

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTE

CARRERA: ARQUITECTURA

TFG – I

**“LINEAMIENTOS PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LA DESCARGA
DEL ACUIFERO PATIÑO.”**

GRADO PRETENDIDO:

ARQUITECTA

NOMBRE DE LA POSTULANTE:

MARIA BERTHA PERONI PEÑA

TUTOR:

ARQ. RODRIGO RESCK

San Lorenzo, Paraguay

Mayo - 2016

AGRADECIMIENTOS

a federico y teresita,
a mis hermanos,
a mis profesores
a mis compañeras de facultad.

A todos los que gentilmente me proporcionaron la información para la recolección y el análisis de datos.

Índice

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
INTRODUCCION	1
Objetivos generales	2
Objetivos específicos	2
Justificación de la elección del tema	3
CAPITULO I: Marco Teórico	5
1.1. Enfoque sistémico	5
1.2 Fases metodológicas/Etapas de la investigación	6
1.2.1 Formulación.....	6
1.2.2 Caracterización de la situación/recopilación de datos.....	7
1.2. El acuífero Patiño como sistema socio-ambiental	7
1.2.1. Cuenca del acuífero Patiño: Desarrollo sostenible.....	8
1.2.2.Hidrología	10
1.3. Relación ciudad-ciclo hidrológico	10
1.4. Concepto del ciclo de agua urbano	12
1.5. Acuífero	14
1.6. Clasificación según condición hidráulica	14
1.6.1. Acuíferos libres o freáticos	15
1.6.2. Acuíferos confinados.	15
1.6.3. Acuíferos semiconfinados o acuitardo.....	16
1.7. Distribución vertical del agua en el suelo	17
1.7.1. Zonas de humedad en el suelo: zona vadosa o de aireación	18
1.7.2. Zona de Saturación	19
1.7.3. Agua en forma de vapor	19
1.8. Infiltración	19
1.9. Factores que influyen en la infiltración	20

1.10. Escorrentía superficial	23
1.10.1 Concepto	23
1.10.2. Escorrentía superficial por falta de infiltración	24
1.10.3. Escorrentía subterránea	24
1.10.4. Escorrentía subsuperficial	24
1.10.5. Escorrentía superficial por saturación.	25
1.10.6. Variables que inciden en la escorrentía	25
1.10.7. Red de flujos.....	25
1.11. Relaciones entre las escorrentías superficiales y subterráneas	27
1.12. Zonas hidrogeológicas	30
1.12.1. La zona de recarga.....	30
1.12.2. Zona de transmisión	30
1.12.3. Zona de descarga.....	31
1.13. Balance hídrico subterráneo	32
1.13.1. Balance superficial integrado	32
1.13.2. Parámetros de entrada (valores anuales).	32
1.13.3. Parámetros de salida (valores anuales).....	33
1.13.4. Balance Subterráneo.....	33
1.13.5. Parámetros de entrada (valores anuales).	33
1.13.6 Parámetros de salida (valores anuales).....	33
 CAPITULO II: Descarga del acuífero Patiño y su relación con las poblaciones locales	 35
2.1 Descripción general	35
2.2. Geología del acuífero Patiño. Corte del acuífero Patiño.	38
2.3 Hidrología. Cuencas y Agua Superficial.	41
2.4 Zonas hidrogeológicas del acuífero Patiño	43
2.4.1 Las zonas de recarga	43
2.4.2 Zonas de Descarga	46
2.5 Topografía	48
2.6 Precipitación y recarga artificial.....	50
2.7 Clima	54
2.8 Densidad poblacional.	54
2.9 Usos del suelo.	56
2.10 Red de desagüe cloacal. Pozos ciegos	58
2.11 Red de Agua Corriente. Río/Acuífero.	61

2.12 Red de desagüe pluvial.....	63
2.13 Vías principales	63
2.14. Gobernabilidad del agua en el Paraguay.	65
CAPITULO III: Riesgos existentes de la descarga del acuífero Patiño.	67
3.1. Riesgos directos.....	67
3.1.1 La sobreexplotación	67
3.1.2 Consumo doméstico (comparativo del calculo del 2005 con el 2015)	70
3.1.3 Consumo industrial y de servicios	74
3.1.4 Consumo Agrícola y Ganadero	77
3.1.5 La salinización como consecuencia de la sobreexplotación.	81
3.1.6 Descenso en los niveles estáticos.....	85
3.2. Riesgo indirectos	88
3.2.1. Riesgos de polución.	88
3.2.2. Contaminación:.....	89
3.3. Riesgos Potenciales.....	90
3.4. Vulnerabilidad del Acuífero Patiño	93
CAPITULO IV: Diagnóstico Integrado (Conclusión del análisis)	98
4.1 Conflictos y Potencialidades.....	98
4.1.1 Conflictos	98
4.1.2 Potencialidades	100
CAPITULO V: Propuesta de solución según diagnóstico relevado	101
5.1. Estrategias de Intervención para garantizar el suministro de agua potable.	101
.....	101
5.1.1. La descarga sostenible del Acuífero Patiño.	101
5.1.2. Rendimiento Sostenible: garantizar el suministro de agua potable a las poblaciones.	102
5.1.3. Protección de fuentes de abastecimiento de agua subterránea (pozos, perforaciones, manantiales)	103
5.1.4 Tipos de protección	106
5.1.5 Áreas de captura de la fuente	106
5.1.6 Parque de protección de área de captura de las fuente en las cotas altas.	108
.....	108
5.1.7 Áreas de protección microbiológica.....	111
5.1.8 Zona operacional del pozo	114

5.1.9 Prevenir interferencia de pozos.....	114
5.1.10 Autoridad Ambiental con manejo de un modelo hidráulico.	115
5.2. Lineamientos sostenibles para las poblaciones de la zona.....	117
5.2.1 Propuesta de ubicación de tomas de agua del Río Paraguay para el consumo humano e industrial.....	117
5.2.2 Pago selectivo del recurso hídrico de acuerdo a la oferta.....	120
5.2.3 Medidores de desagüe cloacal.....	120
5.2.4. Cosecha de lluvia en viviendas.	121
5.2.5. Infiltración de agua de lluvia en zonas cercanas a puntos críticos.....	123
5.2.6 Plantas de tratamientos de efluentes	128
5.2.7 Parque lineales de protección de fuentes.	130
5.3 Sugerencias para la reducción del consumo de agua en el sector industrial y de servicios.....	137
5.3.1 Equilibrio entre el consumo y la infiltración en los predios industriales.....	137
5.3.2 Reciclaje del agua por medio de conocimiento de procesos industriales.	137
5.3.3 Parques industriales de infraestructura compartida en zonas abastecidas por tomas de Río.	139
5.4 Sugerencias para la reducción del consumo de agua en el sector de agricultura y ganadería.	141
5.4.1 Reducir el consumo de agua agrícola a través de la utilización de sistemas de riego mas eficientes.....	141
5.4.2. Promover la agro forestación en zonas rurales.....	141
CAPITULO VI: Conclusión.....	144
Bibliografía.....	146
Anexo.....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de los tres pilares de desarrollo sostenible.	9
Figura 2: Ciclo Hidrológico Urbano	14
Figura 3: Acuífero de tipo libre	15
Figura 4: Acuífero de tipo confinado	16
Figura 5: Tipos de Acuíferos	17
Figura 6: Distribución vertical del agua en el suelo.....	17
Figura 7: Infiltración.....	19
Figura 8: La permeabilidad del suelo	20
Figura 9: Infiltración según tipos de suelo.....	21
Figura 10: Transmisividad	23
Figura 11: Escorrentía Superficial	24
Figura 12: Escorrentía superficial por saturación.....	25
Figura 13: Red de flujo esquematizando el flujo subterráneo natural en la región de conductividad hidráulica homogénea.....	27
Figura 14: Ríos efluentes	27
Figura 15: Ríos influentes	28
Figura 16: Red de flujos del Acuífero Patiño.....	29
Figura 17: Flujo descendente y ascendente: áreas de recarga y descarga.....	30
Figura 18: Áreas de descarga natural	31
Figura 19: Balance hídrico integrado (Balance superficial+ subterráneo).....	34
Figura 20: Municipios dentro del área del acuífero Patiño	36
Figura 21: Cuencas hídricas superficiales el área del acuífero Patiño.	37
Figura 22: Perfil geológico de la región donde se localiza el acuífero Patiño. ...	39
Figura 23: Mapa Tipos de Suelo del Patiño.	40
Figura 24: Red de flujos del sistema acuífero Patiño.....	42
Figura 25: Arroyo urbano Mburicao saturado de residuos solidos.....	43
Figura 26: Zonas de Recarga.....	45
Figura 27: Esquema de zonas hidrogeológicas en el acuífero Patiño	46
Figura 28: Zonas de descarga natural	47
Figura 29: Topografía.....	49
Figura 30: Distribución espacial media anual de la precipitación en Paraguay.....	50
Figura 31: Recarga en milímetros de la zona del Acuífero Patiño.	52

Figura 32: Áreas de Recarga dentro del Acuífero Patiño.....	53
Figura 33: Densidad poblacional por municipio dentro del acuífero Patiño.	55
Figura 34: Usos urbanos y rurales dentro del área del acuífero Patiño.	57
Figura 35: Cobertura de ESSAP en el Área Metropolitana de Asunción	59
Figura 36: Densidad de viviendas con pozos ciegos por hectárea.	60
Figura 37: Área de cobertura de Essap en Asunción y el Área Metropolitana..	62
Figura 38: Vías Principales del Área del Acuífero Patiño.....	64
Figura 39: Pozos de extracción de agua del acuífero Patiño.....	69
Figura 40: Redes de agua corriente. Rio Paraguay- acuífero Patiño.....	73
Figura 41: Corte relación agua salina- rio Paraguay y Ciudades Costeras	82
Figura 42: Contaminación por salinización a causa de la sobreexplotación del Acuífero Patiño.....	83
Figura 43: Contaminación por salinización a causa de la sobreexplotación del Acuífero Patiño.....	84
Figura 44: Mapa de pozos con descenso de nivel estático.....	86
Figura 45: Zonas industriales con descenso de nivel estático.	87
Figura 46: Contaminación puntual.	89
Figura 47: Contaminación difusa.....	90
Figura 48: Vulnerabilidad del Acuífero Patiño.....	95
Figura 49: Vulnerabilidad del acuífero Patiño. Mapa normalizado de vulnerabilidad conjunta (Nitratos y Coliformes Fecales)	97
Figura 50: Ubicación de pozos de extracción en zonas hidrológicas intermedias.....	104
Figura 51: Diferencia entre el área de captura y la zona de influencia de un pozo de producción.....	105
Figura 52: Perímetros de protección de pozos en un acuífero libre.....	107
Figura 53: Protección de áreas de captura de la fuente a través de parques ecológicos.	109
Figura 54: Programas dentro de los parques de protección de descarga natural.	110
Figura 55: Pozos de extracción con su radio de protección.....	113
Figura 56: interferencia de pozos	114
Figura 57: Cono de depresión generado por un pozo de extracción	115

