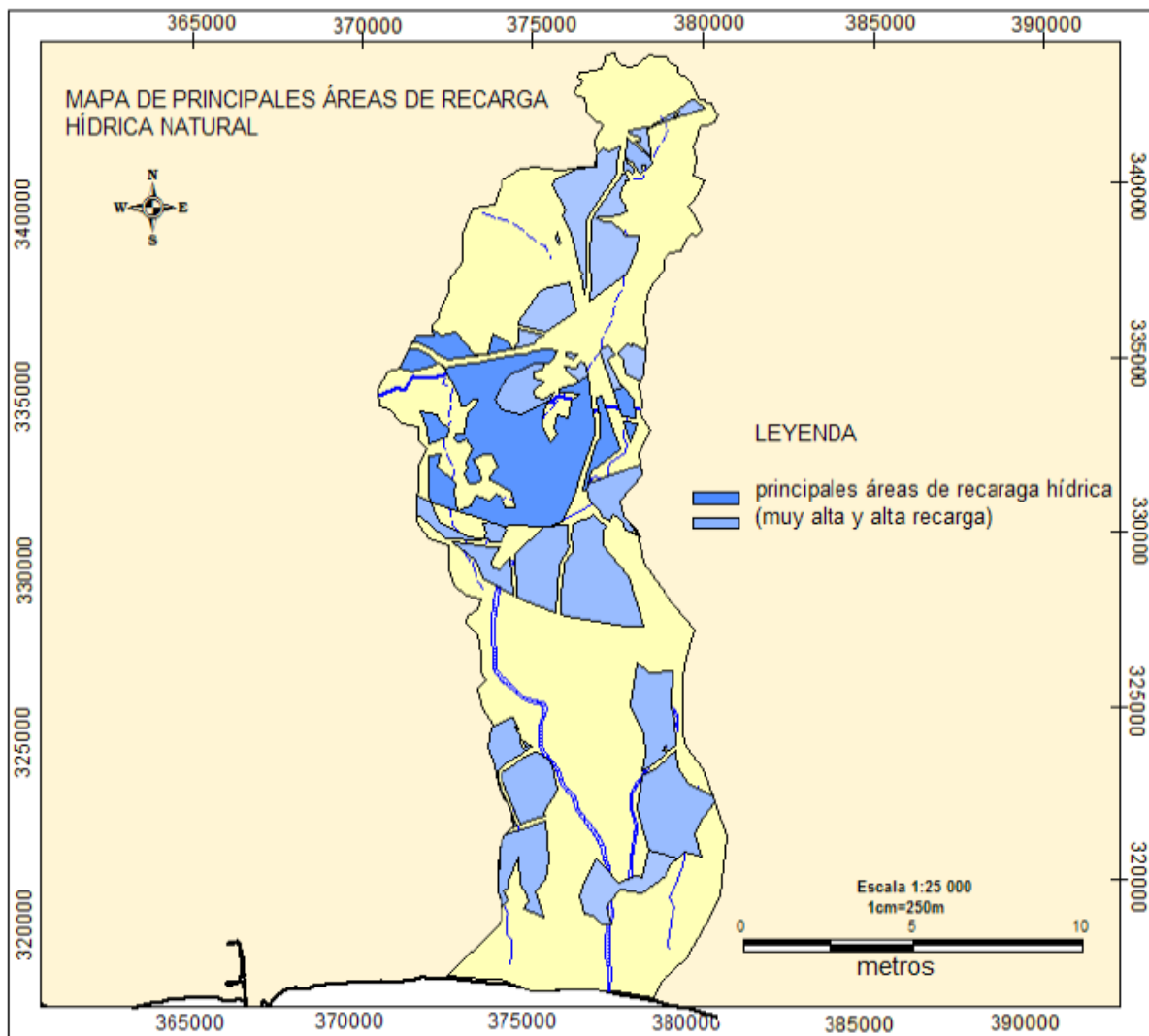


Figura 2.3: Principales áreas de recarga hídrica en la cuenca Guara, Cuba
FUENTE: Rodríguez y Pérez (2014)

En la Figura 2.3, se puede observar las principales áreas de recarga hídrica en la cuenca Guara, a partir de los polígonos biofísicos identificados por Rodríguez y Pérez (2014),

quienes afirman que la metodología de balance hídrico de suelos empleada, permite valorar a la cuenca íntegramente, pues combina variables del ciclo hidrológico, parámetros fisiográficos y efectos antrópicos. Por ello, se constituye en un instrumento valioso de trabajo para la gestión ambiental.

c. Acuífero Las Cañas. Subcuenca Las Cañas, Nicaragua

Para determinar la recarga del acuífero Las Cañas, Buitrago (2005) empleó la metodología del balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky (2007). Para tal fin, se realizaron pruebas de infiltración en un área de 32.68 km² de la subcuenca, hallándose que la tasa de infiltración básica de los suelos es muy baja, considerando que son de textura arcillosa. Por otro lado, la principal fuente de recarga del acuífero son las lluvias, que son controladas mayormente por la geología, topografía y el tipo de suelo de carácter residual y aluvial. En los suelos de la subcuenca, predomina una cobertura de pastos, y se observan ondulaciones en el terreno producto de la erosión y el tectonismo, que tienen una pendiente entre 1 y 7 por ciento. En la zona del acuífero Las Cañas no se considera las fugas en el sistema de abastecimiento y de descargas sanitarias, debido a que es una zona rural que desarrolla principalmente actividad ganadera. Como resultado se obtuvo una recarga total de 7 hm³/año, que representan el 14 por ciento del volumen de lluvia. Asimismo, la recarga fue mayor de junio a noviembre.

d. Acuíferos Pansigüís y Cushapa. Jalapa, Guatemala

En la región semiárida de Guatemala, el uso del agua subterránea es importante para el desarrollo socioeconómico de la región, debido a que frecuentemente es el único recurso hídrico disponible. Por ello, es de gran relevancia la estimación de la recarga potencial del acuífero, para lo cual Herrera y Brown (2011) emplearon la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por Schosinsky (2007), en un área de 104.84 km². Los autores consideraron la geomorfología de la zona, los factores meteorológicos y el uso actual de la tierra.

En los acuíferos Pansigüís y Cushapa, la dirección del flujo de agua subterránea es de oeste a este. La transmisividad varía de 17 a 55 m²/día, y su conductividad hidráulica varía de 0.11 a 0.4 m/día. Asimismo, presentan un coeficiente de almacenamiento de 3×10^{-4} , lo que indica que son acuíferos confinados. Se identificaron dos unidades geomorfológicas que condicionan la textura del suelo. En la primera, la unidad de la montaña de Pinula, se encuentran suelos

que han sido desarrollados a partir de materiales volcánicos, llegando a formar suelos de textura franca y franco arcillosa, con buena permeabilidad que favorece la infiltración. En la segunda unidad, la del valle de San Luis Jilotepeque, los suelos formados son de textura arcillosa a franco arcillosa, por lo que presentan una infiltración baja.

En la parte alta de la subcuenca de los acuíferos de estudio, la precipitación fue de 1137 mm/año, mientras que en la parte baja se presentaron 949.5 mm/año. Los valores de temperatura, humedad relativa, y evapotranspiración potencial son mayores en la parte baja de la subcuenca. El uso actual de la tierra en la subcuenca corresponde principalmente a matorrales y arbustos (66 por ciento).

Con el propósito de identificar los componentes del terreno, se elaboró un mapa geomorfológico a partir de fotografías aéreas y verificaciones en campo. Este mapa consideró las geoformas con topografía similar (grado de pendiente) y las características físicas del suelo: textura, estructura y profundidad efectiva. Se consideró como fuente de recarga a la precipitación que ocurre en la zona, y a la evapotranspiración como pérdida en el sistema hídrico. Para la determinación de los parámetros de capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente, se tomaron muestras de suelo y fueron analizadas en laboratorio. Para estimar la recarga hídrica se aplicó la ecuación general del balance hídrico de suelos utilizando la metodología desarrollada por Schosinsky (2007).

A partir del mapa geomorfológico generado, se determinaron 23 unidades de recarga hídrica en las que se calculó individualmente la lámina de recarga potencial. Como resultado se obtuvo un volumen de recarga en la subcuenca de 8.28 hm³/año. Considerando la categorización de los resultados de recarga hídrica formulada por Herrera (2005), se clasificó a las unidades como altas áreas de recarga hídrica, para un volumen entre 150 000 a 300 000 m³/km²; las recargas medias oscilan entre 50 000 a 150 000 m³/km²; y las recargas bajas representan volúmenes menores a 50 000 m³/km². En la Figura 2.4 se puede apreciar las áreas de recarga identificadas en la zona de estudio.

Al comparar la recarga total anual obtenida, con la explotación del acuífero (1.28 hm³/año), se tiene un balance positivo de 7 hm³/año, lo que representa un potencial hídrico subterráneo alto en la subcuenca, con un excedente que equivale al 84.5 por ciento de agua subterránea.

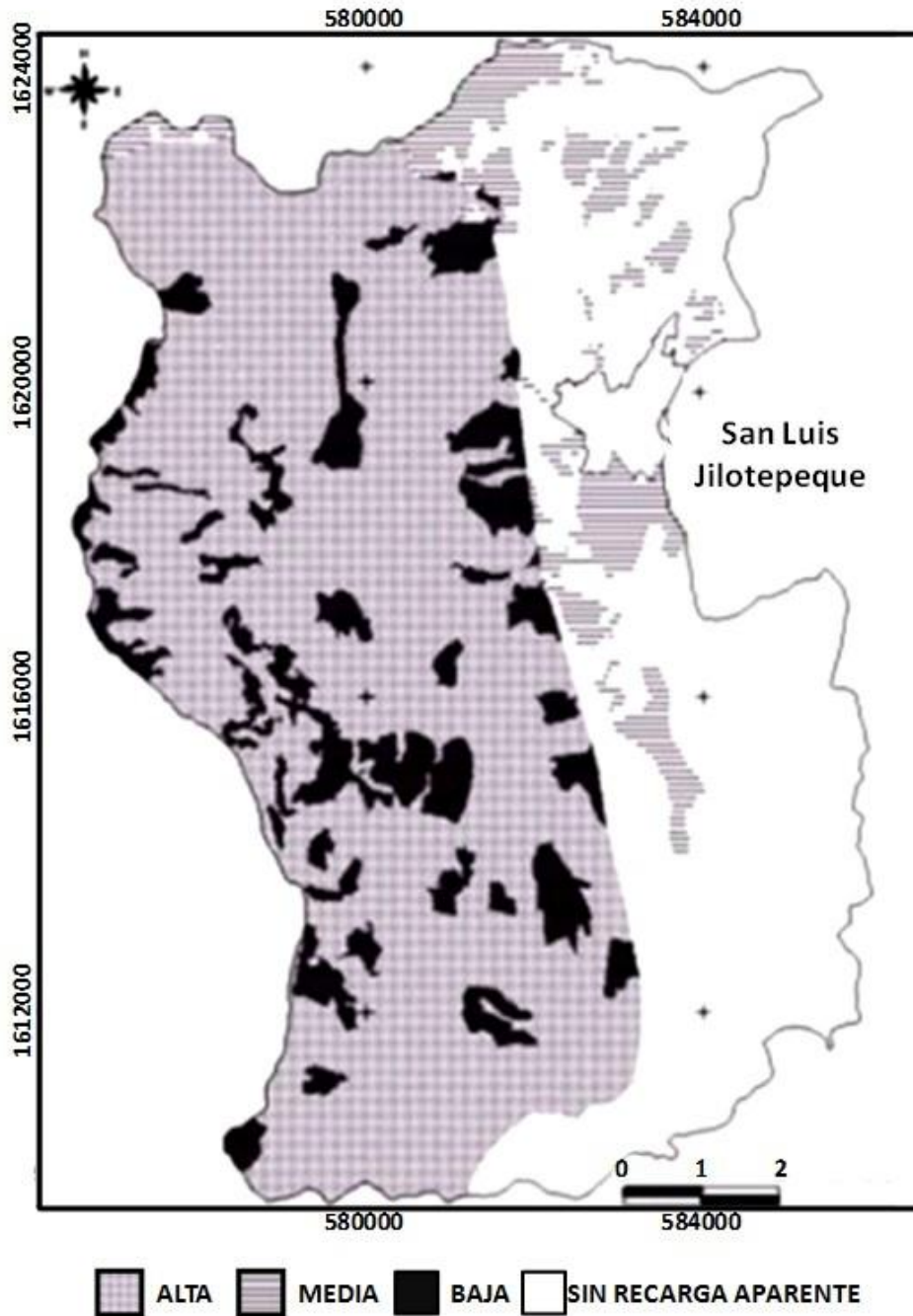


Figura 2.4: Áreas de recarga hídrica en las cuencas Pansigüís y Cushapa, Guatemala
 FUENTE: Herrera y Brown (2011)

e. Acuífero Río Frío. Área de Conservación Arenal – Huetar Norte, Costa Rica

Ramírez (2012) empleó la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por Schosinsky (2007) para calcular la recarga potencial del acuífero Río Frío en Costa Rica, a partir de la infiltración por lluvia. La cuenca del río Frío se encuentra ubicada en la zona norte de Costa Rica, y abarca un área media de 1600 km². En la zona predominan los herbazales,

que ocupan el 40.76 por ciento del área total, seguidos por los bosques que abarcan el 17.38 por ciento. Esta categorización se consideró para aplicar el método del balance hídrico de suelos.

En Costa Rica, la metodología más usada para la cuantificación de la recarga potencial de los acuíferos es la propuesta por Schosinsky (2007), la misma que se volvió de uso oficial en ese país, según el Reglamento de Metodologías Hidrogeológicas para la Evaluación del Recurso Hídrico, aprobado mediante el Acuerdo 60 – 2012 por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica.

Las variables de precipitación y temperatura se obtuvieron de los registros históricos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y el cálculo de la evapotranspiración se realizó mediante el método indirecto de Thorthwaite (1948). De forma habitual, en la cuenca del río Frío, los valores de precipitación sobrepasan los 1800 milímetros de lluvia por año. Para determinar el parámetro K_v (cobertura vegetal) y el coeficiente de retención por follaje (C_f), se consideró las categorías propuestas por Schosinsky (2007) y fotografías aéreas de la zona. Para el cálculo del parámetro K_p (pendiente) se utilizó las curvas de nivel topográficas vectorizadas del Instituto Geográfico Nacional costarricense. En el caso de los estados de retención de agua (capacidad de campo y punto de marchitez) y la densidad aparente, se tomaron muestras que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica.

Como resultado se encontraron altos valores de capacidad de campo y punto de marchitez, lo que indica la presencia de fracciones texturales arcillosas. Sin embargo, en la parte alta de la cuenca los valores de retención de agua son menores a los encontrados en las demás áreas de la cuenca, lo que es debido a la presencia de materiales litológicos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste. Considerando los diferentes cultivos de la zona, se utilizó la profundidad promedio de las raíces para el cálculo de la lámina de agua. Por otro lado, se empleó la aplicación de métodos de interpolación espacial, a fin de caracterizar la distribución espacial de las variables hidrogeológicas en la cuenca hidrográfica.

A fin de cuantificar las áreas de recarga, se definieron las zonas de balance mediante una segmentación geoespacial de la cuenca, según sus características específicas (precipitación,

pendiente y uso de la tierra). Así, se obtuvieron 11 zonas, como se observa en la Figura 2.5. Seguidamente, en cada una de ellas se aplicó la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por Schosinsky (2007).