Figura 58: Propuestas de nuevos puntos de tomas de agua del Rio Paraguay con el fin de realizar una descarga sostenible del acuífero a través de varios sistemas de provisión de agua.	119
Figura 59: Precipitación promedio colectada en viviendas particulares para consumo domestico.	122
Figura 60: Reutilización de agua en viviendas.....	123
Figura 61: Puntos críticos de la ciudad de Asunción.	124
Figura 62: Sub cuencas hídricas y puntos críticos en Asunción.	125
Figura 63: Infiltración de agua de lluvia por medio de plazas inundables en puntos críticos.	126
Figura 64: Infiltración de agua de lluvia por medio de plazas inundables en puntos críticos.	127
Figura 65: Mapa de plantas de tratamiento de efluentes propuesta.	129
Figura 60: Parques lineales a lo largo de los cursos hídricos en la ciudad. Generando espacios públicos.	130
Figura 67: Mapa de parques lineales paralelos a los cursos hídricos.	132
Figura 68: Torre “Warka Water”, en donde se capta agua de lluvia, rocios y niebla, se almacena en un tanque inferior. Esa agua puede ser infiltrada o utilizada para consumo humano.	133
Figura 69: Corte de Torre “Warka Water” y su relacionamiento con el entorno.	134
Figura 70: Malla de captura de agua a través de un a malla de bambú.	135
Figura 71: Mapa de protección de áreas de captura de la fuente. Infiltración de agua en cotas altas por medio de torres de captación de agua.	136
Figura 72: Mapa de ubicación de parques industriales cercanos a las tomas de agua de rio.	140
Figura 73: Propuesta de agro forestación en las zonas rurales.	143

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Principales microcuencas del Acuífero Patiño.....	38
Gráfico 2: Progresión del Consumo Doméstico en 10 años	71
Gráfico 3: Comparación Consumo Doméstico en HM3/año	72
Gráfico 4: Progresión del Consumo Industrial en 10 años.....	77
Gráfico 5: Progresión del Consumo Agrícola e Industrial en 7 años en hm/3...	81
Gráfico 6: progresión de consumo 2005-2015 en HM3 POR AÑO	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Consumo de Agua en Industrias y Servicios.....	75
Tabla 2: Consumo de Agua en Industrias y Servicios en el 2015.....	76
Tabla 3: Consumo consuntivo de agua en cultivos en el 2005.....	78
Tabla 4: Consumo consuntivo de agua en ganadera en el 2005.....	78
Tabla 5: Consumo consuntivo de agua en cultivos en el 2012.....	79
Tabla 6: Consumo de agua en ganadería.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS

AMA: Área Metropolitana de Asunción

AP: Acuífero Patiño

CHU: Ciclo Hidrológico Urbano

Hm³: Hectómetros cúbicos

OMS: Organización Mundial de la Salud

TFG: Trabajo Final de Grado

INTRODUCCION

El agua potable, segura y limpia, es esencial para la vida, no solo para el individuo, sino también en el sentido comunitario, ya sea utilizado como bebida, usos domésticos, producción de alimentos o para motivos recreacionales. El agua cubre el 71% de la superficie terrestre, localizándose principalmente el 95% en los océanos, es decir agua salada, mientras que el 3% es agua dulce. De este porcentaje el 70% del agua dulce corresponde a capas de hielo y regiones polares, las cuales no se presentan accesibles para su consumo regularmente. Un 0.3% es agua superficial, correspondiendo a lagunas, ríos y riachos, y finalmente, un 30% es agua subterránea, representando a aquella agua existente bajo la superficie terrestre que podría ser recolectada por medios artificiales o fluir a la superficie por medios naturales.¹

Principalmente los usos dados al consumo de agua son 70% en la agricultura, en donde el agua es utilizada para la producción de alimentos, 22% para el uso industrial y el 8% para el uso domestico.

Aumenta la población mundial, así también incrementando el porcentaje de personas con acceso al agua potable; sin embargo, la mala utilización y distribución de la misma hacen que este limitado recurso se vea amenazado por el crecimiento de las ciudades.

Una de las hipótesis sobre el nombre de nuestro país, PARAGUAY, delata el relacionamiento que tenemos con el agua. PARA=mar, GUA= proveniente de Y= agua, es decir PARAGUAY, seria *agua que proviene del mar*.

Particularmente, se caracteriza por la abundancia del agua dulce, tanto superficial como subterránea, permitiendo que la ciudadanía tenga acceso al agua potable. Esto es un factor muy positivo, ya que satisface esta necesidad a

¹ U.S. Geological Surveys Water Science School.
MARIA BERTHA PERONI

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño un alto porcentaje de la población. Ahora, ¿es realmente la manera en que utilizamos este recurso la adecuada para la sostenibilidad del mismo? ¿Nuestra sociedad, está concientizada sobre los factores que influyen en su potabilidad y los riesgos a los que le sometemos en nuestro día a día? Cuando se realiza una comparación sobre la cantidad de agua disponible y el consumo de la misma, se cree que es un elemento que perdurará para siempre, pero no es así. El agua está sometida a una variación temporal y espacial en cuanto a disponibilidad de usos y necesidades, por el cual existen zonas hídrica mas vulnerables que otras.

El aumento de las poblaciones, mal uso del agua, cambio climático, desarrollo inmobiliario sin infraestructura, son una parte de los problemas de disponibilidad de agua dulce en el mundo. Se dice que el “*agua es vida,*” ya que el 70% del cuerpo humano esta compuesto por agua, no existe ningún ser vivo que pueda sobrevivir sin el consumo del agua.

El uso del agua a nivel país se ve condicionado por la extracción de agua subterránea tanto en las zonas más urbanizadas como en las áreas rurales.

Objetivos generales

Contribuir al cuidado y manejo sostenible de las aguas del acuífero Patiño, analizando las interrelaciones entre la descarga de las aguas del mismo, la aglomeración urbana y las variadas interacciones con el medio ambiente.

Objetivos específicos

Identificar la descarga natural del acuífero Patiño y su relación con las poblaciones locales.

Establecer los riesgos y las variables existentes en la zona a través del levantamiento de datos de la descarga artificial del acuífero Patiño.

Recomendar **estrategias** que faciliten el **cuidado y el manejo de las aguas** del acuífero Patiño.

Elaborar lineamientos **sostenibles para las poblaciones de la zona**, buscando minimizar la descarga del acuífero.

Recomendar **estrategias de intervención** para garantizar el **suministro de agua potable** a la población local y su convivencia armónica con las aguas del Patiño.

Justificación de la elección del tema

Asunción ha pasado por el fenómeno que caracteriza a las ciudades de los países en desarrollo, con el crecimiento de un área o zona metropolitana. Esta “zona” abarca a una ciudad principal, Asunción, a la cual la rodean una serie de ciudades conocidas como “satelitales” o “dormitorios,” Fernando de la Mora, Lambaré, Luque, entre otros; o industriales, como el caso de Villeta, Ñemby, San Antonio; o comerciales y de servicio, como Mariano Roque Alonso, San Lorenzo, Limpio. Formando una “red urbana,” estas ciudades en conjunto con otras más, forman el Área Metropolitana de Asunción, las cuales coinciden con la superficie del acuífero Patiño.

La problemática principal de este fenómeno en Asunción y el Área Metropolitana, es la escasez de infraestructura que acompañe a este crecimiento económico-social y la mala distribución del agua potable.

Dentro de esta red urbana existe una gran parte de la población que depende del Acuífero Patiño, ya que solo Asunción posee provisión de agua corriente proveniente del río Paraguay como fuente principal, siendo que los municipios restantes dependen de juntas de saneamiento o de aguateras² privadas que extraen agua subterránea del acuífero.

Con esta investigación, se busca elaborar *lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del acuífero Patiño*, teniendo en cuenta que el mismo fue previamente estudiado desde otras ciencias, como la geología, hidrología, climatología, sociología. A manera de obtener una conclusión holística, se intenta compaginar las distintas ciencias con el objetivo de lograr la concientización de las poblaciones sobre la existencia del acuífero en si, así como también la importancia del manejo sostenible del mismo para su subsistencia en las futuras generaciones.

² Aguateras: empresas que se dedican a la provisión de agua potable para las poblaciones. La deficiencia del servicio público de agua potable, hace que las personas recurran a ellas para satisfacer sus necesidades de consumo de agua potable.

CAPITULO I: Marco Teórico

1.1. Enfoque sistémico

La teoría de sistemas se caracteriza por tener una perspectiva integradora. Considera a las relaciones y conjuntos que emergen a partir de ellas como las mas importantes. El fundador de la teoría de sistemas, Ludwing von Bertalanffy, conceptualiza al organismo como un sistema abierto que se encuentra en constante intercambio con otros sistemas a través de interacciones. Estudiando las interacciones e interdependencias de las partes del sistema, se puede llegar a la comprensión global del mismo.

Se tiene en cuenta tres premisas principales para el análisis un sistema:

- Los sistemas existen dentro de sistemas.
- Los sistemas son abiertos.
- Las funciones de un sistema dependen de su estructura.

Como metodología, la teoría de sistemas se podría adecuar a cualquier disciplina científica. En la disciplina de arquitectura y urbanismo, la variedad de practicas permite ampliar los instrumentos de análisis disponibles. La utilización de gráficos y esquemas como método de representación de flujos y circuitos se relaciona mucho con la arquitectura, ya que el lenguaje grafico es la expresión por naturaleza de la misma.

Se podría considerar a la ciudad como un sistema, en donde las entradas y las salidas influyen en su comportamiento. A manera de dar un ejemplo, la ciudad, puede tener como entrada o input: Personas, bienes materiales, alimentos, agua, electricidad. Como salidas o “outputs”, contaminación del aire, residuos domésticos e industriales, alcantarillado sanitario, expansión urbana, etc.

1.2 Fases metodológicas/Etapas de la investigación

En este TFG, las disciplinas de la arquitectura y urbanismo, se complementan con la hidrología, con el fin de poder analizar al sistema hídrico que forma parte e influye en la ciudad de Asunción y el área metropolitana.

La interdisciplinariedad es clave en esta investigación, ya que existen también otras disciplinas como la geología, sociología, ingenierías, materias que desde su campo de estudio aportan a la visión general de la problemática.

Las ciudades viven de intercambios de materia y energía con sus entornos o con otros sistemas. En este caso, el acuífero Patiño, se ve afectado por los distintos componentes de la ciudad, a través de la teoría de los sistemas, se busca analizar a estos componentes que influyen en el con el objetivo de comprender el impacto y el nivel de complejidad que tienen en el sistema.

El concepto de ciudad, suele utilizarse para designar a una determinada entidad político-administrativa urbanizada, pero varía conforme a la apreciación de cada especialista. Existen distintas interpretaciones, pero en este TFG, tomamos a la ciudad como: "...realidad física, tangible. Pero también es, inequívocamente, una construcción social: es el proyecto de una sociedad, de un lugar y un momento determinado, con su ideología, su cultura, su ética y sus valores, sus relaciones sociales en interdependencia con una economía siempre compleja..."³ El aporte de esta investigación podría ser a través de la planificación urbana, incidiendo directamente en mejoras ambientales, pero también tiene en cuenta el punto de vista social, en donde la educación ambiental toma un rol importante para el cuidado permanente del acuífero Patiño.

1.2.1 Formulación.

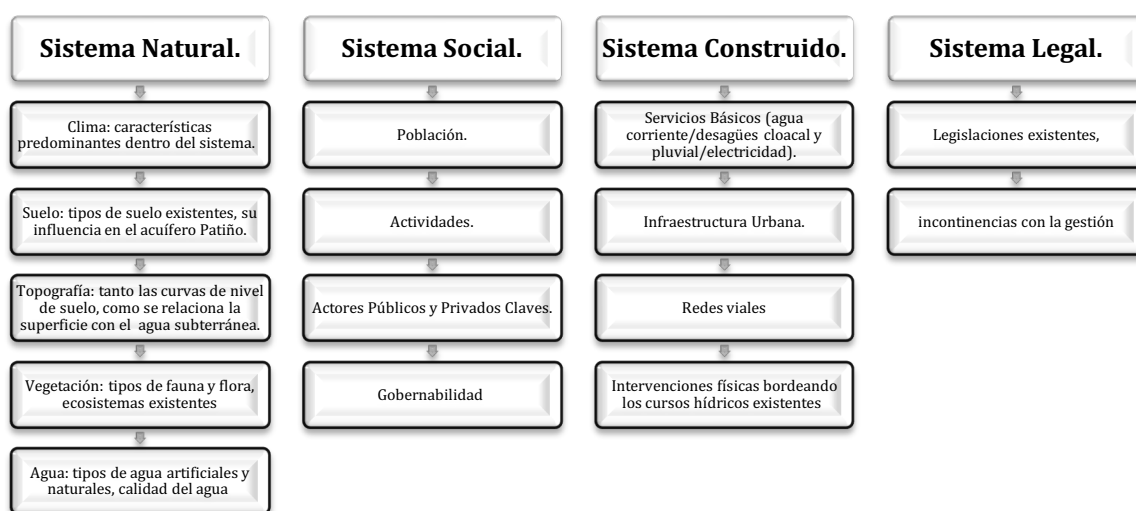
En esta fase identificamos los problemas o conflictos que influyen en la recarga y descarga del acuífero Patiño, así como también realizamos la descripción ideal de la situación deseada para lograr la descarga sostenible estableciendo así los objetivos del proyecto.

3

1.2.2 Caracterización de la situación/recopilación de datos.

Se toma al “estado del arte” como un elemento primordial para el desarrollo de la misma. Entendiendo al mismo como una modalidad investigativa que permite el estudio del conocimiento escrito existente dentro del área. La finalidad, es conocer las diferentes perspectivas de investigación anteriores, en este caso, sobre el acuífero Patiño, así como también poder aportar a los estudios previos con un análisis que complemente a los estudios anteriores, pero aporte con una visión contemporánea que abarque el presente y el futuro del mismo.

Para analizar con mayor precisión a los componentes, se ha elegido mirar de estas cuatro maneras al sistema del acuífero Patiño:



1.2. El acuífero Patiño como sistema socio-ambiental.

Se puede considerar a esta área de estudio como un sistema que cuenta una gran variedad de recursos naturales que son utilizados por las poblaciones. A nivel nacional, los recursos hídricos toman un rol sumamente importante, desde el punto de vista agrícola y ganadero. A nivel regional, existe una dependencia de abastecimiento de agua tanto de Río Paraguay, como del acuífero Patiño.

Esta dependencia se genera por las necesidades que el hombre satisface con este recurso. El acuífero Patiño, es parte de una gran variedad biológica, compuesta por ríos, arroyos, humedales, que dependen de las condicionantes del entorno para su supervivencia. El agua de lluvia, a través de la infiltración

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño alimenta las corrientes de agua subterránea o acuíferos, del cual se extrae agua para los diversos consumos. Asimismo, el agua subterránea, a través de los manantiales, también alimenta a los cauces hídricos superficiales, como los arroyos y humedales.

Los actores sociales, como responsables del desarrollo de las comunidades, utilizan los distintos recursos naturales para abastecer de agua a las poblaciones, muchas veces sin medir el impacto negativo que puede tener el mismo en el sistema.

1.2.1. Cuenca del acuífero Patiño: Desarrollo sostenible

Las raíces del concepto de desarrollo sostenible nacen con el movimiento ambiental y el desarrollo internacional de las comunidades después de la Segunda Guerra Mundial. Se considera que la primera vez que surge un tema sobre la preocupación ambiental es en 1962, con el libro *“Silent Spring”*, de Rachel Carson, en donde afirma que las pesticidas de la agricultura causan daños a los animales, así como también ponen en riesgo a la vida humana, asumiendo que el medio ambiente tiene la capacidad infinita de absorber contaminantes. Recién en 1987, la Comisión Mundial del Medioambiente y del Desarrollo de las Naciones Unidas presenta el informe “Nuestro Futuro Común”, en la cual se difunde la definición de desarrollo sustentable:

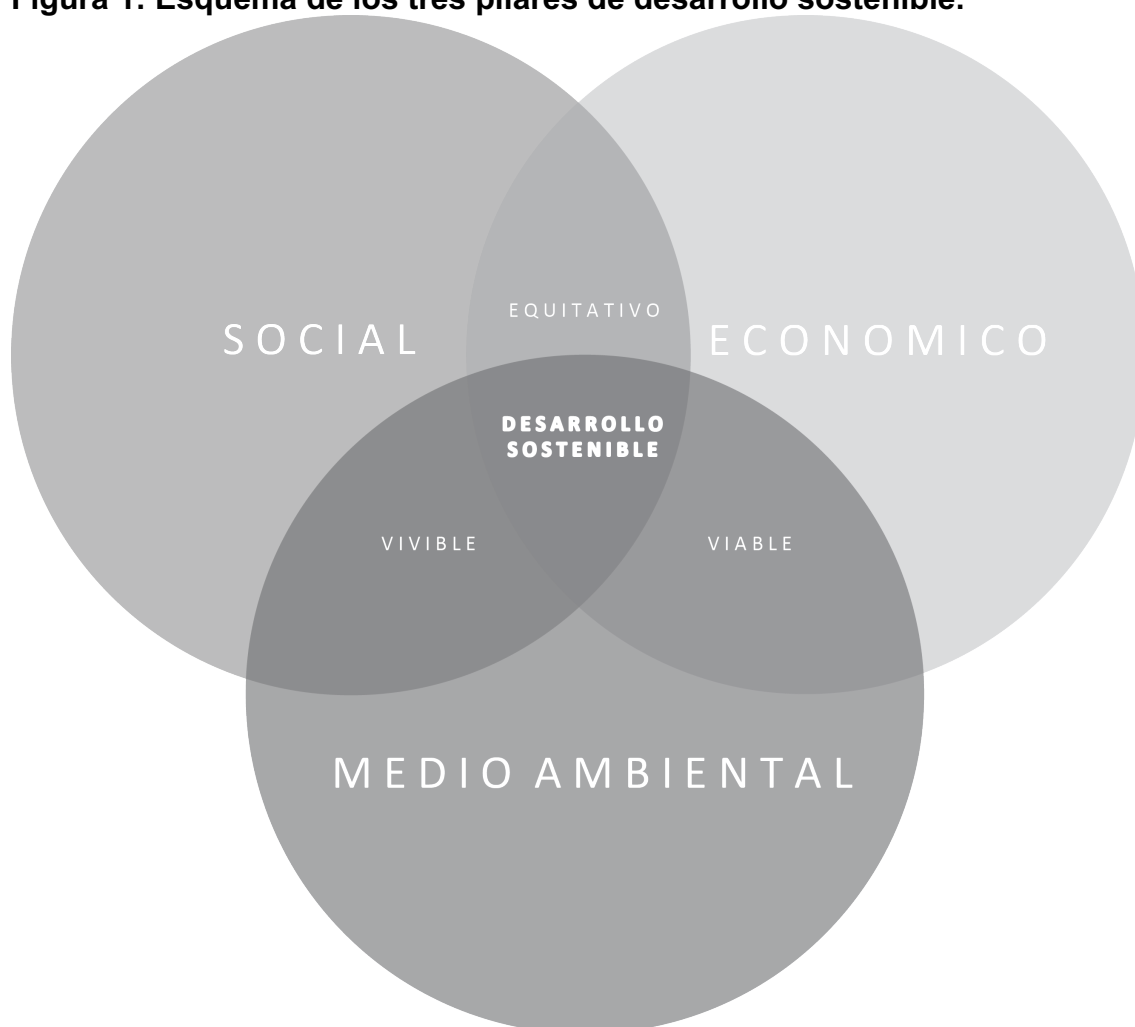
“Desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (CMMAD, 1987:24).

En el proceso de un desarrollo sustentable se deben tener en cuenta no solo los factores económicos, ambientales y sociales en la búsqueda de este equilibrio entre las partes.

Desde el punto de vista *económico*, referido a como el crecimiento demográfico debe estar acompañado por la capacidad productiva del sistema, permitiendo el desarrollo de una población mayor sin que aumente el impacto al medio ambiente. Debe ser un modelo de desarrollo que asegure los recursos de las siguientes generaciones.

El ámbito económico implica un cambio físico⁴ en los ecosistemas; es aquí donde entra el punto de *vista ambiental*⁵, en donde tenemos recursos renovables, recursos no renovables y biodiversidad de especies. En cuanto a los recursos renovables, pueden tener una manera de utilización planeada en donde se consideren los límites de regeneración y crecimiento natural del ecosistema. Lo más importante es considerar los impactos causados en el ecosistema, de manera que se pueda prever el rendimiento sostenible del sistema.

Figura 1: Esquema de los tres pilares de desarrollo sostenible.



Fuente: Gráfico elaboración propia.

El desarrollo sostenible también busca la equidad social. Apunta a prácticas que intenten superar las formas sociales, económicas, culturales y políticas de

⁴ Cambio físico desde el punto de vista económico, se refiere a la expansión física de las ciudades en sí afectando a la economía.

⁵ <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/sd.html>

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño
exclusión e inequidad. Para lograr esto, se requiere de una redefinición
estratégica buscando la equidad con la distribución de los ingresos, generando
trabajos que beneficien a todos logrando así reducir la brecha entre países
subdesarrollados y desarrollados.

Es alarmante pensar que luego de tantos años del conocimiento de este nuevo
enfoque al desarrollo de las comunidades, en el país se sigan utilizando
modelos que arriesgan nuestros finitos recursos naturales. Es de suma
importancia aclarar que, cuando hablamos del desarrollo sostenible del
Sistema del Acuífero Patiño, lo que se busca en este TFG, es lograr un
equilibrio entre las necesidades que hoy existen en el Área Metropolitana de
Asunción, tanto de consumo como de espacios públicos vinculados a la
descarga natural del acuífero. La OMS⁶ ha declarado que la cobertura sanitaria
es universalmente conocida como un requisito primordial para el desarrollo
sostenible de una comunidad. Ella inculca a adoptar un enfoque multisectorial
que actué en relación a los determinantes sociales, ambientales y económicos
de la salud, intentando posibilitar no solo el acceso equitativo al agua potable,
sino también la red de desagües cloacales, siendo esta solamente una de los
problemáticas que ponen en riesgo al acuífero Patiño.

1.2.2.Hidrología

Según la Organización Mundial de la Meteorología, la hidrología es la ciencia
que estudia las aguas superficiales y subterráneas de la tierra, su aparición,
circulación y distribución, tanto en el tiempo como en el espacio. Sus
propiedades biológicas, química interacción con los seres vivos.

1.3. Relación ciudad-ciclo hidrológico.

*“Dar nombre a ese maremagno de personas, de cosas, de intereses, de todo
genero, de mil elementos diversos, que sin embargo de funcionar, al parecer,
cada cual a su manera de un modo independiente, al observarlos detenida y
filosóficamente se nota que están en relaciones constantes unos con otros,
ejerciendo unos sobre otros una acción a veces muy directa, y que por*

⁶ *Fuente: http://www.who.int/universal_health_coverage/un_resolution/es/

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño
consiguiente vienen a formar una unidad.(...) El conjunto de todas esas cosas, sobre todo su parte material, se llama ciudad” (Cerdá, I., 1868)

El proceso de globalización que hoy en día vivimos supone un consumo de recursos elevado e impactante en los ecosistemas de la Tierra. Se podría considerar que nos encontramos sometidos a un proceso de urbanización que no asegura el futuro de las ciudades, por ende, es insostenible para la compaginación de los distintos sistemas. Analizar a una ciudad, desde el punto de vista del urbanismo ecológico⁷, proyecta a la misma en tres planos: superficie, en altura y subterráneo (Rueda, S, 2012).