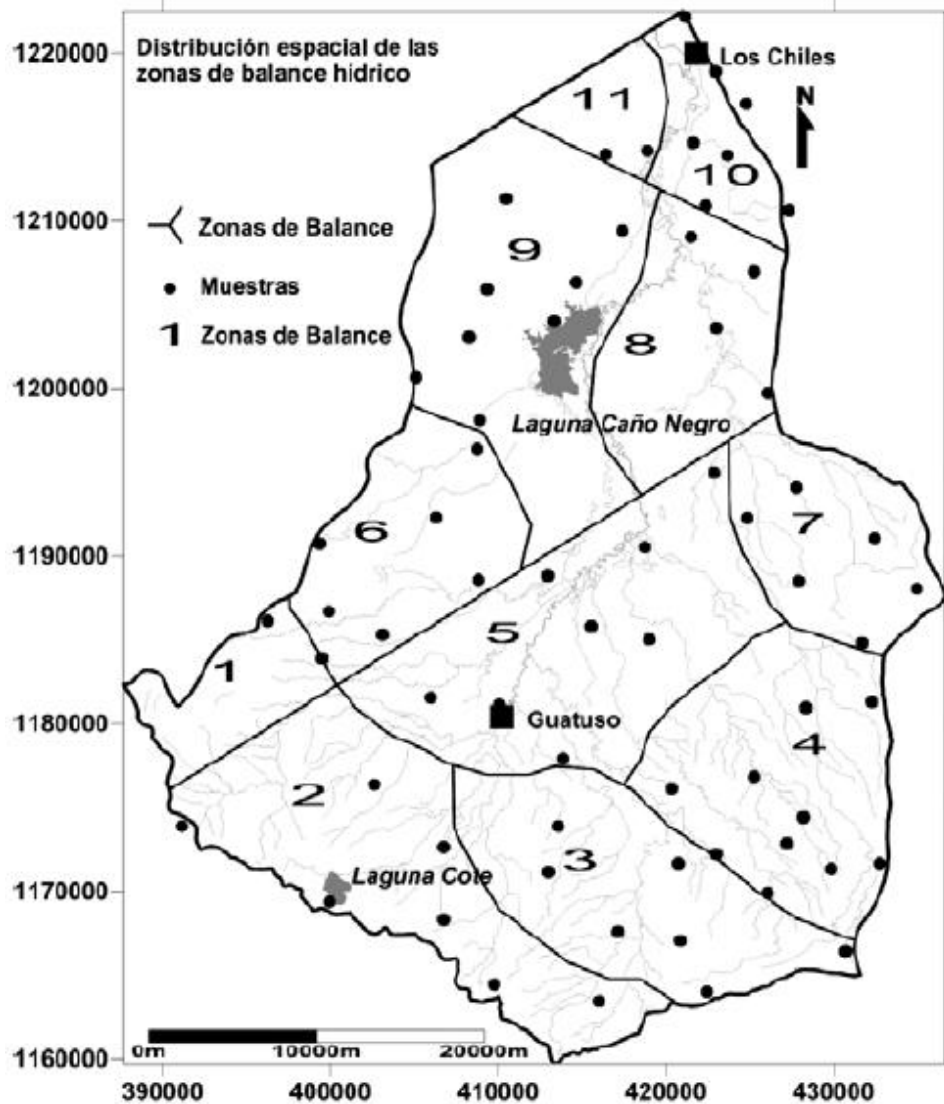


Figura 2.5: Zonas para el cómputo del balance hídrico de suelos en la cuenca del río Frío, Costa Rica

FUENTE:Ramírez (2012)

Como resultado de aplicar la metodología, se obtuvo mayores valores de recarga en el sector de la cuenca alta (entre 810.62 y 954.77 mm/año), que corresponde a una zona de bosques. Estos resultados varían de acuerdo a la zona de la cuenca, sus características hidrológicas, usos del suelo, entre otras. Los valores de recarga obtenidos oscilan entre los 115.45 a 954.77 mm/año, como se muestra en la Figura 2.6. Según Ramírez (2012), la vegetación contribuyó a

la recarga del acuífero porque interceptó el agua, disminuyendo las tasas de escorrentía e incrementando el tránsito lento desde las copas de los árboles hacia el suelo, para finalmente llegar al acuífero.

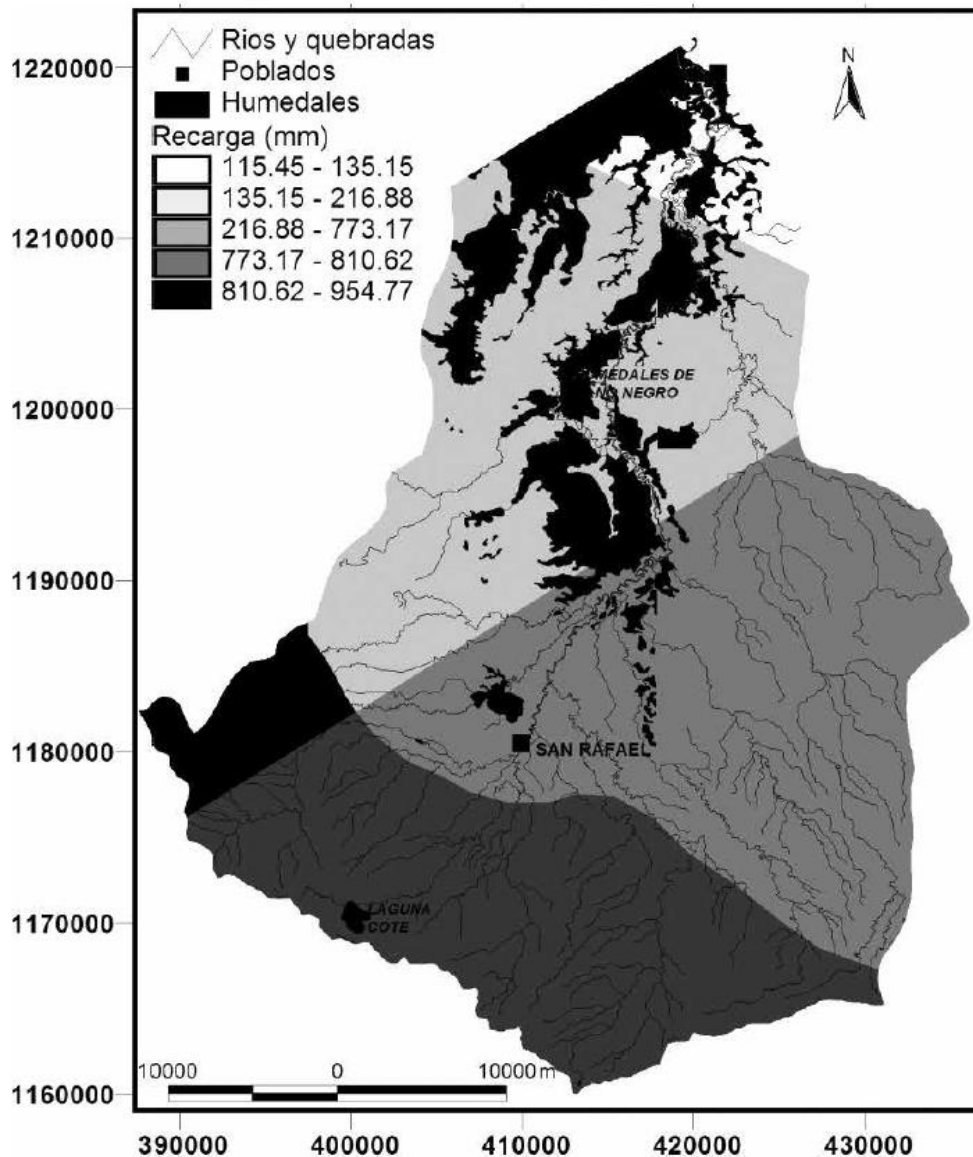


Figura 2.6: Zonas de recarga acuifera en la cuenca del Río Frío, Costa Rica
FUENTE: Ramírez (2012)

f. Acuíferos Barva y Colima. Valle Central, Costa Rica

Ramírez (2007) elaboró un estudio de la recarga potencial de los acuíferos Barva y Colima para el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) de Costa Rica. Para ello, empleó la metodología del balance hídrico de suelos propuesta por

Schosinsky (2007). En el caso de ambos acuíferos, su recarga se da principalmente por la infiltración de la lluvia.

La zona de estudio comprende 482 km². Dentro de las variables a considerar por la metodología se encuentra la precipitación, que para este caso varía de 2500 a 3500 mm/año en la parte alta, y de 1800 a 2000 mm/año en la parte baja. En cuanto a la pendiente, en la parte alta es de 40 por ciento, debido a su abrupta topografía, y en la parte media y baja, la pendiente oscila entre plana y ondulada, con un valor menor al 20 por ciento. Asimismo, se realizaron pruebas de infiltración en campo y medidas de la permeabilidad de las rocas presentes en los suelos del área de estudio. Ambos estudios demostraron la alta capacidad de infiltración del terreno, favorecido por la presencia de lavas brechosas meteorizadas que permiten la infiltración de al menos 50 mm/día.

Como resultado de la aplicación de la metodología del balance hídrico de suelos, se obtuvo una recarga de 9.72 m³/s. Este valor guarda relación con el calculado por Tahal (1990) para el mismo sistema acuífero, quien obtuvo un resultado de 8.2 m³/s de recarga potencial. Los resultados de la recarga potencial a lo largo del área de estudio, se observan en la Figura 2.7. Por otro lado, según datos del SENARA (2006), la extracción del recurso hídrico mediante pozos legales e ilegales, se estimó en 9.87 m³/s, lo que deja al sistema en déficit. Por ello, Ramírez (2007) recomendó tomar medidas correctivas, considerando que del total de pozos registrados en Costa Rica, el 42 por ciento se ubica en los acuíferos Barva y Colima.

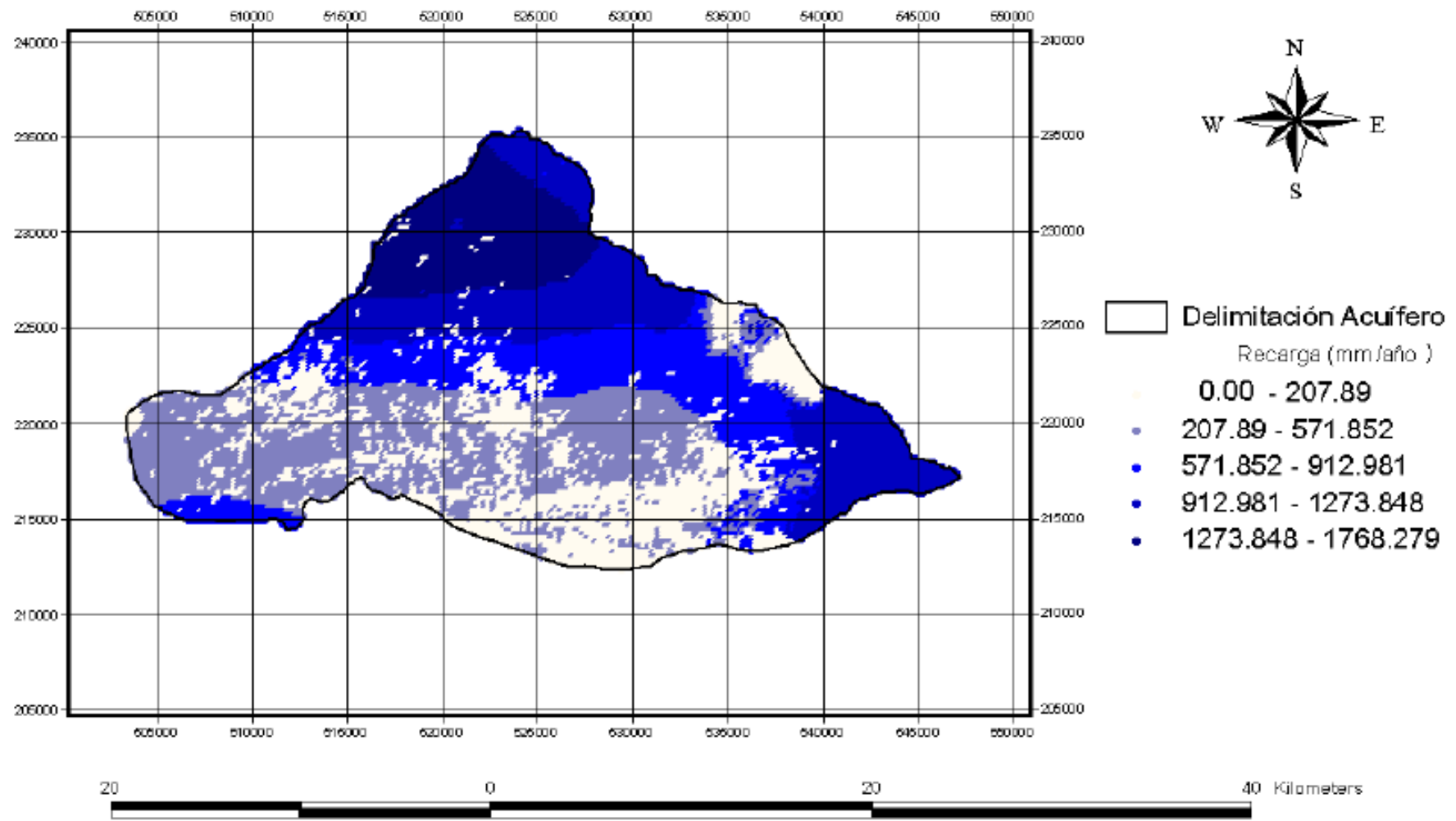


Figura 2.7: Recarga potencial anual de los acuíferos Barva y Colima
 FUENTE: Ramírez (2007)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

a. Ubicación

El distrito de Ate se ubica a 355 m.s.n.m. y comprende una superficie total de 77.7 km², con una población de 478,278 habitantes y una densidad poblacional de 6,155.44 Habitantes/km² (INEI, 2007).