Para una mejor comprensión desde el punto de vista hídrico se considera al ciclo hidrológico como el almacenaje y la circulación del agua a través de la biosfera, atmósfera, litósfera e hidrósfera. El agua existe en la atmósfera, océanos, lagos, ríos, arroyos, suelos, glaciares, campos de nieve y acuíferos. El movimiento del agua entre cada uno de estos se da por medio de la evaporación, condensación, precipitación, infiltración, percolación, deshielos y escorrentías (también conocidos como los elementos del ciclo del agua).

En las ciudades contemporáneas, la concentración de personas altera los flujos, las energías, así como también el paisaje, causando un impacto en los ecosistemas urbanos⁸. Estos cambios se refieren al impacto que generan en ellos incluyendo las aguas urbanas y a sus ecosistemas acuáticos, los cuales se encuentran degradados. Como consecuencia de estas circunstancias, la provisión de servicios de agua a las poblaciones urbanas se vuelve un tema desafiante para la infraestructura de las ciudades.

Vivir en ciudades bien gestionadas tiene muchas ventajas y oportunidades para el desarrollo económico y social, un estilo de vida con altos indicadores de salud general, bienestar y alfabetización, así como una huella ecológica limitada.

Con relación a la continua urbanización, es importante notar que los datos demográficos y las proyecciones de la ciudad son inciertas, la mayor parte del

⁷

⁸ Ecosistema urbano: comunidad de seres vivos en un medio físico expuesto a transformaciones originadas de la actividad interna; funciona a través de intercambios de materia, energía e información.

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño

crecimiento de las áreas urbanas es causada sobre todo por la migración rural-urbana y la transformación de segmentos rurales en grandes ciudades existentes y, principalmente, el mayor crecimiento esperado no ocurrirá en las grandes ciudades, sino en ciudades en desarrollo que poseen grandes tasas de pobreza y los servicios básicos son inadecuados (Marsalek, J., 2007).

En el caso específico del Paraguay, en Asunción y el AMA, podríamos describir la situación actual introduciendo el término de *urban sprawl*⁹. Es así como muchas de las ciudades dentro de ella siguen creciendo; sin embargo, la infraestructura no logra proveer ni acompañar las necesidades de la población existente y menos aún prever la de las poblaciones futuras.

Una población urbana demanda grandes cantidades de energía y de materia prima, así como la gestión de residuos, en algunos casos estos se convierten en contaminación ambiental. Ciertamente, todas las actividades de las ciudades modernas (transporte, suministro de electricidad, suministro de agua, disposición final de la basura, calefacción, suministro de servicios, manufactura, etc.) están caracterizados por esos problemas.

La concentración de personas en áreas urbanas altera dramáticamente a los flujos de materia y energía en las áreas afectadas, con cambios en el paisaje, flujos de agua alterados, sedimentación, químicos y microorganismos, aumento de flujos de calor residual.

Estos cambios luego impactan en los ecosistemas urbanos, incluyendo a las aguas urbanas y a sus ecosistemas acuáticos, los cuales se degradan. Estas circunstancias hacen que la provisión de agua a las poblaciones urbanas se encuentren en constante cambio y en muchos casos llevan al mal manejo de los recursos intentando complacer los requisitos del momento.

1.4. Concepto del ciclo de agua urbano

Para poder comprender el funcionamiento del ciclo hidrológico en las ciudades se deben considerar los efectos de la industrialización, la urbanización y el crecimiento exponencial de las poblaciones. Los mismos influyen en el paisaje

⁹ *Urban Sprawl*: la rápida expansión geográfica de las ciudades y pueblos, caracterizada por baja densidad, zonificación con un solo uso y dependencia al uso automóvil para la transportación. También esta relacionada con el incremento de uso en energía, polución, congestión de tráfico entre otros.

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño natural, así como también en la respuesta hidrológica de las cuencas.¹⁰ A pesar de esto, la estructura general del ciclo hidrológico se mantiene intacta.

El término *ciclo hidrológico urbano*, es utilizado desde que ciclo hidrológico se vuelve más complejo en áreas urbanas ya que existen influencias e intervenciones externas que afectan su funcionamiento natural.

El *CHU*, define una base conceptual que unifica el estudio del balance hídrico¹¹ y encamina la posibilidad de realizar un control de las aguas en las áreas urbanas. La comprensión del balance hídrico es fundamental para el manejo integral de las aguas urbanas. Este concepto, de CHU, contempla la existencia de dos principales fuentes de agua: la provisión de agua a nivel municipio y la precipitación.

La provisión de agua a nivel municipio es suministrada de distintas maneras, variando en cantidades, que reflejan la demanda de la población y su manejo. Esta agua es “importada”¹² al área urbana y distribuida dentro de ella; alguna porción se infiltra por pérdidas a las aguas subterráneas, otra es utilizada por la población para luego ser agua residual y, eventualmente, volver a las aguas superficiales.

La precipitación es un factor influyente dentro del CHU. El mismo cae de distintas maneras dentro del área urbana y está sujeta a abstracciones hidrológicas¹³, una parte es infiltrada al suelo y otra escurre en la superficie, para eventualmente ser parte del sistema a través de los recursos hídricos superficiales o subterráneos.

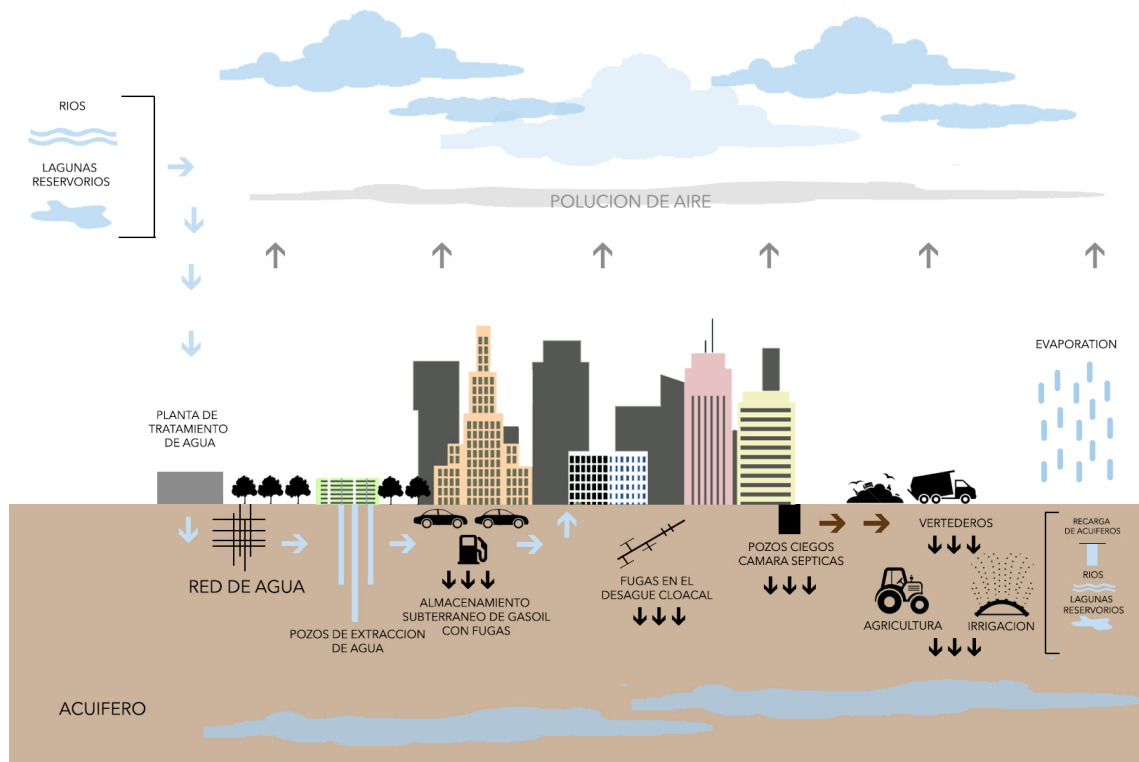
¹⁰ Respuesta hidrológica de las cuencas, se refiere a áreas dispersas dentro de una cuenca que mantienen propiedades hidrológicas comunes, como: pendiente, elevación, aspecto, tipo de suelo, cubierta vegetal, usos de suelo, etc.

¹¹ Balance Hídrico Integrado: el equilibrio de los recursos hídricos que ingresan y salen del Sistema en un tiempo determinado. Ver Capítulo 1.13

¹² Agua importada: se refiere al agua traída de otro sistema hídrico.

¹³ Abstracciones hidrológicas: los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Se llama precipitación efectiva a la fracción de precipitación total que es aprovechada por la vegetación.

Figura 2: Ciclo Hidrológico Urbano



Fuente: UNESCO, Urban Water Cycle Processes and Interactions. (Taylor and Francis) 4. Edición Impresa. Gráfico elaboración propia.

1.5. Acuífero

Se denomina acuífero a un estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea a través de sus poros o grietas. Existen diversos tipos de materiales dentro de los acuíferos, como gravas, limo, calizas, areniscas, etc. Al nivel superior del agua se lo conoce como nivel freático.

1.6. Clasificación según condición hidráulica

Los acuíferos se clasifican en función a los siguientes criterios: comportamiento hidráulico, estructura, textura¹⁴. Para lograr identificar estos criterios, podemos mencionar a los siguientes tipos según su comportamiento hidráulico:

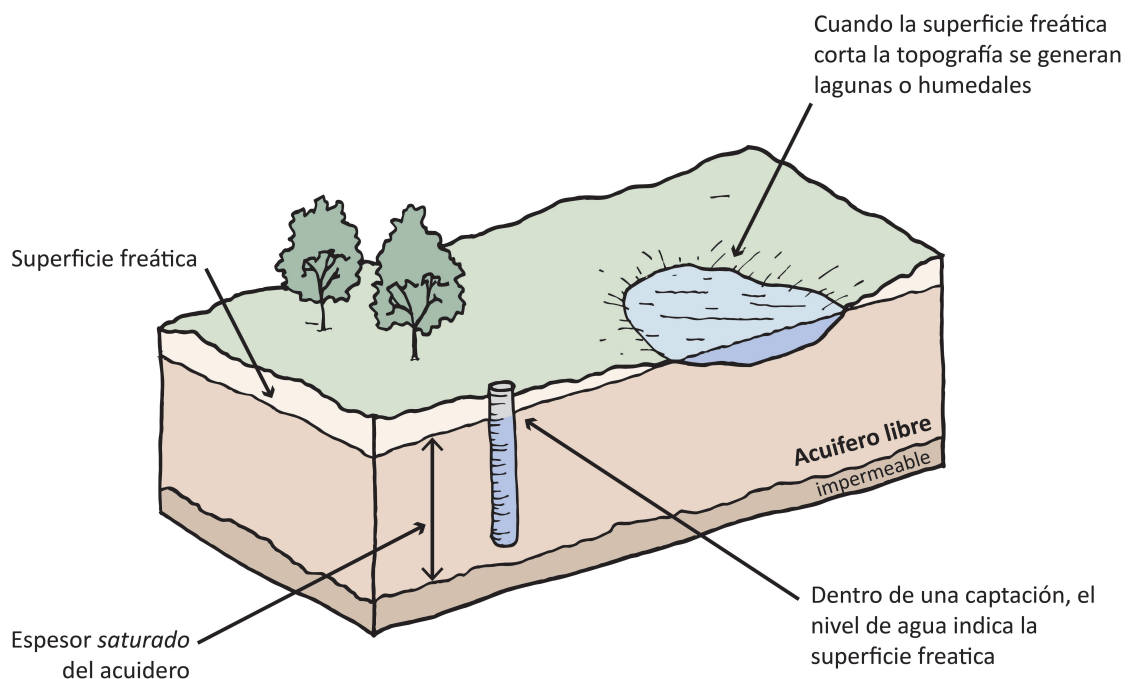
¹⁴ La clasificación de los acuíferos por textura se determina por el tipo de suelo, ya que se refiere a la porosidad; normalmente pueden ser porosos o fisurales. Los porosos tienen una permeabilidad mayor, los fisurales contienen al agua en fisuras en donde el agua se comporta de forma heterogénea.