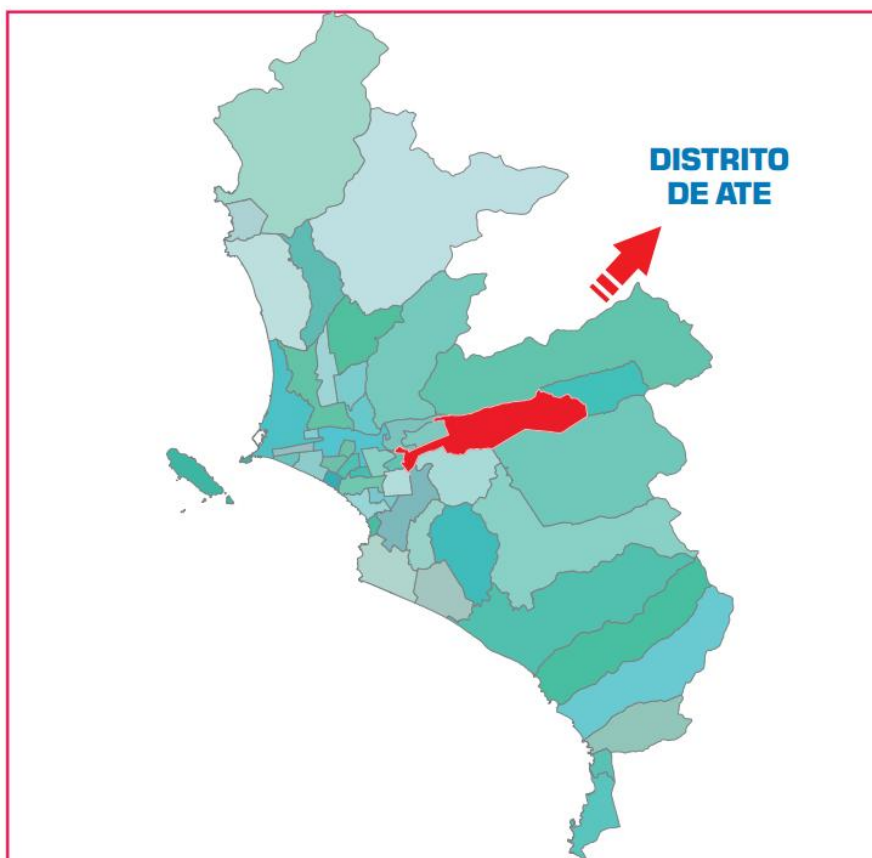


Figura 3.1: Ubicación del distrito de Ate en Lima Metropolitana

FUENTE: Registro de la Municipalidad de Ate, 2011

Ubicación geográfica

Longitud oeste: 76°54'57"

Ubicación política

Distrito: Ate

Latitud sur: 12°01'18"

Provincia: Lima

Altitud: 355 m.s.n.m.

Departamento: Lima

Coordenadas de los puntos extremos del distrito de Ate, con proyección UTM zona 18 Sur, en WGS 84, extraídas de Google Earth:

Norte: 299958.00 m Este; 8673593.00 m Norte

Sur: 284090.00 m Este; 8662996.00 m Norte

Este: 282456.00 m Este; 8665552.00 m Norte

Oeste: 305890.00 m Este; 8670233.00 m Norte

Límites

Norte: distritos de Lurigancho-Chosica, Santa Anita y El Agustino.

Sur: distritos de Cieneguilla, La Molina y Santiago de Surco.

Este: distrito de Chaclacayo.

Oeste: distritos de San Borja y San Luis.

b. Clima

El distrito de Ate presenta un clima variado, templado y con alta humedad atmosférica. La temperatura media anual es de 15.5 °C, con una temperatura máxima durante el verano de 32 °C y una mínima de 8 °C, durante el invierno. En la época de invierno se aprecia una constante nubosidad con ligeras lloviznas producto de la humedad. Asimismo, presenta un valor de humedad relativa media anual del 85 por ciento. En el Cuadro 3.1 se tienen los valores de precipitación mensual para el 2010.

Cuadro 3.1: Precipitación mensual (mm)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total anual	Prom. mensual
0	2	0	0.1	0.1	4.4	2.7	0.9	1.9	0	1	0.1	13.2	1.1

Fuente: Estación A. Von Humboldt - Unalm, 2010

c. Suelo

Para describir el suelo de la zona del proyecto, con aquellas características relevantes al tema en estudio, se tomaron 12 muestras de suelo, en zonas con cobertura de césped, en los parques del distrito de Ate. Se determinó su clase textural, capacidad de campo, punto de marchitez y densidad aparente (g/cm³), información relevante para los cálculos realizados en este estudio.

3.1.1 ÁREAS VERDES

Con el fin de facilitar las operaciones de mantenimiento y monitoreo, las áreas verdes en el distrito de Ate se encuentran divididas en cuatro zonas, las que se aprecian en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Zonificación de las áreas verdes

ZONA	
N °	Denominación referencial
1	Salamanca - Valdivieso – Olimpo
2	Artesanos - Mayorazgo – Ate
3	Los Ángeles - Virgen del Carmen - Ceres - Micaela Bastidas
4	Vitarte Central - San Gregorio

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012

Asimismo, las áreas verdes que son administradas por el municipio de Ate, involucran parques y bermas. Según el inventario de la municipalidad, estas abarcan un área total de 1'034,960.04 m², según se detalla en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3: Cantidad de áreas verdes en Ate

Zona	Área (m ²)	
	Parques	Bermas
1	121,296.34	63,950.00
2	101,513.18	387,522.80
3	259,760.00	73,009.87
4	27,907.85	0
Total	510,477.37	524,482.67
Total (ha)	51.05	52.45

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012

De esta manera, se tiene un total de 103.5 ha de áreas verdes registradas, que utilizan un sistema de riego por inundación, según manifiesta el Área de Parques y Jardines de la municipalidad de Ate. Por otro lado, el agua utilizada en el riego proviene de tres fuentes: canales de riego, camiones cisterna y puntos de agua suministrados por Sedapal. Del total de área verde (103.5 ha), 88.3 hason regadas mediante canales y camiones cisterna; mientras que para la cantidad restante se utilizan los puntos de agua suministrados por Sedapal. De esta manera, el canal Ate, se convierte en la fuente principal de abastecimiento para el riego en el

distrito, ya que del agua que conduce, también son llenados los camiones cisterna. La tarifa por el riego de áreas verdes mediante el canal Ate es de S/. 0.10 por metro cúbico, mientras que el costo operativo por el riego mediante camiones cisterna es de S/. 7.50 por metro cúbico.

3.1.2 CANAL ATE

El canal Ate y sus laterales, fuentes principales para el riego de áreas verdes, tienen una longitud de 33.02 km, de los cuales 11.95 km se encuentran revestidos, 12.66 km sin revestir y 8.41 km no se encuentran visibles, pasando por debajo de pistas y/o suelo en general. El canal tiene una capacidad de 1.3 m³/s, sin embargo, el caudal que transporta varía cada mes, siendo en promedio 1 m³/s durante el día y 0.3 m³/s durante la noche, según datos de aforo de la Junta de Usuarios del Rímac, a octubre del 2013.

Este canal, ubicado en la margen izquierda del río Rímac (sector cuenca baja), inicia la captación de agua desde la bocatoma Huachipa, a la altura del kilómetro 10.5 de la Carretera Central. En la progresiva 3+400 km, a través de un partididor, se deriva el primer canal lateral (Ate L-1); el canal principal sigue su curso hasta la progresiva 3+900 km, donde se deriva el segundo lateral (Ate L-2). Cerca de la progresiva 4+200 km se deriva el tercer lateral (Ate L-3); luego, el canal sigue su curso a lo largo de la avenida Nicolás Ayllón hasta terminar en la progresiva 6+481 km, donde se da inicio a dos laterales más (Ate L-4 y Ate L-5). En cada lateral de riego, surgen otros sub-laterales que atraviesan la zona de Ate, llegando hasta otros distritos.

El canal Ate se encuentra administrado por la JU Rímac, y monitoreado por la Comisión de regantes Ate, quienes a su vez se encargan de cobrar la tarifa correspondiente a los usuarios por el uso del agua y de realizar el mantenimiento. Al mismo tiempo, realizan coordinaciones con la ALA Chillón - Rímac - Lurín, con fines de mejorar su gestión. La dotación entregada anualmente a la municipalidad de Ate, corresponde a 14,486 m³/ha, cobrando un monto aproximado de S/. 0.10 por metro cúbico (Fuente: JU Rímac, 2013).

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Para el desarrollo del presente estudio, se emplearon los materiales detallados a continuación.

- Plano catastral del distrito de Ate.

- Planos existentes del canal Ate.
- Lampa.
- Bolsas y botellas de plástico.
- Libreta de campo.
- Cámara fotográfica digital.
- Cronómetro.
- Wincha.
- Computadora: Acer aspire 5570Z, con procesador Intel, Pentium dual-core, Windows 7 ultimate, memoria RAM 2 GB y disco duro de 500 GB.
- *Softwares*: Microsoft Office, Soil water characteristics, Autocad, entre otros.
- Útiles de oficina.

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Usando como referencia los planos catastrales existentes en la base de datos de la Municipalidad de Ate, Área de Parques y Jardines, se ubicó y delimitó la zona de estudio. Mediante el uso del *software* Autocad, se trazó y resaltó el recorrido del canal Ate y sus laterales (aquellas que se ubican dentro del distrito de Ate), por ser fuente principal del riego de áreas verdes, señalando los tramos que presentan revestimiento y/o techado, así como sus laterales y obras de arte. También, se remarcó todos los parques, jardines y bermas existentes en el distrito, calculando el total de áreas verdes para propósitos de recarga del acuífero Rímac, en el sector de Ate.

Se realizó visitas a la JU Rímac, a la Comisión de riego Ate, a la ALA Chillón - Rímac – Lurín a la Municipalidad de Ate - Área de parques y jardines, con el fin de recabar información relevante al tema en estudio y conocer sus puntos de vista sobre el problema de investigación de la presente tesis. También, se consultaron otros estudios realizados anteriormente en Lima Metropolitana, para recopilar datos meteorológicos (precipitación, evapotranspiración, etc.) que intervienen en la metodología empleada para el cálculo de la recarga del acuífero.

3.3.2 ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NETA MEDIANTE EL MÉTODO DEL BALANCE HÍDRICO DE SUELOS

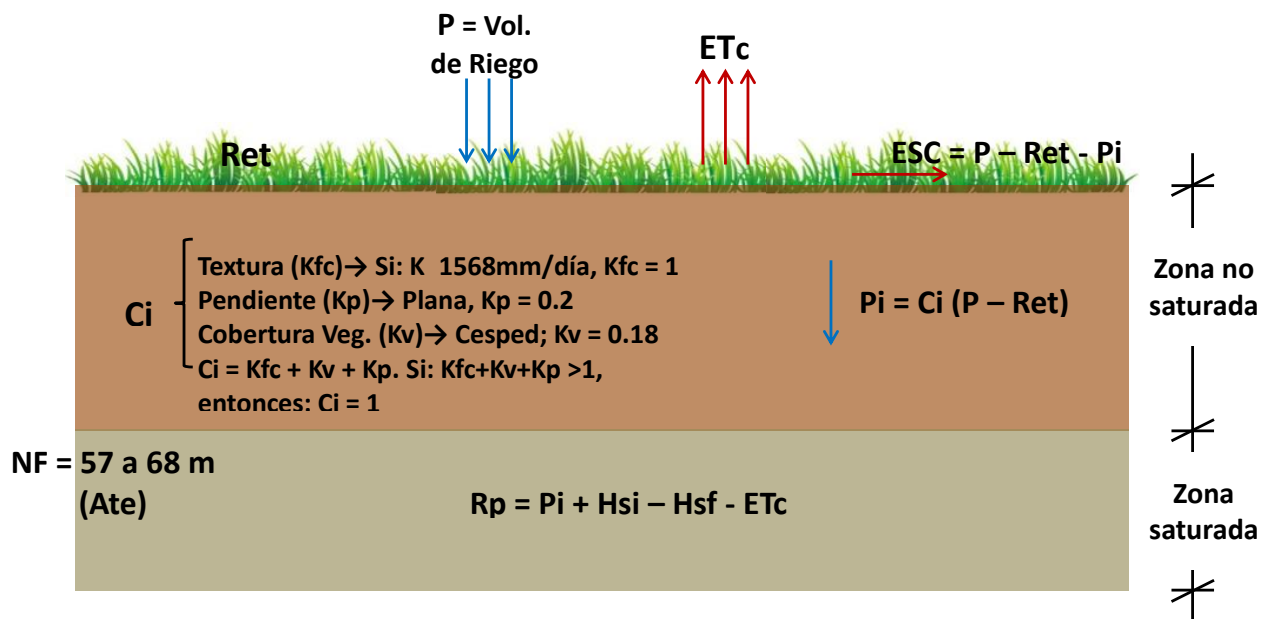


Figura 3.2: Metodología del balance hídrico de suelos

FUENTE: Elaboración propia

Para estimar la recarga del acuífero Rímac – sector Ate, se utilizó el método del balance hídrico de suelos explicado por Schosinsky (2007). En el caso de la presente investigación, se consideró el volumen de agua que ingresa al suelo por el riego de áreas verdes, dado que la precipitación en el distrito de Ate es, aproximadamente, nula. En la Figura 3.2 se resumen las principales ecuaciones utilizadas por esta metodología.

Por otro lado, debido a que la principal característica del acuífero Rímac que influye en su recarga es la conductividad hidráulica, se utilizó el *software* SoilWaterCharacteristics, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (UnitedStatesDepartment of Agriculture – USDA), para la estimación de dicha variable. Este programa considera el porcentaje de arena y arcilla presente en el suelo, para el cálculo de la conductividad hidráulica, en mm/h.

Para obtener una tendencia en la recarga del acuífero, se calculó la recarga mediante el riego de áreas verdes para el período 2007 al 2013. Con los resultados obtenidos, se realizó un

gráfico de dispersión para visualizar de forma práctica la evolución de la recarga, es decir, si se incrementó, se redujo o se mantuvo constante.

A continuación, se describe el procedimiento del método del balance hídrico de suelos utilizado en esta investigación. Cabe mencionar que las variables de evapotranspiración potencial y evapotranspiración real utilizados en esta metodología, fueron reemplazadas de acuerdo a los nuevos estándares de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que plantea únicamente el uso de las variables evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y evapotranspiración del cultivo (ET_c). La FAO no recomienda el uso del término “evapotranspiración potencial” y otras denominaciones, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición.

a. Cálculo de la retención mensual de lluvia por el follaje y/o cultivo

Si $P \leq 5$ mm/mes, $Ret = P$.

Si el producto $(P)(C_{fo})$ es ≥ 5 mm/mes, $Ret = (P)(C_{fo})$.

Si $P > 5$ mm/mes y el producto $(P)(C_{fo}) < 5$, $Ret = 5$.

Donde:

P = Precipitación mensual (mm).

Ret = Retención de lluvia en el follaje (mm/mes).

C_{fo} = Coeficiente de retención del follaje (adimensional).

Para follajes y otros similares, $C_{fo} = 0.12$.

b. Cálculo del coeficiente de infiltración del suelo

El coeficiente de infiltración del suelo (C_i), es el factor por el cual se multiplica la precipitación mensual para obtener la cantidad de agua que se infiltra mensualmente en el suelo. Para el cálculo del C_i , se considera tres fracciones (adimensionales): fracción que infiltra por textura del suelo (K_{fc}), fracción que infiltra por efecto de la pendiente (K_p) y la fracción que infiltra por efecto de la cobertura vegetal (K_v).

- Cálculo de la fracción que infiltra por textura del suelo

Si: K se encuentra entre 16 y 1568 mm/día, $K_{fc} = 0.267 \ln(K) - 0.000154 * K - 0.723$

Si: $K < 16$ mm/día, $K_{fc} = 0.0148fc/16$

Si: $K > 1568$ mm/día, $K_{fc} = 1$

Donde:

K_{fc} = Coeficiente de infiltración o fracción de agua que infiltra por textura del suelo (adimensional).

K = Conductividad hidráulica (mm/día).

- Cálculo de la fracción que infiltra por efecto de pendiente (K_p) y de la fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (K_v)

Ambas fracciones se obtienen del Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4: Componentes del coeficiente de infiltración

Pendiente (%)		K_p	Cobertura vegetal	K_v
Muy plana	0.02 - 0.06	0.3	Cobertura con zacate* < 50%	0.09
Plana	0.3 - 0.4	0.2	Terrenos cultivados	0.1
Algo plana	1 - 2 %	0.15	Pastos, césped	0.18
Promedio	2 - 7 %	0.1	Bosques	0.2
Fuerte	> 7	0.06	Cobertura con zacate* > 75%	0.21

*Cultivo de zacate o "hierba búfalo" (*Buchloedactyloides*).

FUENTE: Schosinsky, 2007

De acuerdo al Cuadro 3.4, para la presente investigación, corresponde un valor de $K_p = 0.2$, para pendientes planas; por otro lado, el $K_v = 0.18$, por ser una cobertura vegetal de césped, presente en las áreas verdes de Ate.

Finalmente, si: $K_p + K_v + K_{fc} > 1$, $C_i = 1$.

Por otro lado, si: $K_p + K_v + K_{fc} \leq 1$, $C_i = K_p + K_v + K_{fc}$

Donde:

C_i = Coeficiente de infiltración (adimensional).

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional).

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (adimensional).

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional).

c. Cálculo de infiltración pluvial mensual

$$P_i = (C_i)(P - Ret)$$

Donde:

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en (mm/mes).

C_i = Coeficiente de infiltración (adimensional).

d. Cálculo de la escorrentía superficial

$$ESC = P - Ret - P_i$$

Donde:

ESC = Escorrentía superficial (mm/mes).

P = Precipitación (mm/mes).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje (mm/mes).

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes).

e. Cálculo de recarga potencial al acuífero

$$R_p = P_i + H_{si} - H_{sf} - ET_c$$

Donde:

R_p = Recarga potencial mensual (mm/mes).

P_i = Precipitación que infiltra (mm/mes).

H_{sf} = Humedad del suelo al final del mes (mm).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes).

Finalmente, para estimar la recarga potencial anual, se suman los valores de recarga mensual calculados.

3.3.3 CANAL ATE

Para describir la situación actual del canal Ate, se realizaron visitas de campo, tomando fotografías y notas sobre el estado de su infraestructura y obras de arte. Esta información de

campo se complementó con estudios realizados por la Municipalidad de Ate - Área de parques y jardines en el 2012, en donde se evaluó la infraestructura de riego del distrito. Además, para identificar la problemática en la infraestructura del canal, se dialogó con las autoridades competentes. Entre ellas, la gerencia técnica de la JU Rímac, la administración de la Comisión de Riego Ate, y el área de parques y jardines de la Municipalidad de Ate.

También, se realizó un análisis de la calidad de agua del canal Ate, en el tramo ubicado en la Av. Separadora Industrial, para verificar su aptitud para el riego de áreas verdes. Este análisis consideró principalmente la medición de la conductividad eléctrica (dS/m), la estimación de la relación de absorción de Sodio (Na en meq/L) y la estimación del carbonato de sodio residual (meq/L), a fin de determinar si existe peligro por salinidad y sodio para las áreas verdes del distrito.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESTIMACIÓN DE RECARGA POR EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL ACUÍFERO RÍMAC – SECTOR ATE

El cálculo de la recarga potencial del acuífero Rímac – sector Ate por el riego de áreas verdes, se realizó mediante el balance hídrico de suelos.

4.1.1 CÁLCULO DE LA RETENCIÓN MENSUAL DE AGUA POR EL FOLLAJE Y/O CULTIVO

De acuerdo a la metodología utilizada, lluvias menores de 5 mm mensuales no van a generar infiltración, ya que se considera que en un mes con lluvia, al menos 5 mm son retenidos por la vegetación, sin llegar al suelo (Schosinsky y Losilla, 2000). En el caso del distrito de Ate, la precipitación mensual promedio es de 1.1 mm/mes, por lo que no hay recarga por precipitación. En ese sentido, el ingreso de agua al suelo proviene del riego de áreas verdes. Por otro lado, el cultivo que se encuentra mayoritariamente en las áreas verdes del distrito es el césped, por lo que los cálculos han sido realizados en base a este cultivo.

El volumen de agua aplicado a las áreas verdes en Ate, se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Volumen de agua aplicado a las áreas verdes en el distrito de Ate

	Unidad	2007	2008	2009	2010 - 2013
Vol. mensual	m³/ha	1,125	1,207.17	1,207.17	1,207.17
	mm	113	120.72	120.72	120.72
Área	ha	38	40	55	103.5
Volumen anual	m³/ha	13,500	14,486	14,486	14,486
	m³	513,000	579,440	796,730	1,499,301.00

FUENTE: Elaboración propia

Ecuación para el cálculo del agua retenida por el césped:

Si: $Vol * Cfo$, es ≥ 5 mm/mes, $Ret = (Vol)(Cfo)$.

Donde:

Vol. = Riego mensual aplicado (mm/mes).

Cfo = Coeficiente de retención(adimensional).Para el césped, Cfo = 0.12.

Ret = Retención de agua por el césped (mm/mes).

De la ecuación anterior, se obtienen los resultados que se muestran en el Cuadro4.2.

Cuadro 4.2: Retención de agua por las áreas verdes

	2007	2008 - 2013
Vol. (mm/mes)	112.5	120.72
Cfo	0.12	0.12
Ret (mm/mes)	13.5	14.49

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN DEL SUELO

Primeramente, se debe calcular el coeficiente de infiltración por textura del suelo, mediante la siguiente relación dada por Schosinsky y Losilla (2000):

Si: $K > 1568$ mm/día, $K_{fc} = 1$

Donde:

K_{fc} = Coeficiente de infiltración o fracción que infiltra por textura del suelo (adimensional).

K = Conductividad hidráulica (mm/día).

Para hallar la conductividad hidráulica (K), se tomaron 12 muestras de suelo representativas de las áreas verdes del distrito de Ate, de las cuales se determinó el porcentaje de arena, limo y arcilla de cada una de ellas. Estos valores se ingresaron en el *software* SoilWaterCharacteristics, a fin de obtener la conductividad hidráulica para cada muestra de suelo. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3: Valores de conductividad hidráulica para las muestras de suelo de las áreas verdes de Ate

N° de muestra	Ubicación	Coordenadas UTM		% arena	% limo	% arcilla	Clase textural	Conductividad hidráulica	
		Este	Norte					mm/hora	mm/día
1	Parque Polo Jiménez	287615	8666695	65.28	28.56	6.16	Franco arenoso	70.32	1687.68
2	Parque Clorinda Matto de Turner	287877	8666724	63.28	26.56	10.16	Franco arenoso	48.8	1171.2
3	Parque Protocolo Río de Janeiro	287772	8666890	73.28	22.56	4.16	Franco arenoso	94.94	2278.56
4	Parque Abraham Valdelomar	287329	8666727	69.28	22.56	8.16	Franco arenoso	63.39	1521.36
5	Parque Solidaridad	286846	8666211	67.28	24.56	8.16	Franco arenoso	61.44	1474.56
6	Parque La Libertad	286804	8665836	59.28	32.56	8.16	Franco arenoso	53.92	1294.08
7	Parque Santa Rosa	289387	8668771	63.28	26.56	10.16	Franco arenoso	48.8	1171.2
8	Parque Cruz de Mayo	289900	8669204	69.28	22.56	8.16	Franco arenoso	63.39	1521.36
9	Parque Amazonas	289184	8669244	63.28	29.84	6.88	Franco arenoso	62.59	1502.16
10	Parque Tambopata	289225	8669375	67.28	26.56	6.16	Franco arenoso	72.66	1743.84
11	Parque Hecate	290042	8668716	75.28	19.84	4.88	Arena franca	89.78	2154.72
12	Parque José María Ugarteche	290499	8668783	87.28	9.12	3.6	Arena	116.59	2798.16

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, se calculó el promedio de los valores obtenidos para la zona 1 y 2 (muestras 1 – 6), y las zonas 3 y 4 (muestras 7 – 12), obteniendo los valores que se muestran en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4: Valores de conductividad hidráulica promedio en las áreas verdes de Ate (mm/día)

Zona	K	
	(mm/h)	(mm/día)
1 y 2	65.47	1571.24
3 y 4	75.64	1815.24

FUENTE: Elaboración propia

En consecuencia, $K_{fc} = 1$.

Por otro lado, además de la infiltración debido a la textura del suelo, también influye la pendiente del terreno y la cobertura vegetal. Estas tres variables conforman el coeficiente de infiltración del suelo (C_i), el cual se calcula mediante la siguiente ecuación (ONU, 1972):

Si: $K_p + K_v + K_{fc} > 1$, $C_i = 1$

Donde:

C_i = Coeficiente de infiltración.

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente.

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal.

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo.

De acuerdo al Cuadro 3.4, para la presente investigación, corresponde un valor de $K_p = 0.2$ para pendientes planas; y un valor de $K_v = 0.18$, por ser una cobertura vegetal de césped, presente en las áreas verdes de Ate. De esta manera, se tiene lo siguiente:

$$K_p + K_v + K_{fc} = 0.2 + 0.18 + 1 = 1.38. \text{ Entonces, } C_i = 1$$

4.1.3 CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN MENSUAL POR RIEGO

Para el cálculo de la infiltración mensual, se considera el volumen de riego mensual, la retención mensual de agua por la cobertura vegetal, y el coeficiente de infiltración (C_i) calculado en el punto anterior, conforme a la siguiente ecuación:

$$P_i = C_i * (Vol. - Ret.)$$

Donde:

P_i = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

C_i = Coeficiente de infiltración (adimensional).

De esta manera, se obtuvieron los resultados que muestra el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5: Infiltración mensual por riego (Pi)

	2007	2008 - 2013
Vol. (mm/mes)	112.5	120.72
Ret (mm/mes)	13.5	14.49
Ci	1	1
Pi (mm/mes)	99	106.23

FUENTE: Elaboración propia

4.1.4 CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

$$ESC = Vol. - Ret. - Pi$$

Donde:

ESC = Escorrentía superficial (mm/mes).

Pi = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

Ret = Retención mensual de agua por la cobertura vegetal (mm/mes).

En el Cuadro 4.6 se muestra los resultados obtenidos.

Cuadro 4.6: Valores de escorrentía superficial (ESC). Período 2007-2013

	2007	2008 - 2013
Vol. (mm/mes)	112.5	120.72
Ret (mm/mes)	13.5	14.49
Pi (mm/mes)	99	106.23
ESC (mm/mes)	0	0

FUENTE: Elaboración propia

4.1.5 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, se consideró los valores proporcionados por el Observatorio Meteorológico Alexander Von Humboldt de la Unalm, respecto a la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o). A este valor se le multiplicó por el coeficiente del cultivo (K_c) para el césped, con lo que se obtuvo el valor de la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Al ser el K_c del césped equivalente a uno, ambos valores, la ET_o y la ET_c son iguales. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7: Valores mensuales de evapotranspiración para el césped

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
ETo (mm/día)	3.77	4.15	4.26	3.73	2.66	1.81	1.7	1.9	2.35	2.82	3.18	3.37
Kc césped	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ETc (mm/día)	3.77	4.15	4.26	3.73	2.66	1.81	1.7	1.9	2.35	2.82	3.18	3.37

FUENTE: Observatorio Meteorológico A. Von Humboldt, Unalm, 2010

4.1.6 CÁLCULO DE RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO

Cuando se aplica el riego, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo; seguidamente, se lleva a cabo la evapotranspiración. Si la cantidad de agua aplicada para el riego es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además abastece la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero.

Para determinar la recarga, se realiza lo siguiente:

a. Conversión de unidades

Primeramente, se realiza la conversión de unidades como se describe a continuación:

$$\% \text{ volumen} = \% \text{ peso de suelo seco} * d. a.$$

Para determinar el valor de densidad aparente, se analizaron muestras de suelo en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Unalm, obteniéndose un valor promedio de densidad aparente equivalente a 1.61 g/cm³, para una textura franco arenosa. Además, se consideró un valor de profundidad de raíces de 200 mm correspondiente al cultivo del césped, para convertir los porcentajes de volumen a milímetros de agua, obteniéndose los resultados del Cuadro 4.8.

$$\text{Milímetros de agua} = \% \text{ volumen} * \text{prof. raíces}$$

Cuadro 4.8: Conversión de unidades

	% peso suelo seco	% volumen	mm de agua
Capacidad de campo (CC)	19.72	31.75	63.5
Humedad del suelo (HS)	14	22.54	45.08
Punto de marchitez (PM)	10.81	17.4	34.81

FUENTE: Elaboración propia

b. Determinación del coeficiente de humedad (Ch)

$$C.h. = (HS - PM)/(CC - PM)$$

Donde:

HS: Humedad del suelo.

PM: Punto de marchitez.

CC: Capacidad de campo.

Así, se tiene un valor de C.h. = 0.36

c. Coeficiente de humedad máximo(C1), sin considerar la evapotranspiración

$$C1 = (HSi - PM + Pi)/(CC - PM)$$

Donde:

HSi: Humedad al inicio del mes, equivalente a 45.08 mm de agua.

PM: Punto de marchitez.

CC: Capacidad de campo.

Pi = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

d. Coeficiente de humedad mínimo(C2), considerando la evapotranspiración

$$C2 = (Hsi - PM + Pi - ET1)/(CC - PM)$$

La ET1 equivale a: $ET1 = C1 * ETc$

Donde:

HSi: Humedad al inicio del mes, equivalente a 45.08 mm de agua.

PM: Punto de marchitez.

CC: Capacidad de campo.

Pi = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

e. Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo, con el ajuste de los coeficientes

$$ETc' (mm/mes) = \left(\frac{C1 + C2}{2} \right) * ETc$$

Donde:

C1: Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

C2: Coeficiente de humedad mínimo, considerando la evapotranspiración.

ETc': Evapotranspiración del cultivo (mm/mes), con el ajuste respectivo.

Es importante considerar que ninguno de los coeficientes de humedad (C1 o C2), pueden ser superiores a uno ni menores a cero. En caso el coeficiente calculado sea mayor a uno, se considerará el valor de uno; y en caso el coeficiente tenga un valor negativo, se considerará cero.

f. Cálculo de la humedad disponible (HD):

La humedad disponible hace referencia a aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas para poder evapotranspirar, y está dada por la siguiente ecuación:

$$HD(mm/mes) = HSi + Pi - PM$$

Donde:

HSi: Humedad al inicio del mes.

Pi = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

PM: Punto de marchitez.

g. Cálculo de la humedad del suelo final (HSf)

La humedad del suelo final se puede calcular en base a la siguiente relación:

Si: $(HD + PM - ETc) < CC$; Entonces: $HSf = HD + PM - ETc$

Donde:

HD: Humedad disponible (mm/mes).

PM: Punto de marchitez.

ETc: Evapotranspiración del cultivo

CC: Capacidad de campo.

Finalmente, se calcula la recarga potencial al acuífero mediante la siguiente ecuación:

$$Rp = Pi + Hsi - Hsf - ETc$$

Donde:

Rp = Recarga potencial mensual (mm/mes).

Pi = Infiltración mensual al suelo (mm/mes).

Hsf = Humedad del suelo al final del mes (mm).

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes).

Finalmente, para estimar la recarga potencial anual, se suman los valores de recarga mensual calculados. En los Cuadros 4.9 al 4.15, se tienen los resultados obtenidos para cada año, en el período 2007 – 2013.