1.6.1. Acuíferos libres o freáticos

Se trata de un acuífero que se encuentra en contacto directo con la zona sub saturada del suelo. Es decir, contiene una capa geológica permeable saturada de agua hasta cierto nivel.

La presión del agua de la zona superior es igual a la presión atmosférica, ya que se encuentra en contacto directo con el aire.

Figura 3: Acuífero de tipo libre

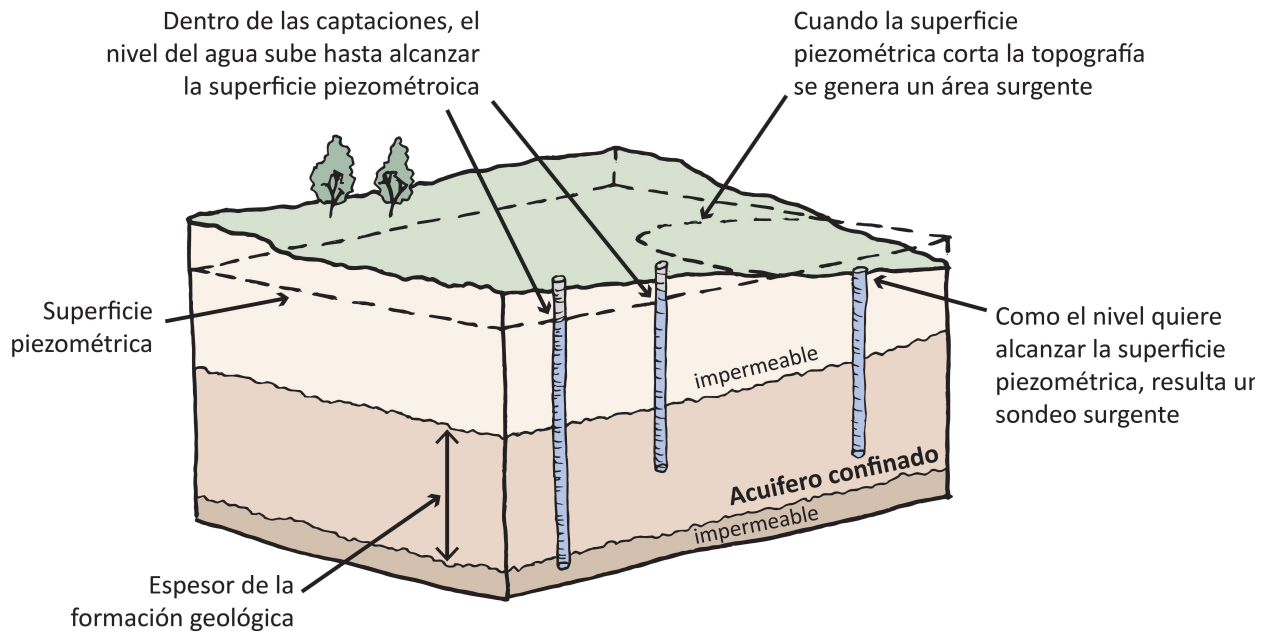


Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sanchez San Roman, J., 2013. Gráfico elaboración propia.

1.6.2. Acuíferos confinados.

Se los conoce también como acuíferos a presión o en carga. Sus límites, superior e inferior son capas impermeables. El agua se encuentra a una presión superior a la atmosférica, ocupando totalmente los poros o huecos de la formación geológica. No existe zona no saturada. Una de las características principales de estos acuíferos es que se encuentran debajo de una capa confinada, lo cual dificulta el acceso al mismo.

Figura 4: Acuífero de tipo confinado



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sanchez San Roman, J., 2013. Gráfico elaboración propia.

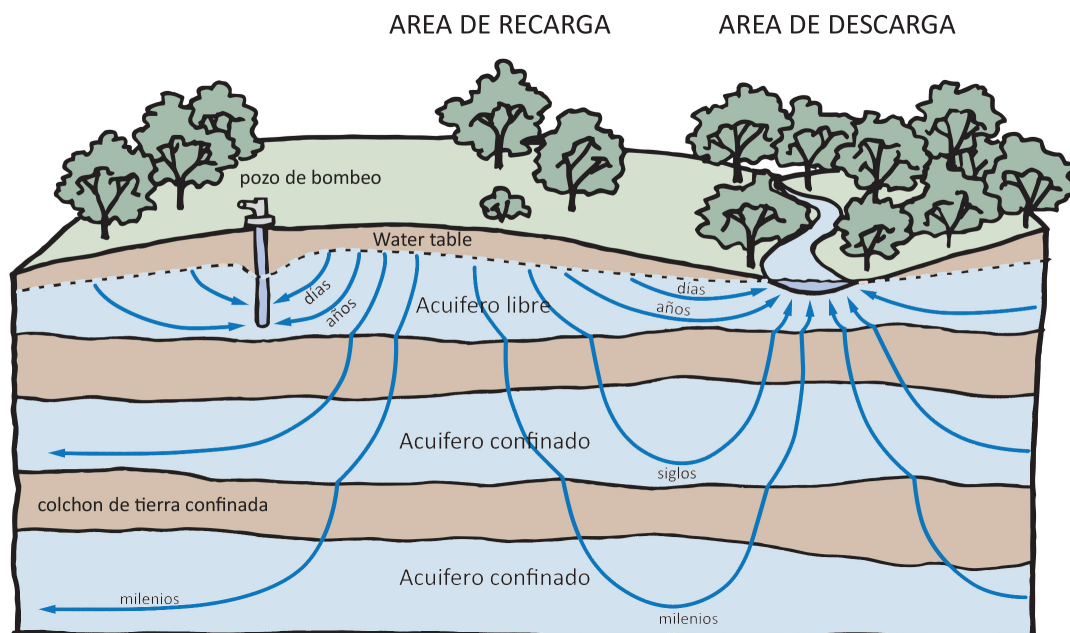
1.6.3. Acuíferos semiconfinados o acuitardo

Es de formación semipermeable; sus límites tanto en el techo o en la base se dan por capas de permeabilidad mayor. Es aquí donde puede suceder la infiltración vertical. Esta formación geológica puede almacenar agua, pero la transmite con dificultad. Son materiales porosos poco permeables.

Ejemplo: tipo de suelo arcilloso.¹⁵

¹⁵ Suelo arcilloso: se refiere al tipo de suelo con espacios o poros muy pequeños generando un espacio poroso total mayor al de otros tipos de suelo. Debido a esto el suelo absorbe y retiene más agua, haciendo que el suelo este mal aireado y el drenaje sea pobre.

Figura 5: Tipos de Acuíferos

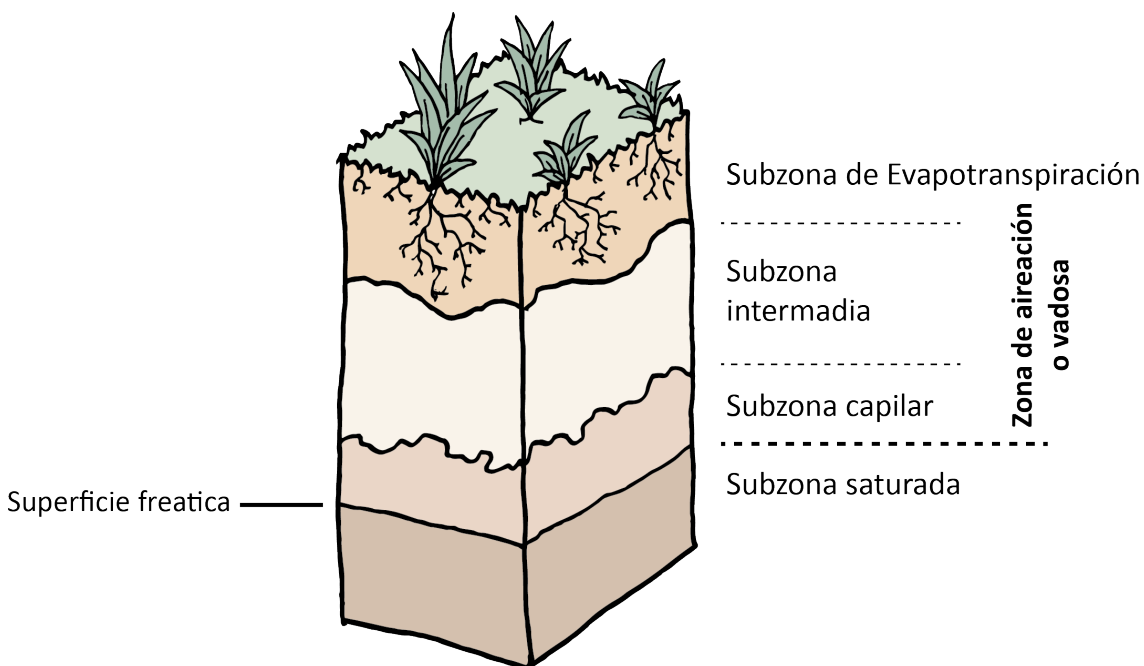


Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sanchez San Roman, J., 2013. Gráfico elaboración propia.

1.7. Distribución vertical del agua en el suelo

La distribución vertical del agua en el suelo, se definen dos zonas de humedad principales: la zona de aireación o vadosa y la zona de saturación.

Figura 6: Distribución vertical del agua en el suelo



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

1.7.1. Zonas de humedad en el suelo: zona vadosa o de aireación

Esta zona, situada entre la superficie freática y la superficie del terreno, tiene alguna pequeña porción de agua permanente y otras zonas en la que ocasionalmente puede producirse saturación. Sus límites son la superficie freática y la superficie del terreno. (Ver Figura 6: Distribución vertical de agua en el suelo).

La misma se subdivide en tres zonas:

1.7.1.1 Subzona de evapotranspiración.

Zona comprendida entre la superficie del terreno y los extremos radiculares de la vegetación que descansan sobre él. Aquí se producen dos procesos en conjunto: la evaporación y la transpiración.

La evaporación es un conjunto de fenómenos físicos que transforman en vapor al agua. Esto se produce desde la superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación. Desde los cuerpos de agua, como ríos, lagos, embalses, etc.; así como también desde el suelo.

La transpiración es un proceso biológico por el cual las plantas pierden agua a la atmósfera, toman agua del suelo por las raíces, utilizan parte de esta para su crecimiento y el resto la transpiran.

El conjunto de estos procesos se conoce como evapotranspiración, ya que en las zonas de vegetación se dan ambos procesos en simultáneo. Son difíciles de medir por separado ya que la medida es a través de la cantidad total de agua que se pierde en la atmósfera. La energía requerida para la evaporación es grande y depende de la humedad absorbida por el suelo.

1.7.1.2. Subzona intermedia

Comprendida entre la superficie del terreno y la subzona capilar, a veces inexistente y a veces es de muchos metros de espesor. Las raíces de vegetación ya no afectan en ella.

1.7.1.3. Subzona capilar

Es la transición a la zona saturada, se encuentra sobre la superficie freática y representa al agua que ha ascendido por capilaridad, su grosor es variable y

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño depende de la granulometría de los materiales. Su parte inferior es también saturada.