Cuadro 4.9: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2007

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00
Rp (m³/mes)	11,162.75	11,057.30	8,276.65	8,696.37	2,033.25	12,734.05	13,342.05	10,986.05	6,578.05	148.45	1,909.86	5,194.10
											Rp anual (m³)	92,118.95
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									513,000.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2007 (m³/año)									92,118.95		Representa aprox. el 18 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.10: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2008

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Rp (m³/mes)	11,750.27	11,639.26	8,712.27	9,154.08	2,140.27	13,404.27	14,044.27	11,564.27	6,924.27	156.27	2,010.38	5,467.47
											Rp anual (m³)	96,967.32
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									579,440.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2008 (m³/año)									96,967.32		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.11: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2009

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
Rp (m³/mes)	16,156.62	16,003.98	11,979.37	12,586.86	2,942.87	18,430.87	19,310.87	15,900.87	9,520.87	214.87	2,764.27	7,517.77
											Rp anual (m³)	133,330.07
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									796,730.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2009 (m³/año)									133,330.07		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.12: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2010

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50
Rp (m³/mes)	30,403.82	30,116.58	22,542.99	23,686.18	5,537.94	34,683.54	36,339.54	29,922.54	17,916.54	404.34	5,201.85	14,147.08
											Rp anual (m³)	250,902.94
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									1,499,301.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2010 (m³/año)									250,902.94		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.13: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2011

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50
Rp (m³/mes)	30,403.82	30,116.58	22,542.99	23,686.18	5,537.94	34,683.54	36,339.54	29,922.54	17,916.54	404.34	5,201.85	14,147.08
											Rp anual (m³)	250,902.94
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									1,499,301.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2011 (m³/año)									250,902.94		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.14: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2012

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: $C1 > 1$, $C1 = 1$												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: $C2 < 0$, $C2 = 0$; Si: $C2 > 1$, $C2 = 1$												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: $HSf > CC$, $HSf = CC$												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50
Rp (m³/mes)	30,403.82	30,116.58	22,542.99	23,686.18	5,537.94	34,683.54	36,339.54	29,922.54	17,916.54	404.34	5,201.85	14,147.08
											Rp anual (m³)	250,902.94
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									1,499,301.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2012 (m³/año)									250,902.94		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 4.15: Estimación de la recarga del acuífero Rímac - Sector Ate para el 2013

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pi (mm/mes)	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23	106.23
ET (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C1	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06	4.06
Si: C1 > 1, C1 = 1												
C1 corregido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ET1 (mm/mes)	116.87	116.20	132.06	111.90	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	95.40	104.47
C2	-0.01	0.01	-0.54	0.16	1.19	2.17	2.22	2.01	1.60	1.01	0.74	0.42
Si: C2 < 0, C2 = 0; Si: C2 > 1, C2 = 1												
C2 corregido	0.00	0.01	0.00	0.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.42
ET (mm/mes)	58.44	58.71	66.03	64.93	82.46	54.30	52.70	58.90	70.50	87.42	82.78	74.14
HD (mm/mes)	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50	116.50
HSf (mm/mes)	92.88	92.60	85.28	86.39	68.85	97.01	98.61	92.41	80.81	63.89	68.53	77.17
Si: HSf > CC, HSf = CC												
HSf corregido	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50	63.50
Rp (mm/mes)	29.38	29.10	21.78	22.89	5.35	33.51	35.11	28.91	17.31	0.39	5.03	13.67
Rp (m³/ha/mes)	293.76	290.98	217.81	228.85	53.51	335.11	351.11	289.11	173.11	3.91	50.26	136.69
Nº de hectáreas	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50	103.50
Rp (m³/mes)	30,403.82	30,116.58	22,542.99	23,686.18	5,537.94	34,683.54	36,339.54	29,922.54	17,916.54	404.34	5,201.85	14,147.08
											Rp anual (m³)	250,902.94
RESUMEN DEL BALANCE												
Volumen regado (m³/año)									1,499,301.00			
Volumen potencialmente recargado al acuífero en el 2013 (m³/año)									250,902.94		Representa aprox. el 17 por ciento del total regado.	

FUENTE: Elaboración propia

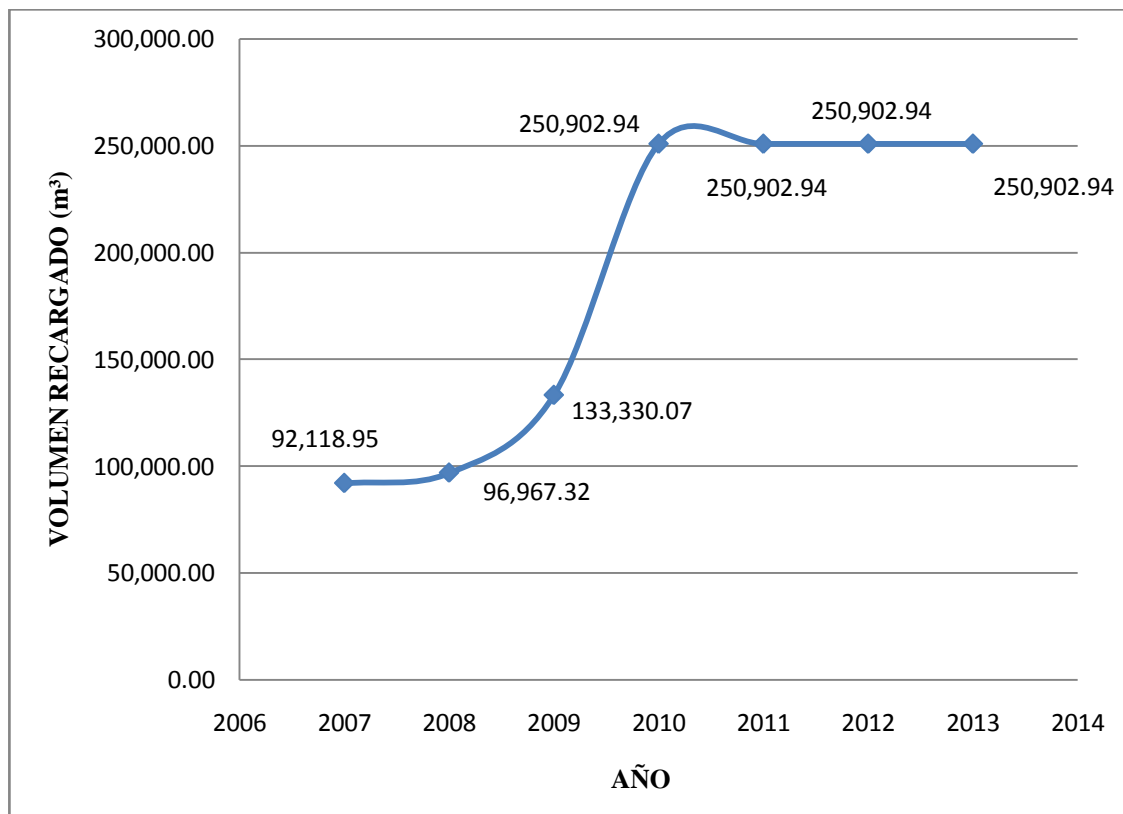
4.1.7 RESUMEN DE RECARGA POTENCIAL AL ACUÍFERO

En base a los resultados obtenidos de los cálculos realizados en forma detallada, cuyo resumen se muestra en el Cuadro 4.16, se puede mencionar que se ha incrementado considerablemente la recarga del acuífero en el período 2010 – 2013, con respecto al período 2007 – 2009. Dicha recarga representa el 17 por ciento del volumen total aplicado a las áreas verdes.

**Cuadro 4.16: Estimación de la recarga del acuífero Rímac – Sector Ate
Período 2007 - 2013**

AÑO	CANTIDAD DE ÁREAS VERDES (ha)	VOLUMEN REGADO (m³/año)	ESTIMACIÓN DE RECARGA (m³/año)
2007	38	513,000.00	92,118.95
2008	40	579,440.00	96,967.32
2009	55	796,730.00	133,330.07
2010	103.5	1,499,301.00	250,902.94
2011	103.5	1,499,301.00	250,902.94
2012	103.5	1,499,301.00	250,902.94
2013	103.5	1,499,301.00	250,902.94

FUENTE: Elaboración propia.



**Figura 4.1: Estimación de recarga del acuífero Rímac – sector Ate (m³/año).
Período 2007 – 2013**

FUENTE: Elaboración propia

4.2 DISCUSIÓN

La textura franco-arenosa del suelo de Ate, presente en la mayoría de muestras de suelo analizadas, favorece la recarga del acuífero debido a que presenta valores altos de conductividad hidráulica, de acuerdo a los resultados obtenidos.

Para el cálculo de la recarga del acuífero Rímac en el sector de Ate, se consideró el mismo volumen de agua cada mes, debido a que la dotación otorgada al municipio de Ate para el riego de las áreas verdes es constante a lo largo del año. Por otro lado, el método de riego por inundación, empleado por el municipio, favorece la recarga del acuífero.

En el distrito de Ate, la precipitación es aproximadamente nula. Es así que la recarga potencial debido a esa variable es cero. Por ello, se consideró en la metodología el volumen de riego aplicado a las áreas verdes, como aporte a la recarga del acuífero. A la fecha, se conoce

que la municipalidad de Ate está solicitando una mayor dotación de agua, debido a la implementación de más áreas verdes en el distrito.

Para todos los años del período analizado (2007 al 2013), la mayor recarga al acuífero Rímac en el sector de Ate, se produjo en julio, debido a que durante ese mes, la evapotranspiración del cultivo fue la de menor valor.

Para las muestras de suelo N° 11 y 12, se tiene una textura de arena franca y arena, respectivamente, lo cual es inusual en la zona de estudio. Esto puede haberse originado debido al material de relleno agregado a los parques de donde se obtuvieron tales muestras, ya que en la zona se observó actividades de construcción.

V. CONCLUSIONES

- La recarga potencial anual del acuífero Rímac en el sector de Ate por el riego de las áreas verdes, mediante el método del balance hídrico de suelos desarrollado por Schosinsky (2007), ha sido estimada en $92,118.95 \text{ m}^3$ para el 2007, lo que equivale al 18 por ciento del volumen de agua aplicado a las áreas verdes. Para el 2008, el volumen de recarga fue estimado en $96,967.32 \text{ m}^3$, para el 2009 fue $133,330.07 \text{ m}^3$, y para el período del 2010 al 2013, se estimó en $250,902.94 \text{ m}^3/\text{año}$, lo cual equivale al 17 por ciento del volumen total de riego aplicado a las áreas verdes.
- Los valores de recarga obtenidos guardan relación con lo expresado en la teoría, respecto a que del volumen de agua que ingresa al suelo, aproximadamente entre 15 a 25 por ciento llega a recargar el acuífero. Para el caso de esta investigación, del total aplicado como volumen de riego a las áreas verdes, entre el 17 y 18 por ciento llega a recargar el acuífero Rímac en el sector de Ate.
- De los resultados obtenidos, se observa que el incremento de áreas verdes en el distrito de Ate en el período 2010 - 2013, generó un mayor volumen anual de agua recargado al acuífero Rímac, en el sector de Ate. En el período analizado, en julio se observa la mayor recarga del acuífero; mientras que en octubre, se observa la menor recarga. En el período 2010 - 2013, la recarga del acuífero Rímac en el sector de Ate debido al riego, se mantuvo constante ya que la cantidad de áreas verdes fue la misma.
- Considerando los resultados obtenidos, se puede afirmar que el método del balance hídrico de suelos para el cálculo de la recarga potencial de acuíferos, puede ser aplicado considerando, además de la precipitación mensual de la zona, el volumen de riego aplicado a las áreas verdes.

VI. RECOMENDACIONES

- Aplicar la metodología del balance hídrico en otros tipos de suelos del Perú, a fin de comparar los resultados obtenidos y evaluar el comportamiento de las variables.
- Actualizar la información disponible sobre las aguas subterráneas de la cuenca del río Rímac, con el propósito de contar con más datos que faciliten el desarrollo de proyectos de investigación. En general, esto también contribuirá a mejorar la gestión del recurso hídrico subterráneo en la referida cuenca.
- Realizar proyectos de investigación que busquen identificar las zonas del acuífero Rímac que están siendo sobreexplotadas, y así proponer medidas de control y actividades de recarga.
- Verificar el efecto de la recarga del acuífero producida por el riego de áreas verdes, mediante pozos de observación.
- Sugerir a la Gerencia de Parques y Jardines de la Municipalidad de Ate, la implementación de más áreas verdes, así como realizar el adecuado mantenimiento de las ya existentes, a fin de propiciar un mayor volumen de recarga al acuífero Rímac, debido al riego de las áreas verdes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE), 2009. “Diagnóstico situacional de recarga de acuíferos”. Lima, Perú.
2. ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE), 2010. “Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac”. Lima, Perú.
3. BUITRAGO, N., 2005. “Evaluación del Potencial Hídrico del entorno de la ciudad de Boaco”. Cap. 7: Balance Hídrico Subterráneo. Managua, Nicaragua.
4. BURNS, E., 2009. “Repensar la cuenca: La gestión de ciclos del agua en el valle de México”. Capítulo 4: Recarga de acuíferos. México.
5. CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.; MAYS, L., 1994. “Hidrología aplicada”. Editorial Mc Graw Hill. Santa Fe, Bogotá.
6. CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. 1983. “Hidrología Subterránea”. Editorial Omega, volumen II.
7. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2007. “Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. Estudio FAO de Riego y Drenaje. Publicación n.º 56. Roma, Italia.
8. HERRERA, I.; BROWN, O., 2011. “Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala”. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 20, n.º 4, pp. 48-52. La Habana, Cuba.
9. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE), 2007. “XI Censo Nacional”. Lima, Perú.
10. INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE), 2012. “Perú: Anuario de estadísticas ambientales”. Capítulo 3: Agua. Lima, Perú.
11. JURIMAC (Junta de Usuarios del Rímac, PE), 2011. “Memoria Anual”. Lima, Perú.
12. LENNTECH, BV, 2013. “Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas”. Delft, Holanda.

13. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE), Intendencia de Recursos Hídricos, 2005. “Formulación del diagnóstico de la infraestructura de riego y drenaje en los distritos de riego del Perú”. Lima, Perú.
14. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (CR), 2012. “Acuerdo 60-2012: Metodologías Hidrogeológicas para la evaluación del recurso hídrico”. San José, Costa Rica.
15. MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ATE (PE), Gerencia de Servicios a la ciudad, 2012. “Evaluación de la infraestructura de riego en el distrito de Ate”. Lima, Perú.
16. ONU (Organización de las Naciones Unidas), 1972. “Manual de Estudios Hidrológicos”. ONU, publicación n.º 70. San José, Costa Rica.
17. OP & CONSULTORES ASOCIADOS, 2011. “Situación de explotación de las aguas subterráneas”. Lima, Perú.
18. ORTUÑO, Felipe; et al. “Cambio climático y recarga de acuíferos en Cataluña”. Agencia Catalana del Agua, España.
19. QUINTANA, J.; TOVAR, J., 2002. “Evaluación del acuífero de Lima (Perú) y medidas correctoras para contrarrestar la sobreexplotación”. Boletín Geológico y Minero, pp. 303-312. Madrid, España.
20. RAMÍREZ, P., 2012. “Determinación de la recarga acuífera potencial mediante un sistema de información geográfica para la cuenca del Río Frío, Costa Rica”. Revista Geográfica de América Central, n.º 51, Segundo semestre 2013, pp. 15-35. San José, Costa Rica.
21. RAMÍREZ, R., 2007. “Recarga Potencial del Acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica”. SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento). Costa Rica.
22. RAMÍREZ, S.; MONTES, N.; MORA, R.; SCHOSINSKY, G.; ARIAS, M., 2008. “Estudio Hidrogeológico Integral en el Sector Occidental del Cantón de Grecia, provincia de Alajuela, Costa Rica”. FUNDEVI, Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación. Alajuela, Costa Rica.
23. RODRÍGUEZ, D.; PÉREZ, P., 2014. “Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica Guara de Cuba”. Revistadel Programa Hidrológico Internacional para América Latina y El Caribe, Aqua-LAC. Vol. 6, n.º 2, Setiembre 2014, pp. 58-70. Unesco. Montevideo, Uruguay.

24. RUIZ, R., 2007. "Gestión y monitoreo de las aguas subterráneas de Lima". Equipo de aguas subterráneas, Gerencia de producción, Sedapal. Lima, Perú.
25. SCHOSINSKY, G, 2007. "Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos". Revista Geológica de América Central, p. 34-35, 13-30. San José, Costa Rica.
26. SCHOSINSKY, G.; LOSILLA, M., 1999. "Modelo Analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual". Revista Geológica de América Central, n.º 23, 2000, pp. 43-55. San José, Costa Rica.
27. SEIFERT, R, 2009. "Análisis de la situación del agua (cantidad y residual) en Lima Metropolitana". Proyecto LiWa/Zirn-Sedapal. Lima, Perú.
28. TAHAL (TahalConsultingEngineers), 1990. "Plan maestro de abastecimiento de agua potable de la GAM (Gran Área Metropolitana). Informe final, tomo III: Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos".
29. UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, FR), 2005. "Estrategias para la gestión de recarga de acuíferos en zonas semiáridas". París, Francia.
30. VÉLEZ, M, 2004. "Métodos para determinar la recarga en acuíferos". Postgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Medellín, Colombia.

ANEXOS

Anexo N° 1: Panel fotográfico.



Fotografía 1.- El canal no se encuentra visible por el grado de urbanización de la zona.
Cruce de la Ca. Bucaramanga y Jr. San Juan, a espaldas del colegio Alpamayo.



Fotografía 2.- Presencia de residuos sólidos en el canal.
Av. Prolongación Javier Prado, a la altura del Estadio Monumental



Fotografía 3.- Compuerta del canal en mal estado
Av. Prolongación Javier Prado, a la altura del Estadio Monumental



Fotografía 4.- Sistema de rejas sin mantenimiento
Av. Prolongación Javier Prado, a la altura del Estadio Monumental



Fotografía 5.- Presencia de vegetación y residuos sólidos en el canal.
Zona arqueológica Puruchuco



Fotografía 6.- Recorrido del canal
Urb. Los Portales de Javier Prado, primera etapa.



Fotografía 7.-Extracción de agua para el llenado de camión cisterna
Urb. Los Portales de Javier Prado, primera etapa.



Fotografía 8.- Recorrido del canal
Av. Separadora Industrial, frente a la empresa Backus



Fotografía 9.-Compuerta en el canal
Av. Separadora Industrial, frente a la empresa Backus



Fotografía 10.-Presencia de compuertas múltiples en el canal
Cruce de la Av. Separadora Industrial y Calle Almanza



Fotografía 11.-Presencia de vegetación que ocasiona la pérdida de la sección del canal
Av. Separadora Industrial, desde el Óvalo de Mayorazgo hasta la Av. Huarochirí



Fotografía 12.-Toma de muestra de suelo
Parque Cruz de Mayo, urbanización Los Ángeles de Vitarte, distrito de Ate

Anexo N° 2: Descripción del canal Ate, laterales de riego y obras de arte.

Cuadro A2.1: Lateral Ate L-1

Progresiva	Sección: ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+300	(No visible)	300	(No visible)	Cruce de Av. 27 de Junio y Calle Santa Rosa	Cruce de Calle Hipólito Chumpitaz y Av. 27 e Junio	No visible	
0+300 - 0+500	0.7*0.4	200	Revestimiento de concreto	Cruce de Calle Hipólito Chumpitaz y Av. 27 de Junio	Cruce de Calle Rosa Manuel y Ca. Ferrocarril Central	Bueno	Limpieza de residuos sólidos
0+500 - 1+040	0.7*0.4	540	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Calle Rosa Manuel y Ca. Ferrocarril Central	Cruce de Av. Boulevard El Romero y Av. Javier Prado	Bueno	
1+230 - 1+740	0.7*0.4	510	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Av. Javier Prado y Av. San Juan	Cruce de Calle Isabelitas y Av. San Juan	Bueno	
1+740 - 2+840	Variable	1100	Sin revestimiento, con presencia de maleza	Cruce de Calle Isabelitas y Av. San Juan	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. San Juan	Bueno	Quitar maleza
2+840 - 3+419	Variable	579	Revestimiento de concreto y tapado.	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. San Juan	Cruce de Av. San Juan y Ca. 1° de Mayo	Malo	Fuera de uso. Requiere limpieza y retiro de desmante
Longitud total (m)		3419					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.2: Lateral Ate L-1.1

Progresiva	Sección: ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+420	No visible	420	No visible	Cruce de Av. San Juan y Calle Isabelitas	Cruce de Calle San Andrés y Av. Boulevard Romero	No visible
0+420 - 1+050	Variable	630	Sin revestimiento	Cruce de Calle San Andrés y Av. Boulevard Romero	Cruce de Calle San Luis y Calle San Ignacio	Regular
Longitud total (m)		1050				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.3: Lateral Ate L-1.2

Progresiva	Sección: ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+530	(sin información)	530	Revestimiento de concreto	Cruce de Calle Isabelitas y Av. San Juan	Cruce de Calle San José y Av. San Juan	(sin información)
Longitud total (m)		530				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.5: Lateral Ate L-2

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+320	(No visible)	320	(No visible)	Cruce de Jr. San Martín y Av. Rivadavia	Cruce de Calle Antonio Nariño y Av. Rivadavia	No visible	
0+320 - 0+600	(No visible)	280	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Calle Antonio Nariño y Av. Rivadavia	Cruce de Calle José Crespo y Av. Javier Prado	Bueno	Al término de esta, inicia la lateral Ate L-2.1
0+600 - 0+800	Variable	200	Sin revestimiento	Cruce de Calle José Crespo y Av. Javier Prado	Cruce de Av. Los Virreyes y Av. Javier Prado	No visible	

0+800 - 1+810	(No visible)	1010	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Av. Los Virreyes y Av. Javier Prado	Cruce de Av. Los Virreyes y Calle Padua	Regular	Mal estado de tapas
1+810 - 1+880	(No visible)	70	(No visible)	Cruce de Av. Los Virreyes y Calle Padua	Cruce de Calle Padua y Calle Dos	No visible	
1+880 - 2+420	0.4*0.5	540	Revestimiento de concreto	Cruce de Calle Padua y Calle Dos	Cruce de Calle Dos y Calle Nápoles	Bueno	
2+420 - 2+550	0.4*0.6	130	Revestimiento de concreto	Cruce de Calle Dos y Calle Nápoles	Cruce de Calle Padua y Calle Dos	Bueno	
Longitud total (m)		2550					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.6: Lateral Ate L-2.1

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+490	Variable	490	Sin revestimiento	Cruce de Calle José Crespo y Av. Javier Prado	Cruce de Av. Metropolitana y Av. Los Ángeles	Malo	Al término de este, inicia la lateral Ate L- 2.1.1
0+490 - 1+030	Variable	540	Sin revestimiento	Cruce de Av. Metropolitana y Av. Los Ángeles	Cruce de Av. Metropolitana y Av. El Sol	Malo	Al término de este, inicia la lateral Ate L- 2.1.2
1+030 - 1+700	Variable	670	Sin revestimiento	Cruce de Av. Metropolitana y Av. El Sol	Cruce de Av. Metropolitana y Av. Separadora Industrial	Malo	Requiere limpieza de residuos sólidos
Longitud total (m)		1700					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.7: Lateral Ate L-3

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+620	(No visible)	620	(No visible)	Cruce de Calle Marianas y Av. Nicolás Ayllón	Cruce de Av. Marco Puente Llanos y Calle Las Dunas	Bueno	Al término de este, inicia la lateral Ate L-3.1
0+620 - 1+074	0.5*0.3	454	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Marco Puente Llanos y Calle Las Dunas	Calle Berli. Ingres a al Parque Municipal Chiara	Malo	Le falta limpieza
Longitud total (m)		1074					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.8: Lateral Ate L-4

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+040	1.1*1.3	40	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Nicolás Ayllón	Primer cruce de pista en la de Av. Separadora Industrial	Bueno	
0+040 - 0+400	1.0*1.5	360	Revestimiento de concreto	Peimer cruce de pista cerca a la Av. Nicolás Ayllón	Cruce de Av. Separadora Industrial y Calle Almansa	Bueno	Al término de este, inicia la lateral Ate L-4.1
0+400 - 0+540	(No visible)	140	(No visible)	Cruce de Av. Separadora Industrial y Calle Almansa	Cruce de Av. Javier Prado y Calle Almansa	(No visible)	
0+540 - 0+680	1.4*1.0	140	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Javier Prado y Calle Almansa	Av. Javier Prado, a la altura del centro arqueológico Puruchuco, a 60 m de la Calle Ponte Vedra	Bueno	Al término de este, inicia lateral Ate L-4.2 y Ate L-4.3
Longitud total (m)		680					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.9: Lateral Ate L-4.1

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 1+270	Variable	1270	Sin revestimiento	Cruce de Av. Separadora Industrial y Calle Almansa	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Huarochirí	Regular	Al término de este, inicia lateral Ate L-4.1.1
1+270 - 3+120	Variable	1850	Sin revestimiento	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Huarochirí	Av. Separadora Industrial, a 80 m de Av. La Mar	Regular	Requiere limpieza de residuos sólidos y maleza
3+120 - 3+340	(No visible)	220	(No visible)	Av. Separadora Industrial, a 80 m de Av. La Mar	Cruce de Av. La Molina y Av. Separadora Industrial	(No visible)	
3+340 - 4+114	Variable	774	Sin revestimiento	Cruce de Av. La Molina y Av. Separadora Industrial	Cruce de Av. Separadora Industrial y Calle Boulevard	Regular	Requiere limpieza de residuos sólidos y maleza
Longitud total (m)		4114					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.10: Lateral Ate L-4.1.1

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+280	1.1*1.3	280	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Huarochirí	Cruce de Av. Huarochirí y Calle Valladolid	Bueno
0+280 - 0+924	1.1*1.3	644	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Av. Huarochirí y Calle Valladolid	Cruce de Av. Huarochirí y Av. Javier Prado	Bueno
Longitud total (m)		924				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.11: Lateral Ate L-4.2

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+420	Variable	420	Sin revestimiento	Av. Javier Prado, a la altura del centro arqueológico Puruchuco, a 60 m de la Calle Ponte Vedra	Cruce de Calle Puerto Llano y Av. Javier Prado	Regular	Al término de este, inicia lateral Ate L-4.2.1, Ate L-4.2.2 y Ate L-4.2.3
Longitud total (m)		420					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.12: Lateral Ate L-4.2.3

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+960	(No visible)	960	(No visible)	Cruce de Calle Puerto Llano y Av. Javier Prado	Cruce de Calle Los Lirios y Av. A	(No visible)
0+960 - 1+730	1.0*1.2	770	Revestimiento de concreto y tapado	Cruce de Calle Los Lirios y Av. A	Cruce de Calle Bucaramanga y Pasaje Los Claveles	Bueno
Longitud total (m)		1730				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.13: Lateral Ate L-4.3

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 1+590	(sin información)	1590	Sin revestimiento	Av. Javier Prado, a la altura del centro arqueológico Puruchuco, a 60 m de la Calle Ponte Vedra	Av. A, a 60 m de Calle Los Lirios	Muy malo	Choferes de transporte público lavan sus vehículos, arrojando desechos y detergentes al canal.

1+590 - 2+600	0.8*0.9	1010	Revestimiento de concreto	Av. A, a 60 m de Calle Los Lirios	Cruce de Av. El Banco y camino de vigilancia	Regular	
2+600 - 3+190	(No visible)	590	(No visible)	Cruce de Av. El Banco y camino de vigilancia	Cruce de Av. Javier Prado y Av. Huarochirí	(No visible)	
Longitud total (m)		3190					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.14: Lateral Ate L-5

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación	Observaciones
0+000 - 0+530	Variable	530	Sin revestimiento	Cruce de Av. Asturias y Av. Aragón	Cruce de Av. Aragón y Av. Huarochirí	Regular	Al inicio de este, inicia Lateral Ate L-5.1; y al término de este, inicia lateral Ate L-5.2
0+530 - 0+760	0.2*0.3	230	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Aragón y Av. Huarochirí	Cruce de Av. Huarochirí y Calle Cuatro	Bueno	Al término de este, inicia lateral Ate L-5.3
0+760 - 0+980	0.2*0.3	220	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Huarochirí y Calle Cuatro	Cruce de Av. Huarochirí y Av. La Arboleda	Bueno	Al término de este, inicia lateral Ate L-5.4
0+980 - 1+277	Variable	297	Sin revestimiento	Cruce de Av. Huarochirí y Av. La Arboleda	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Huarochirí	Malo	Necesita limpieza
Longitud total (m)		1277					

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.15: Lateral Ate L-5.3

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+250	(No visible)	250	(No visible)	Cruce de Av. Huarochirí y Calle Cuatro	Cruce de Calle Cuatro y Calle Santa Raquelita	(No visible)
0+250 - 0+630	Variable	380	Sin revestimiento	Cruce de Calle Cuatro y Calle Santa Raquelita	Cruce de Calle Cuatro y Av. Los Ingenieros	Bueno
0+630 - 1+610	Variable	980	Sin revestimiento	Cruce de Calle Cuatro y Av. Los Ingenieros	Cruce de Av. La Mar y Av. Urubamba	Regular
1+610 - 1+860	Variable	250	Sin revestimiento	Cruce de Av. La Mar y Av. Urubamba	Cruce de Av. La Mar y Av. La Molina	Malo
Longitud total (m)		1860				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Cuadro A2.16: Lateral Ate L-5.4

Progresiva	Sección - ancho*alto (m)	Longitud (m)	Condición actual	Inicio	Fin	Estado de conservación
0+000 - 0+550	0.5*0.4	550	Revestimiento de concreto	Cruce de Av. Huarochirí y Av. La Arboleda	Cruce de Av. La Arboleda y Calle Uno	Bueno
0+550 - 0+780	Variable	230	Sin revestimiento	Cruce de Av. La Arboleda y Calle Uno	Cruce de Av. La Arboleda y Av. Los Ingenieros	Malo
0+780 - 1+117	Variable	337	Sin revestimiento	Cruce de Av. La Arboleda y Av. Los Ingenieros	Cruce de Av. Separadora Industrial y Av. Los Ingenieros	Regular
Longitud total (m)		1117				

FUENTE: Municipalidad de Ate, 2012.

Anexo N° 3: Relación de áreas verdes en el distrito de Ate.