1.7.2. Zona de Saturación

Se encuentra limitada superiormente por la superficie freática (sometida a la presión atmosférica), el agua llena todos los huecos existentes entre los materiales del suelo.

1.7.3. Agua en forma de vapor

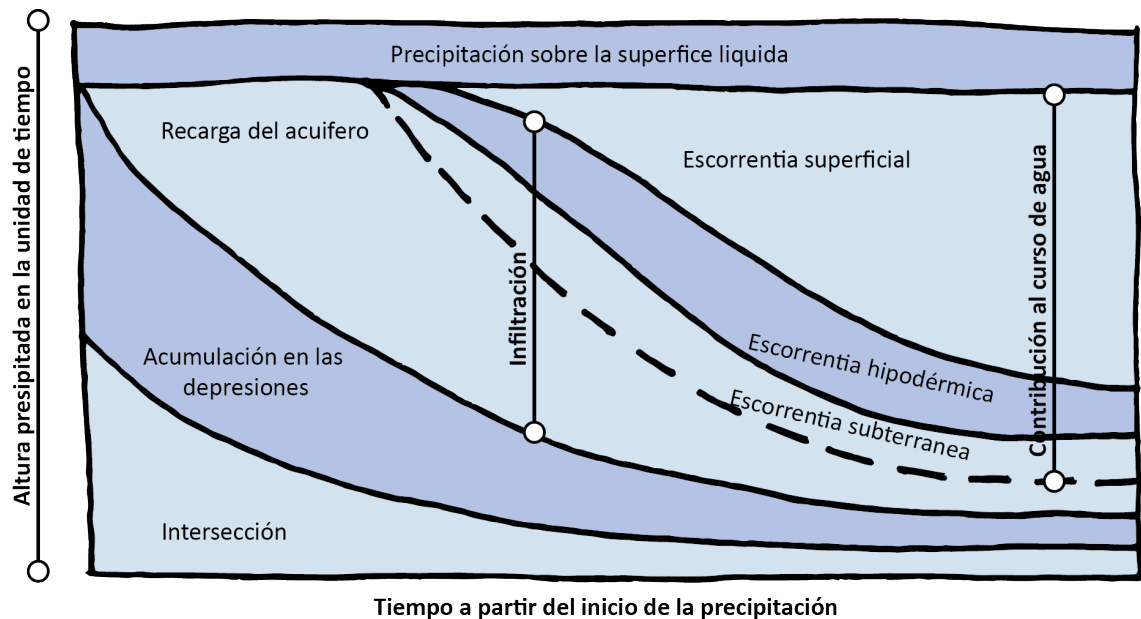
Como es mencionado anteriormente, el agua en forma de vapor influye en la atmosfera, y esta incide en la vegetación, que pierde agua que se transforma en precipitación para luego volver a ser infiltrada al suelo.

1.8. Infiltración

Es el fenómeno de la penetración del agua en las capas del suelo cerca de la superficie; factor mas importante del ciclo del agua y más difícil de evaluar.

Se refiere a la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber, medida en unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. La misma se mide por altura infiltrada, expresada en longitud sobre el tiempo.

Figura 7: Infiltración



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

1.9. Factores que influyen en la infiltración

Como es mencionado anteriormente, *la infiltración* es la cantidad de agua que penetra al subsuelo, donde pasa a alimentar las aguas subterráneas. La misma puede ser *directa*, por medio de la precipitación, o puede ser *indirecta* a través de los ríos, embalses y aguas subterráneas.

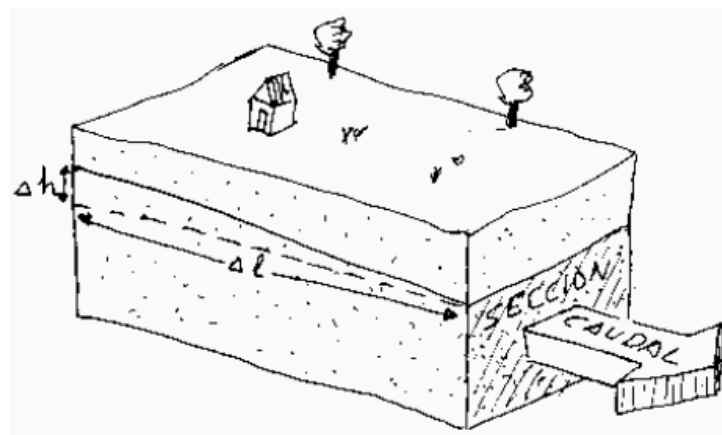
La infiltración se encuentra condicionada por:

- tipos de rocas (permeabilidad y estructuras de los acuíferos);
- el clima;
- la topografía;
- la vegetación;
- la extensión de la cuenca receptora sobre la recarga.

Es fundamental para la infiltración que las rocas sean permeables. Estas rocas alcanzan grandes profundidades, dependiendo del espesor y de su estructura.

La permeabilidad es la capacidad del terreno de permitir la circulación del agua a través suyo. Como el agua subterránea es contenida y conducida por los huecos que presenta el terreno, la forma y características de ella influyen en el comportamiento de la permeabilidad.

Figura 8: La permeabilidad del suelo

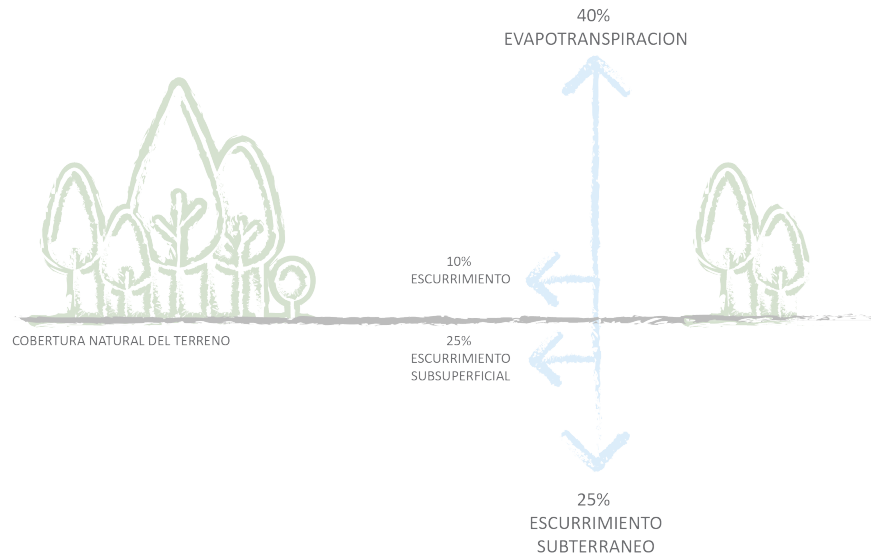


Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013.

Otro factor importante es la porosidad, referida a la relación entre el volumen de huecos y el volumen total del terreno.

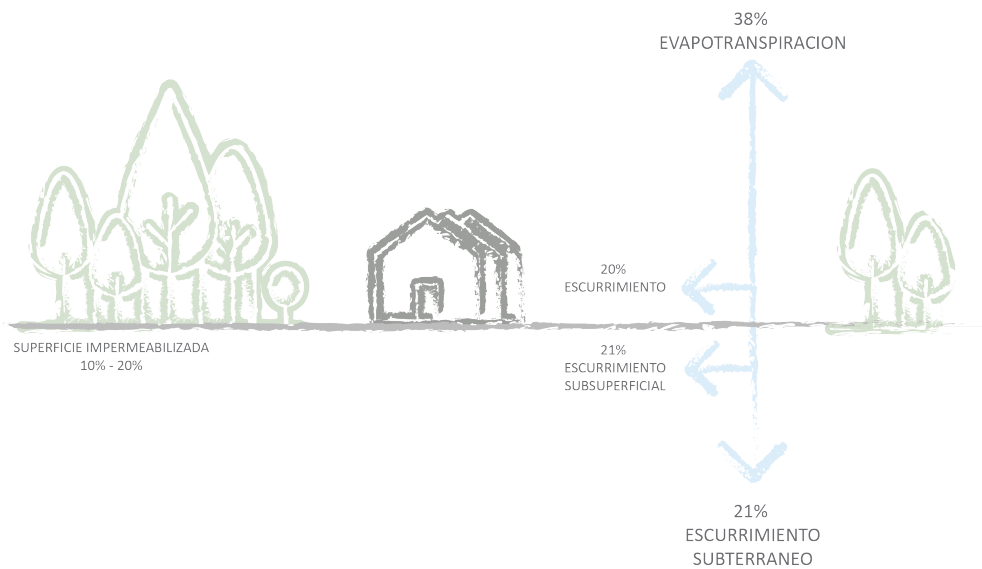
Figura 9: Infiltración según tipos de suelo

9.1 Cobertura natural del terreno



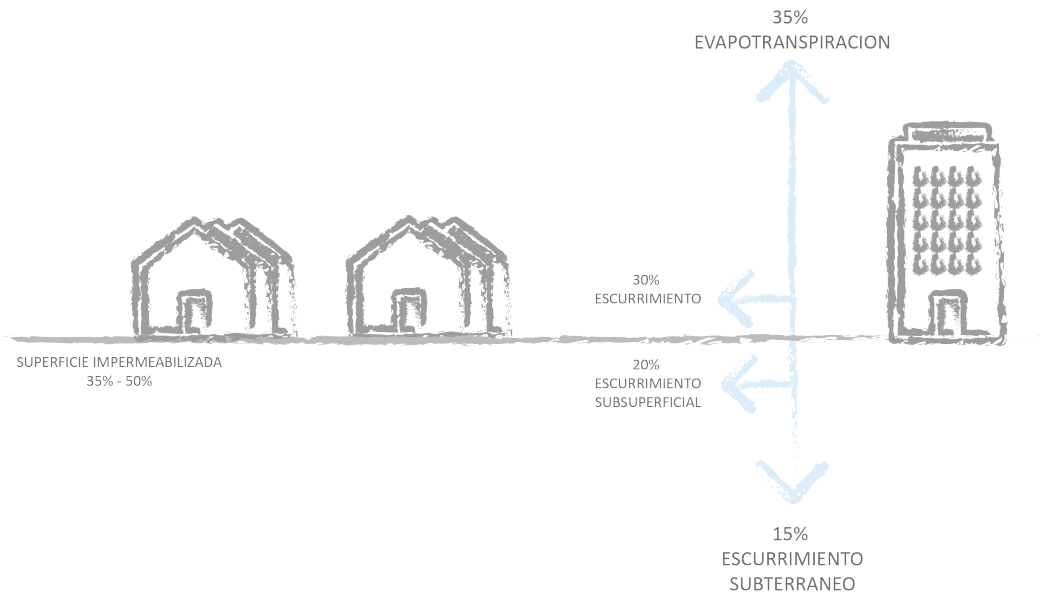
Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