A. Parques: Utilizan un sistema de riego por inundación. Los camiones cisterna son llenados con agua del canal Ate.

ZONA 1					
Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Miguel Grau	Huáscar	2,127.65		X	
	Miguel Grau	5,144.40			
Los Álamos	Los Álamos	4,805.52	X		
Jardines de Salamanca	La Esperanza	1,475.15		X	
	Azucenas	1,997.85			
	Chancas	616.70			
	Chavín	643.34			
	Chimú	636.57			
Salamanca de Monterrico	Alipio Ponce	492.95		X	
	FAP	800.70			
	Huamán Poma	694.50			
Los Recaudadores	Lima	4,465.55		X	X
	Arequipa	471.85			
	Arróspide	7,672.10			
	Ica	2,959.05			
	Molle	178.21			
	Pachacútec	744.05			
Residencial Salamanca de Monterrico	Gutiérrez	762.90		X	
	Angamos	1,005.20			
	Cajamarca	872.15			
	Huaura	975.40			
	Pachacámac	4,523.95			
	Piura	697.55			
	Portillo	439.22			
	Trujillo	822.41			
	Tuito	5,750.50			
	Tungasuca	947.35			
	Vilcaconga	912.55			
	Vilcas	2,136.05			
	Yucay	927.55			

ZONA 1

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Agrupación Residencial Salamanca de Monterrico	Humboldt	652.10		X	
	Daniel A. Carrión	459.60			
	Fitzcarrald	4,141.20			X
	Prescott	1,802.70			
Javier Prado - VI Etapa	Amistad	4,120.90		X	
	Las Flores	761.20			
Los Parques de Monterrico	Dalias o Guindas	1,806.80		X	
	Nº 2 Las Gardenias, Bomberos o Eucaliptos	3,382.45			X
Linda Vista de Monterrico	Trébol	5,042.80		X	X
Olimpo - II Etapa	Zeus 1	15,230.90	X		
	Zeus 2	13,827.90			
Olimpo - III Etapa	Juno	8,563.82	X		
Olimpo - IV Etapa	Apolo	4,805.05	X		
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 1 (m²)		121,296.34			

ZONA 2

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Mayorazgo chico	Nº 1 Asturias o Mollieri	4,930.55		X	
	El Niño	2,868.70			
	ABC	477.15			
	Nº 2 - Domingo Sarmiento	4,161.40			
	Nº 3 - Marticorena	2,357.50			X
Mayorazgo - I Etapa	Nº 1 - Pedro Ruiz Gallo	3,290.00		X	
	Nº 2 - Jorge Chávez	1,903.10			
	Nº 3 - Fermín Tangüis	4,024.80			
Mayorazgo - II Etapa	Nº 1 - Sedapal o D. A. Carrión	2,725.35			X
	Nº 2 - Ignacio Merino	2,728.35		X	
	Divino Niño Jesús	725.80			X

ZONA 2

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Mayorazgo - III Etapa	Nº 1 La Capilla o José M. Arguedas	6,356.80		X	
	Ramón Castilla	1,800.00			
	Santos Chocano	2,596.00			
	Nº 2	1,522.45			X
Mayorazgo - IV Etapa	Nº 1 o Ciro Alegría	2,661.80		X	
	Nº 2 o Dante Alighieri	3,350.90			
	Nº 3 o Julio Ramón Ribeiro	3,246.81			
	Nº 4 o Miguel de Cervantes	1,973.67			
La Merced de Ate	Nº 1 o Abraham Valdelomar	3,553.10	X		
	Nº 2 o Polo Jiménez	2,472.60		X	
	Nº 3 o La Merced	6,993.00			
Cooperativa de Vivienda 27 de Abril	Nº 1 o Libertad	7,644.05	X	X	
	Nº 2 o Solidaridad	5,794.30			
Asoc. Pro. Viv. Los Claveles	Los Claveles	4,041.95		X	X
Asoc. Pro. Viv. Los Clavelitos	Los Clavelitos	396.85			X
Santa Raquel	Nº 1 o Protocolo Río de Janeiro	3,429.10	X		
	Nº 2 o Central o Clorinda Matto de Turner	4,096.60		X	
Banco de Javier Prado	Los Gladiolos	2,530.60			
	Plazuela Los Tulipanes	1,078.80			
	Plazuela Los Lirios	2,245.00			
	Plazuela Las Margaritas	3,536.10			
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 2 (m²)		101,513.18			

ZONA 3

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Cooperativa de Vivienda Sol de Vitarte	Nº 1 o Pedro Garenzon	4,468.30	X		
	Nº 2 o Bonameisson	4,070.10			
	Nº 3 o Asterion	8,440.80			
	Nº 4 o Odin	6,728.90		X	X
	Nº 5 o Phoenix	8,318.75			
	Nº 6	2,325.25			
	Nº 7	3,310.10	X		
Asociación de Vivienda Fortaleza de Vitarte	Nº 1	1,316.50		X	
	Nº 2	2,273.35			X
	Nº 3 o Hera	2,679.50			
	Nº 4 A	3,758.15	X		
	Nº 4 B	2,069.45			
	Nº 5	3,812.25			
Los Ángeles de Vitarte	Nº 1 o Cruz de Mayo	9,182.65			X
	Nº 2 o José Olaya	8,409.60			
	Nº 3 o Indira Ghandi	6,581.90			
	Nº 4 o Santa Rosa	8,517.20			
	Nº 5 o San Martín	7,421.80			
Ceres - I Etapa	Cultural o Venus	6,443.74	X		
	Área verde de la Av. Javier Prado	8,649.82			
Ceres - II Etapa	Nº 1 o María Reiche o Los Héroes	3,159.10			X
	Nº 2 o La Gloria	2,523.85		X	
	Nº 3 o Vivero Municipal o Los Naranjos	7,498.50	X		
Ceres - III Etapa	Nº 1 o Riso o Miguel A. Asturias	2,802.00			X
	Nº 2 o Humboldt	5,919.10		X	
	Nº 3 - Colegio Nº 1142	3,244.10	X		
Tilda	Nº 1 o Tambopata	5,561.20	X		
	Nº 2 o Amazonas	8,925.20			

ZONA 3

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
Los Portales de Javier Prado	Puruchuco - I Etapa	7,069.15	X		X
	Las Monjas - II Etapa	1,194.05		X	
	Guillermo García García - II Etapa	4,273.70			X
	Manuel Medina - III Etapa	2,068.04			
	Samuel Mc Mahon - V Etapa	1,655.00			X
	Nicanor Asin - V Etapa	3,018.55			
Las Cascadas de Javier Prado	Nº 2 o Meliton Rodríguez	4,147.20	X	X	
	Nº 3 o Triángulo	1,239.90			X
	José María Ugarteche	8,874.70		X	
Asociación de Vivienda La Florida	Parque 1	2,375.46		X	
	Parque 2	2,477.72			
Asociación de Vivienda Virgen Del Carmen	Nº 1	3,148.65		X	
	Nº 2 o Hecate	8,990.30			X
	Nº 3 o Aurelio García García	4,273.70			
Alameda de Ate	Nº 1 - Urb. Alameda de Ate	1,739.25		X	X
	Nº 2 o Minerva	3,309.55			
	Nº 3 - Urb. Alameda de Ate	3,403.40	Parque en remodelación		
Asociación de Vivienda Alejandro Álvarez	Nº 2, Nº 3 y Nº 4	2,558.50		X	
	Nº 1 u Ollantay	2,133.25			
Coop. de Viv. Las Palmeras	Palmeras o Manuel Candamo	2,494.70		X	
Santa Rosita de Ate	Santa Rosita	17,174.00	X		
Las Brisas de Ate	Las Brisas de Ate o De la Juventud	2,867.05		X	
Asoc. De Viv. Las Gardenias	Las Gardenias - I Etapa	2,646.05		X	
Asoc. De Viv. El Rosal	El Rosal	6,299.60		X	X
Asoc. De Viv. Villa Vitarte	Principal o Mercurio	4,209.10		X	X
Asoc. Casa Huerta Cangar	Javier Cuellar Mauriola	141.31			X

AA.HH. Micaela Bastidas - Sector 1	N° 1	272.00			X
AA.HH. Sta. María de Vitarte	Santiago Támara	272.00		X	
AA.HH. Inmigrantes de Chincho	Carlos Hero	1,031.00		X	
Prog. De Viv. Alfa y Omega	16 C	5,991.96			X
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 3 (m²)		259,760.00			

ZONA 4

Urbanización	Nombre del parque	Área verde (m²)	Fuente para el riego		
			Canal	Pto. de agua	Cisterna
AA.HH. San Antonio	San Antonio	1,936.38			X
AA.HH. 25 de Julio	25 de Julio	1,193.96			X
	Los Cisnes	1,832.47			
Asoc. De Viv. 1 de Enero	1° de Enero	2,191.14		X	
AA.HH. Javier Heraud I	Pasaje 2	745.65			X
Asoc. De Viv. Los Laureles	Los Laureles	551.39			X
Asoc. Pro Viv. El Olivar de Ate	El Olivar	902.57			X
Asoc. De Viv. Los Topacios	Los Topacios	1,567.48		X	
Asoc. De Viv. Girasol de Vitarte	El Girasol	1,583.64		X	
Asoc. De Viv. San Andrés	Sarita Colonia	1,361.34			X
	San Andrés	1,475.39		X	
Centro Poblado Sector 20 Vitarte	Plaza de Armas de Ate	2,664.97		X	
Asoc. De Viv. Félix Raucana	Raucana	144.70		X	
Asoc. De Viv. Jardín Azul	Jardín Azul	673.00			X
Prog. De Viv. Los Robles de Ate	Parque N° 1	1,634.00			X
Asoc. De Viv. Cruz de Huanchihuaylas	Cruz de Huanchihuaylas	774.00		X	
Coop. De Viv. EL Éxito	El Éxito	1,200.00		X	
Asoc. De Viv. Ricardo Palma	Ricardo Palma	1,212.90			X
Asoc. Prov. Santa Rosa	Santa Rosa	350.00			X

Asoc. De Viv. San Carlos de Esperanza	Monte Sinaí	714.95		X	
Prog. De Viv. Las Américas	Las Américas	2,203.63			X
AA.HH. Amauta A	Maltesu	398.02			X
	Frutales	254.53			
	San Julián	133.73			
AA.HH. Amauta B	Amauta B	208.02			X
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 4 (m²)		27,907.85			

ÁREA TOTAL DE PARQUES EN ATE	510,477.37 m²
	51.05 ha

Fuente: Municipalidad de Ate, 2012.

B. Bermas: Utilizan un sistema de riego por inundación. Los camiones cisterna son llenados con agua del canal Ate.

ZONA 1						
Ubicación de berma	Tramo		Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
	Inicio	Fin		Canal	Pto. de agua	Cisterna
Av. Hermes	Av. Sep. Industrial	Calle Zeus	700.00	X		
	Calle Zeus	Av. Evitamiento	1,400.00		X	
Av. Euterpe	Av. Sep. Industrial	Av. Los Quechuas	2,100.00	X		
Av. Los Quechuas	Av. Evitamiento	Av. Terpsicore	4,260.00	X		
	Av. Terpsicore	Av. Sep. Industrial	3,740.00			X
Av. Tepsicore	Av. Sep. Industrial	Av. Los Quechuas	1,750.00			
Av. Sep. Industrial	Av. Evitamiento	Av. Sep. Industrial	50,000.00	X		
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 1 (m²)			63,950.00			

ZONA 2						
Ubicación de berma	Tramo		Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
	Inicio	Fin		Canal	Pto. de agua	Cisterna
Av. Sep. Industrial	Calle Almanza	Calle Boulevard	215,175.56	X		
Av. La Molina	Av. Sep. Ind. c/ Av. La Molina	Av. N. Ayllón c/ Av. La Molina	9,263.70			X
Av. Los Frutales	Av. Sep. Industrial	Av. Nicolás Ayllón	6,217.64			X
Av. La Mar	Av. Urubamba	Av. La Mar	2,776.17			X
Av. La Arboleda	Av. Huarochirí	Calle Cuatro	8,150.17			

Av. Aragón	Av. Asturias	Av. Asturias c/ Av. Huarochirí	7,461.24	X		
Av. Huarochirí	Av. Aragón	Av. Javier Prado	43,853.31	X		
Av. A	Calle Cuatro	Av. Javier Prado	2,360.00	X		
Av. Las Palmas	Av. Javier Prado	Av. Sep. Industrial	2,600.00			X
Av. Asturias	Av. Javier Prado	Av. Sep. Industrial	1,800.00			X
Av. Javier Prado	Calle Londres	Av. Huarochirí	58,400.00	X		
Av. Arboleda	Av. Huarochirí	Calle Uno	7,965.00	X		
Av. Los Ingenieros	Av. Sep. Industrial	Av. Urubamba	7,200.00	X		
	Av. Los Ingenieros	Av. La Molina	6,400.00	X		
Av. Calca	Av. Ramiro Prialé	Av. La Mar	1,500.00			X
Av. Los Castillos	Av. Sep. Industrial	Calle María Curie	6,400.00			X
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 2 (m²)			387,522.80			

ZONA 3

Ubicación de berma	Tramo		Área verde (m ²)	Fuente para el riego		
	Inicio	Fin		Canal	Pto. de agua	Cisterna
Av. Rivadavia	Calle Santa María	Av. Javier Prado	4,000.00			X
Av. Metropolitana	Av. Javier Prado	Av. Sep. Industrial	19,575.87	X		
Av. San Juan	Av. Javier Prado	Av. Sep. Industrial	15,420.00	X		
	Av. Sep. Industrial	Calle 1° de Mayo	9,580.00	X		
Av. Las Gaviotas	Av. Sep. Industrial	Av. Del Parque	8,870.00			X
Av. Los Ángeles	Calle Virreyes	Av. El Sol	5,445.00	X		
	Av. El Sol	Av. Sep. Industrial	3,808.00			X
Av. El Sol	Av. Metropolitana	Av. Nicolás Ayllón	4,211.00	X		
Av. La Capuccina	Boulevard El Romero	Av. 26 de Mayo	2,100.00			X
ÁREA TOTAL EN LA ZONA 3 (m²)			73,009.87			

ÁREA TOTAL DE BERMAS EN ATE

524482.66 m²

52.45 ha

Fuente: Municipalidad de Ate, 2012.

Anexo N° 4: Resultados del Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes, de la Facultad de Agronomía de la UNALM.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CLAUDIA CHIONG RAVINA

PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ ATE

REFERENCIA : H.R. 42654

BOLETA : 10448

FECHA : 12/11/2013

Número Muestra		Arena	Limo	Arcilla	Clase
Lab	Claves	%	%	%	Textural
5775		56	40	4	Fr.A.