9.2 Superficie impermeabilizada 10%- 20%



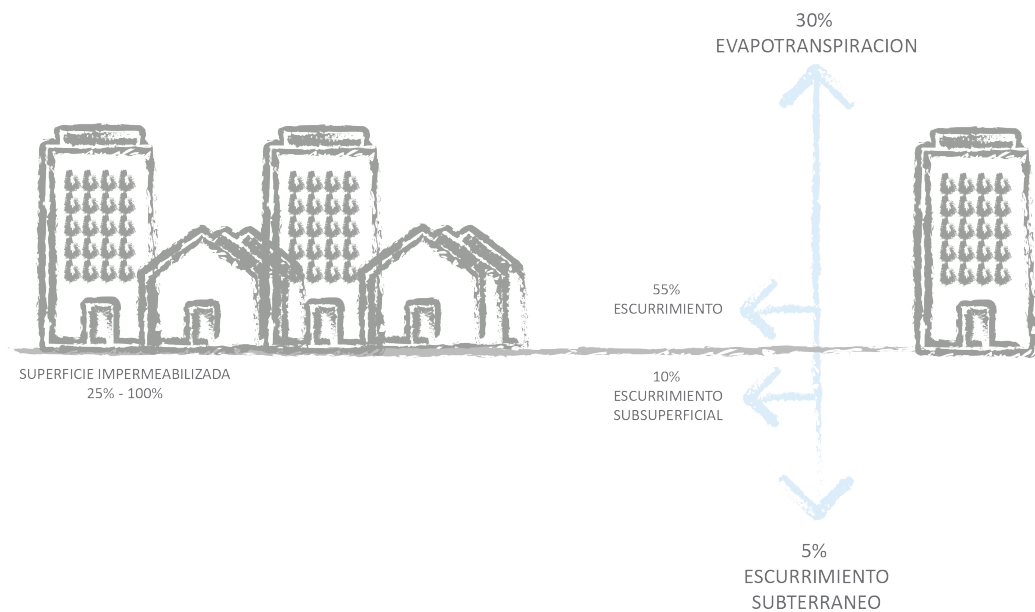
Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

9.3 Superficie impermeabilizada 35%- 50%



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

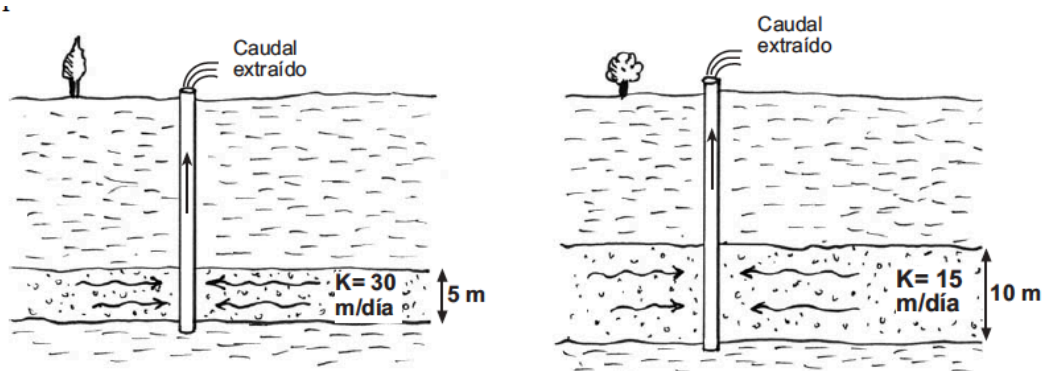
9.4 Superficie impermeabilizada 50%- 100%



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

Por ultimo, mencionamos a *la transmisividad*, que es el parámetro que indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica, es decir, es la relación entre la conductividad hidráulica y el espesor del estrato de acuífero.

Figura 10: Transmisividad



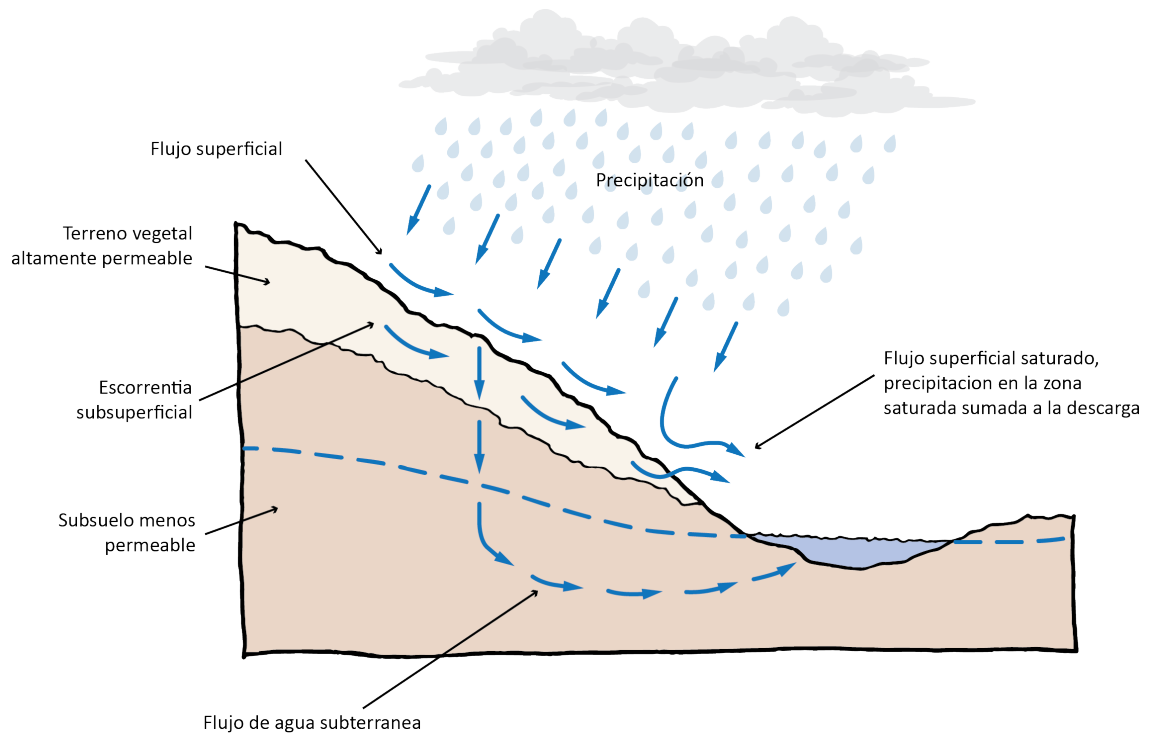
Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013.

1.10. Escorrentía superficial

1.10.1 Concepto

Se da cuando la intensidad de las lluvias excede la capacidad de infiltración. La misma se puede encontrar sobre o debajo de la superficie terrestre. Existen cuatro tipos de escorrentías: escorrentía superficial por falta de infiltración, escorrentía subterránea, escorrentía subsuperficial y escorrentía superficial por saturación. Principalmente se diferencian por las tasas de infiltración.

Figura 11: Escorrentía Superficial



Fuente: "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Sánchez San Román, J., 2013. Grafico elaboración propia.

1.10.2. Escorrentía superficial por falta de infiltración

Sucede cuando la intensidad de las lluvias supera los valores de conductividad hidráulica del suelo, normalmente en lluvias intensas y en suelos de texturas finas.

1.10.3. Escorrentía subterránea

Se llama "escorrentía subterránea" al porcentaje de agua que se convierte en reserva de agua subterránea, la misma fluye a través de las zonas saturadas. El agua fluye en forma laminar¹⁶ y porosa¹⁷, en velocidad es la más lenta, ya que tarda años en descargar a los ríos y lagos¹⁸.

1.10.4. Escorrentía subsuperficial

Porción de agua infiltrada que viaja a través de la zona no saturada. La misma posee menos velocidad que la del agua superficial.

¹⁶ Laminar: cuando el movimiento del flujo es suave, ordenado y estratificado.

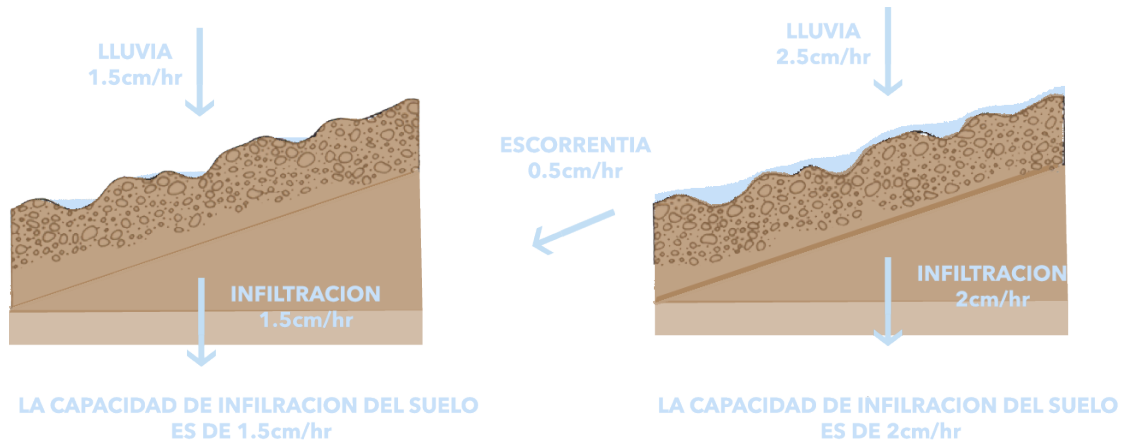
¹⁷ Porosa: se refiere a cuando el agua fluye por los poros de arena.

¹⁸ Ver Capítulo IV.

1.10.5. Escorrentía superficial por saturación.

Es la escorrentía generada cuando las precipitaciones son prolongadas formando una zona saturada próxima al cauce. Es la zona mas frecuente de escorrentía en zonas húmedas con vegetación.

Figura 12: Escorrentía superficial por saturación



Fuente: Grafico elaboración propia.

1.10.6. Variables que inciden en la escorrentía

Existen variables que inciden en el escurrimiento como:

- intensidad y duración de la precipitación;
- capacidad de infiltración de una superficie particular;
- condición hidráulica del suelo o la roca;
- condiciones de la superficie del suelo.

1.10.7. Red de flujos

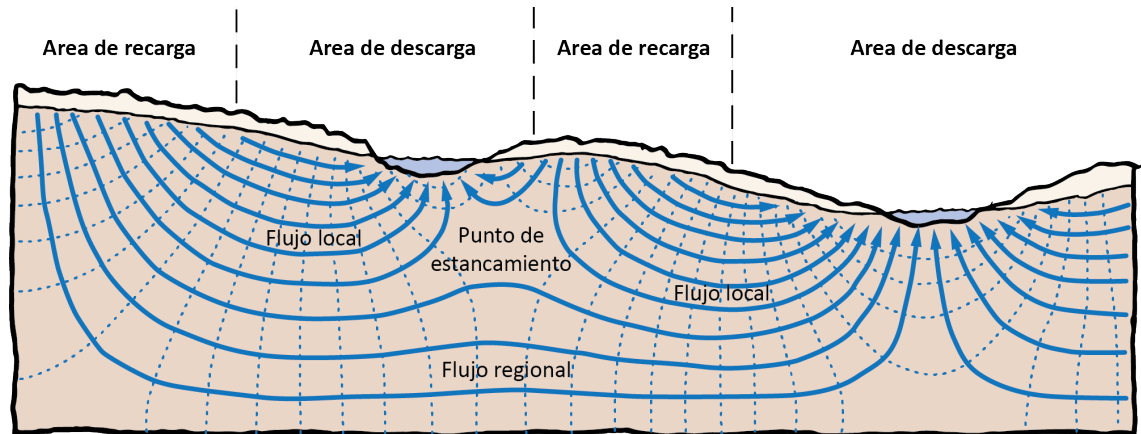
Es importante conocer que existen redes de flujos en los sistemas hidrológicos subterráneos. Las mismas son una representación a nivel sintético sobre los flujos del agua en un plano. Se utilizan las líneas de flujo y las líneas equipotenciales¹⁹ para representarlos. Las líneas equipotenciales son la traza de las superficies equipotenciales al ser cortadas por el plano en que se dibuja la red de flujo.