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número Muestra		C.C.	P.M.	D.A.
Lab	Claves	%	%	g/cm ³
5775		19.72	10.81	1.61



[Firma]
Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : CLAUDIA CHIONG RAVINA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ ATE
REFERENCIA : H.R. 42677
BOLETA : 10460

No. Laboratorio	873
No. Campo	
pH	7.54
C.E. dS/m	0.65
Calcio meq/L	4.42
Magnesio meq/L	0.60
Potasio meq/L	0.13
Sodio meq/L	1.87
SUMA DE CATIONES	7.02
Nitratos meq/L	0.03
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	2.13
Sulfatos meq/L	2.40
Cloruros meq/L	2.45
SUMA DE ANIONES	7.01
Sodio %	26.64
RAS	1.18
Boro ppm	0.12
Clasificación	C2-S1

La Molina, 07 de Noviembre del 2013



Sady García Bendezu
Dr. Sady García Bendezu
Jefe del Laboratorio

Interpretación de la Calidad de Riego

La salinidad total es determinada por la medición de la conductividad del agua. (CE.) Expresada en unidades de deci Siemens por metro (d Sm⁻¹) o en milimhos por centímetro (mmhos cm⁻¹). También puede ser expresada como la cantidad total de sales disueltas (TDS), donde: TDS (en ppm o mgL⁻¹) = 640 x CE (en d Sm⁻¹ ó mmhos cm⁻¹)

Cuadro 1 Clasificación de las aguas de riego basada en su CE y TDS

Peligro de Salinidad	Características	CE dSm-1	TDS ppm
Bajo (C ₁)	* Bajo peligro de salinidad, no se espera efectos dañinos sobre las plantas y suelos.	<0.25	< 160
Medio (C ₂)	* Plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales; moderada lixiviación previene la acumulación de sales en el suelo.	0.25 - 0.75	160 - 500
Alto (C ₃)	* Salinidad afectará a muchas plantas. Requiere: selección de plantas tolerantes a salinidad, buen drenaje y lixiviación.	0.75 - 2.25	500 - 1500
Muy Alto (C ₄)	* Generalmente no aceptable, excepto para plantas muy tolerantes a sales, se requiere excelente drenaje y lixiviación.	> 2.25	>1500

* SAR (Relación de Absorción de Sodio): $SAR = Na \text{ en meq } L^{-1} / ((Ca + Mg \text{ en meq } L^{-1})/2)^{1/2}$

Cuadro 2 Peligro de Sodio basado en el valor del SAR

Peligro de Na	SAR del agua	Comentarios sobre el peligro de Na
Bajo (S ₁)	<10	* Puede usarse para el riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción de la estructura.
Medio (S ₂)	10 - 18	* Puede desmejorarse la permeabilidad de suelos de textura fina con alta CIC. Puede usarse en suelos de textura gruesa con buen drenaje.
Alto (S ₃)	18 - 26	* Se producen, daños de los suelos, por acumulación de Na. Se requerirá intensivas prácticas de aplicación de enmiendas, drenaje y lixiviación.
Muy Alto (S ₄)	>26	* Generalmente no recomendable para el riego excepto en suelos de muy bajo contenido de sales: Se requerirá prácticas de manejo.

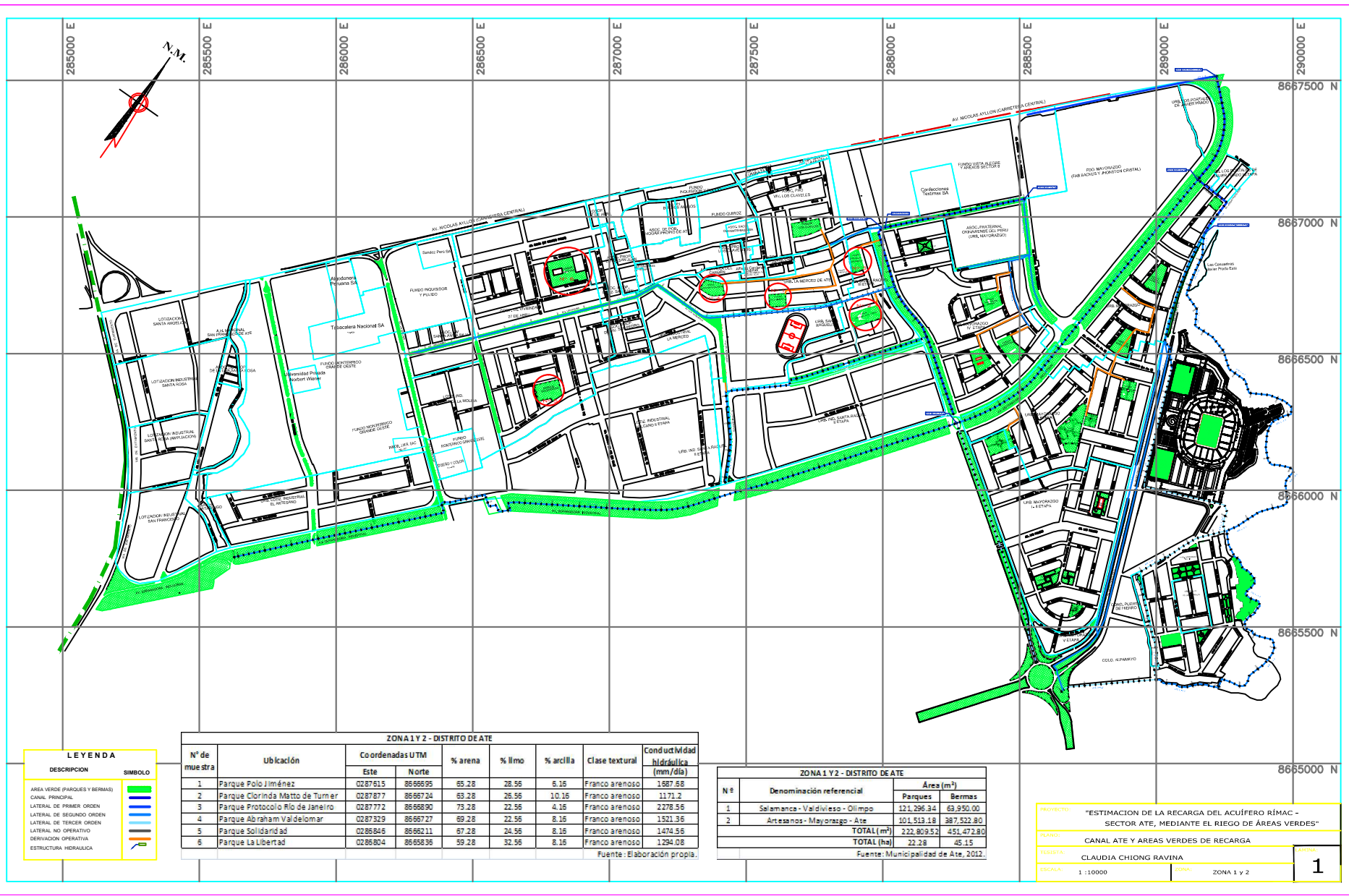
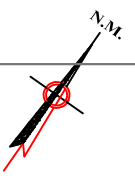
* Carbonato de sodio residual. (RCS.) Tercer criterio que se usa para juzgar el peligro de sodio en las aguas de riego. Es definido como: $RCS = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$.

Cuadro 3 Peligro de Sodio basado en el valor del RSC

Valores de RSC (meq L ⁻¹)	Peligro de Na
> 0 (valores negativos)	* <i>Ninguno.</i> Ca y Mg del agua no participarán como carbonatos, ellos se mantienen Activos para prevenir la acumulación de Na en los sitios de cambio de la CIC.
0 - 1.25	* <i>Bajo.</i> Existe alguna remoción del Ca y Mg del agua de riego.
1.25 - 2.50	* <i>Medio.</i> Apreciable remoción de Ca y Mg del agua de riego.
> 2.50	* <i>Alto.</i> Todo o mayor parte del Ca y Mg del agua de riego es removido como carbonato precipitado produciendo acumulación de Na.

Anexo N° 5:

Planos



LEYENDA	
DESCRIPCION	SIMBOLO
AREA VERDE (PARQUES Y BERMAS)	
CANAL PRINCIPAL	
LATERAL DE PRIMER ORDEN	
LATERAL DE SEGUNDO ORDEN	
LATERAL DE TERCER ORDEN	
LATERAL NO OPERATIVO	
DERIVACION OPERATIVA	
ESTRUCTURA HIDRAULICA	

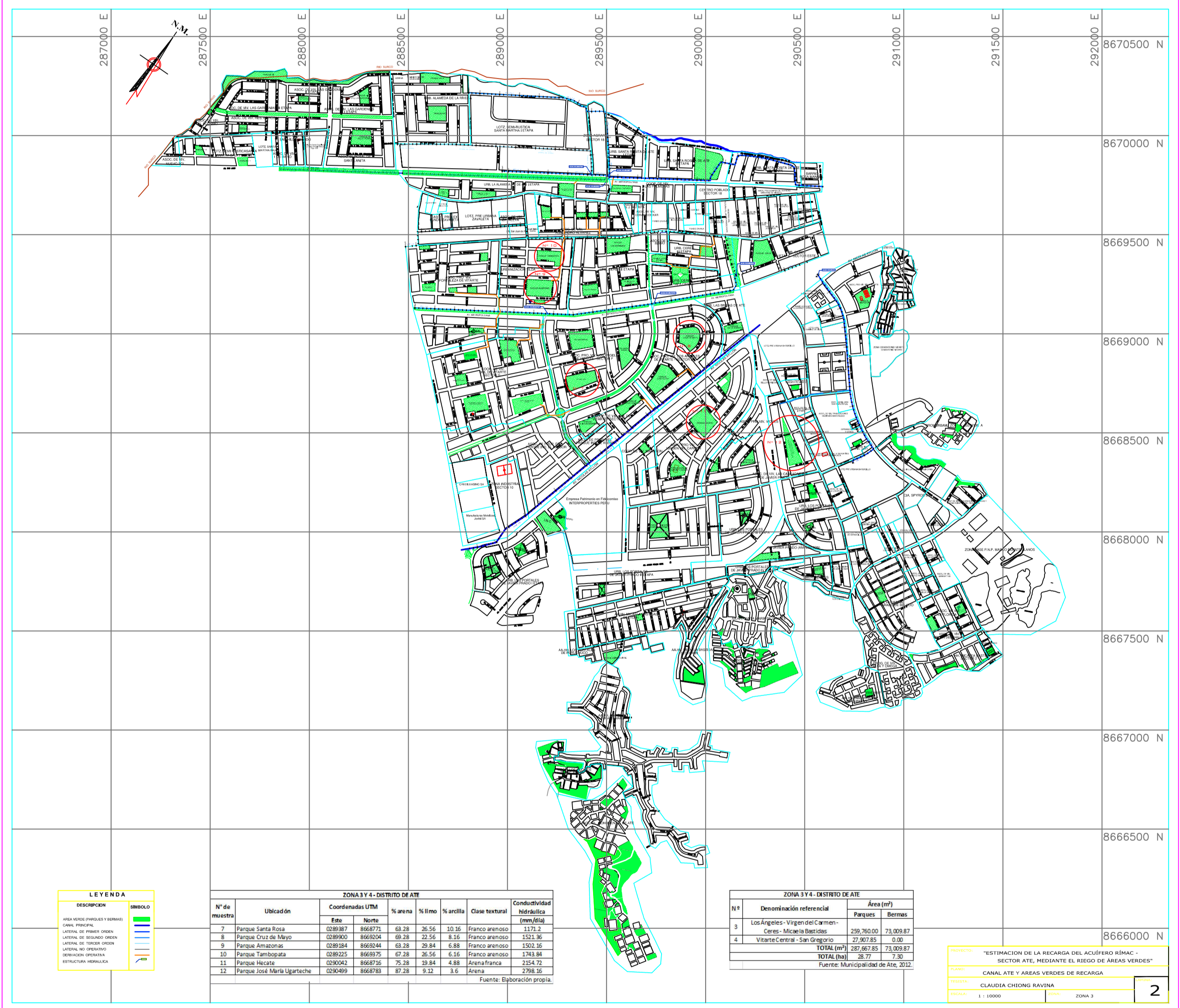
ZONA 1 Y 2 - DISTRITO DE ATE								
N° de muestra	Ubicación	Coordenadas UTM		% arena	% limo	% arcilla	Clase textural	Conductividad hidráulica (mm/día)
		Este	Norte					
1	Parque Polo Jiménez	0287915	8666995	85.28	28.56	8.16	Franco arenoso	1687.88
2	Parque Clarinda Matto de Turner	0287877	8666724	83.28	26.56	10.16	Franco arenoso	1171.2
3	Parque Protocolo Rio de Janeiro	0287772	8666890	73.28	22.56	4.16	Franco arenoso	2278.56
4	Parque Abraham Valdelomar	0287329	8666727	69.28	22.56	8.16	Franco arenoso	1521.36
5	Parque Solidaridad	0286846	8666211	87.28	24.56	8.16	Franco arenoso	1474.96
6	Parque La Libertad	0286804	8665826	59.28	32.56	8.16	Franco arenoso	1294.08

Fuente: Elaboración propia.

ZONA 1 Y 2 - DISTRITO DE ATE			
N°	Denominación referencial	Área (m²)	
		Parques	Bermas
1	Salamanca - Valdivieso - Olimpo	121,296.34	69,950.00
2	Artesanos - Mayorazgo - Ate	101,513.18	387,522.80
TOTAL (m²)		222,809.52	457,472.80
TOTAL (ha)		22.28	45.15

Fuente: Municipalidad de Ate, 2012.

PROYECTO:	"ESTIMACION DE LA RECARGA DEL ACUIFERO RÍMAC - SECTOR ATE, MEDIANTE EL RIEGO DE ÁREAS VERDES"
PLANO:	CANAL ATE Y ÁREAS VERDES DE RECARGA
ELABORA:	CLAUDIA CHIONG RAVINA
ESCALA:	1 : 10000
FOCO:	ZONA 1 y 2



LEYENDA

DESCRIPCION	SIMBOLO
AREA VERDE (PARQUES Y BERMAS)	[Green fill]
CANAL PRINCIPAL	[Blue line]
LATERAL DE PRIMER ORDEN	[Blue line]
LATERAL DE SEGUNDO ORDEN	[Blue line]
LATERAL DE TERCER ORDEN	[Blue line]
LATERAL NO OPERATIVO	[Blue line]
DEVIACION OPERATIVA	[Blue line]
ESTRUCTURA HERALDICA	[Blue line]

ZONA 3 Y 4 - DISTRITO DE ATE

N° de muestra	Ubicación	Coordenadas UTM		% arena	% limo	% arcilla	Clase textural	Conductividad hidráulica (mm/día)
		Este	Norte					
7	Parque Santa Rosa	0289387	8668771	63.28	26.56	10.16	Franco arenoso	1171.2
8	Parque Cruz de Mayo	0289400	8668504	69.28	21.56	8.16	Franco arenoso	1521.36
9	Parque Amazonas	0289384	8668344	63.28	29.84	6.88	Franco arenoso	1503.16
10	Parque Tambopata	0289225	8668975	67.28	26.56	6.16	Franco arenoso	1743.84
11	Parque Hecate	0290042	8668716	75.28	19.84	4.88	Arena franca	2154.72
12	Parque José María Ugarteche	0290499	8668783	87.28	9.12	3.6	Arena	2798.16

Fuente: Elaboración propia.

ZONA 3 Y 4 - DISTRITO DE ATE

N°	Denominación referencial	Área (m²)	
		Parques	Bermas
3	Los Angeles - Virgen del Carmen - Ceres - Micaela Bastidas	259,760.00	73,009.87
4	Vitarte Central - San Gregorio	27,907.85	0.00
TOTAL (m²)		287,667.85	73,009.87
TOTAL (ha)		28.77	7.30

Fuente: Municipalidad de Ate, 2012.

PROYECTO: "ESTIMACION DE LA RECARGA DEL ACUIFERO RÍMAC - SECTOR ATE, MEDIANTE EL RIEGO DE AREAS VERDES"

PLANO: CANAL ATE Y AREAS VERDES DE RECARGA

FECHA: CLAUDIA CHIONG RAVINA

ESCALA: 1 : 14000

TOTAL: ZONA 3