¹⁹ líneas equipotenciales: líneas de contorno de un mapa que representan la altimetría. Es cuando el valor. Las mismas serían como las líneas de contorno de un mapa, en donde la altitud es el potencial eléctrico. Estas líneas siempre son perpendiculares al campo eléctrico. En 3 dimensiones estas forman superficies equipotenciales.

Estos esquemas nos permiten acceder a información con relación al comportamiento hidrodinámico del sistema de agua subterránea en un área determinada, así como identificar las zonas hidrogeológicas, calcular gradientes, velocidades y caudales, dirección y sentido del escurrimiento y demostrar distintos parámetros hidráulicos.

Existe una diferenciación entre flujos locales y flujos regionales. Los flujos locales normalmente refieren a valles de menor escala, mientras que los flujos regionales refieren a los valles principales dentro de una región.

Figura 13: Red de flujo esquematizando el flujo subterráneo natural en la región de conductividad hidráulica homogénea.

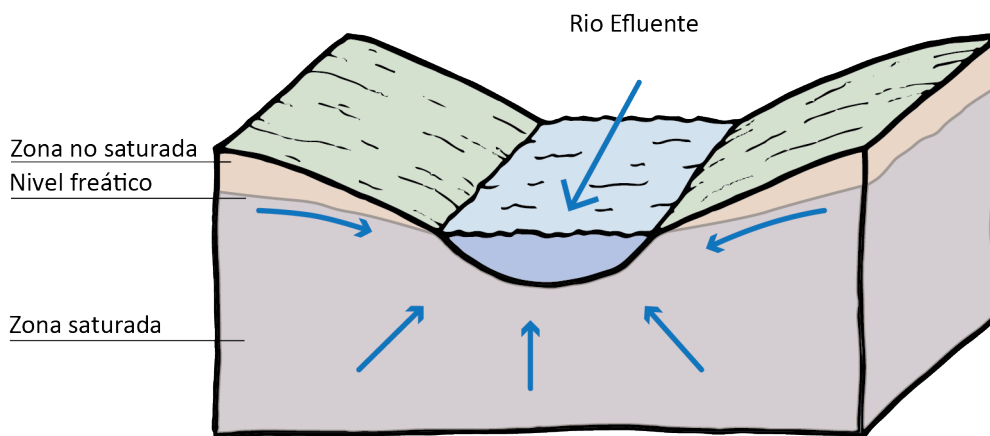


Fuente: Grafico elaboración propia.

1.11. Relaciones entre las escorrentías superficiales y subterráneas

El agua descargada de los manantiales culmina su trayecto, ya sea directa o indirectamente, a un curso de agua superficial. Los caudales de los ríos provienen de escorrentía de aguas de lluvia, así como también de deshielo y de aguas subterráneas que no han alcanzado la zona saturada de los acuíferos. Para poder comprender la relación de cuanto realmente aporta el agua subterránea a un río y viceversa, es primordial conocer el tipo de conexión hidráulica que existe entre ambos.

Figura 14: Ríos efluentes

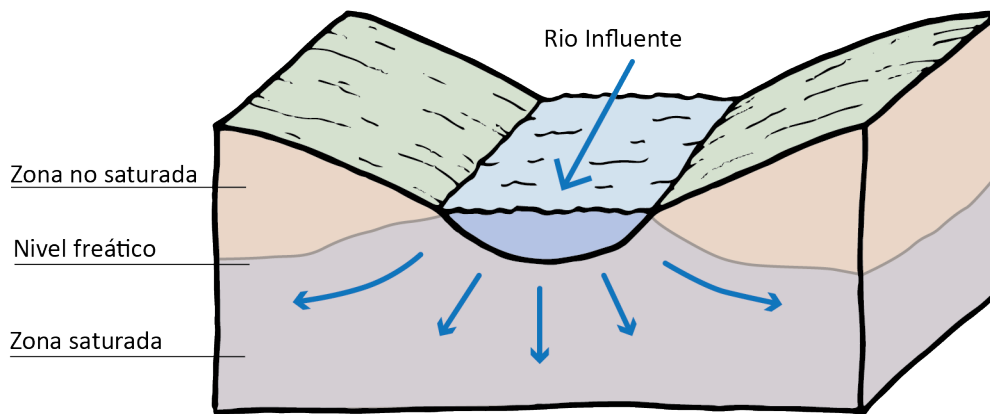


Fuente: Grafico elaboración propia.

Se observa en la figura A, representa el caso de un *rio efluente o drenante*, en donde las napas subterráneas aportan aguas a los canales. La zona saturada

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño del acuífero se encuentra próxima a las formaciones geológicas permeables, la misma recoge las aguas de las grandes llanuras aluviales en las zonas con pluviometría o con recarga (debido a la infiltración) abundante.

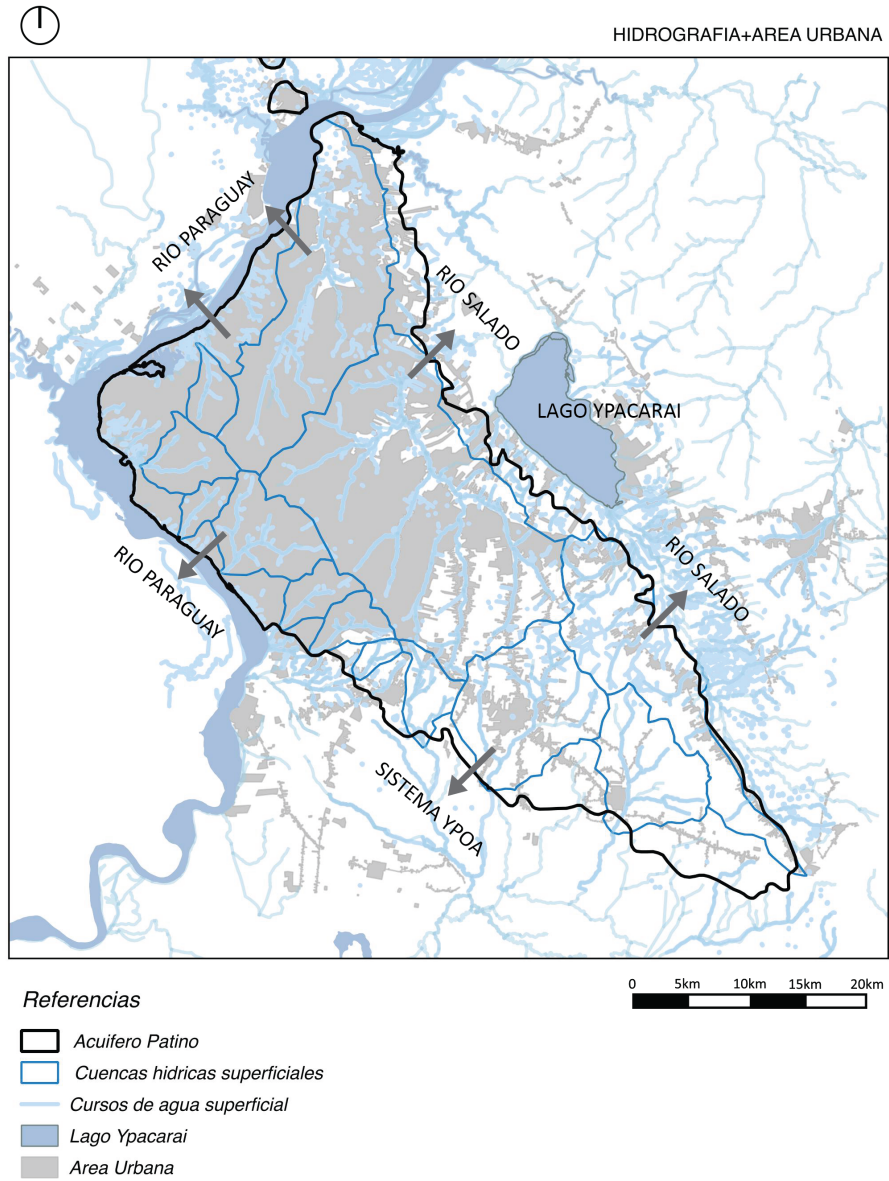
Figura 15: Ríos influentes



Fuente: Grafico elaboración propia.

En la figura B, el caso del *rio infiltrante o influente*, pierde agua por infiltración, siendo esta parte de su caudal, esto se da ya que el nivel de agua del cauce es más alto que la superficie saturada de los materiales permeables contiguos . Al mismo tiempo la misma no recibe ningún aporte subterráneo. Este esquema es típico de las zonas áridas o semiáridas, en las que la infiltración de agua a través de los cauces de los ríos constituye la principal fuente de recarga de los acuíferos.

Figura 16: Red de flujos del Acuífero Patiño

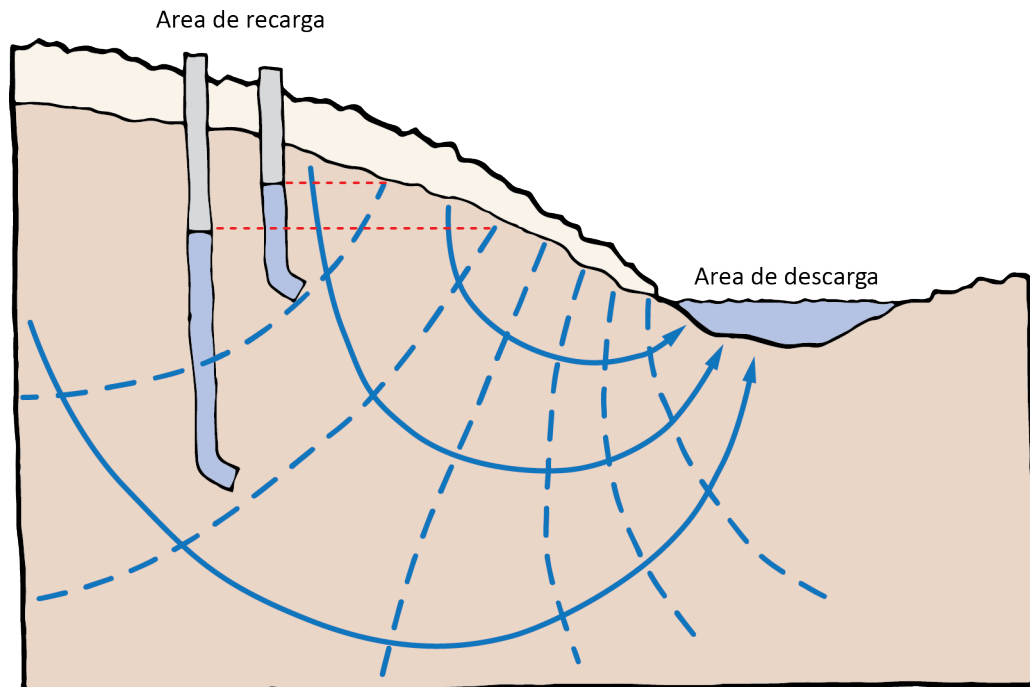


1.12. Zonas hidrogeológicas

1.12.1. La zona de recarga

Es el área de una cuenca hidrográfica que por sus condiciones climatológicas, geológicas y topográficas, permite que el agua de lluvia penetre al suelo llegando a recargar los acuíferos.

Figura 17: Flujo descendente y ascendente: áreas de recarga y descarga



El nivel del tubo "A" sube más arriba que el nivel del tubo "B". "A" se encuentra expuesta a una superficie de mayor potencial que el tubo "B."

Fuente: elaboración propia.

Esta zona dentro de los acuíferos son delicadas debido a la vulnerabilidad que tienen frente a los contaminantes, los cuales una vez que penetran al sistema se hacen difíciles de extraer.

Por otro lado, la recarga posee un sistema de flujo vertical descendente.

1.12.2. Zona de transmisión

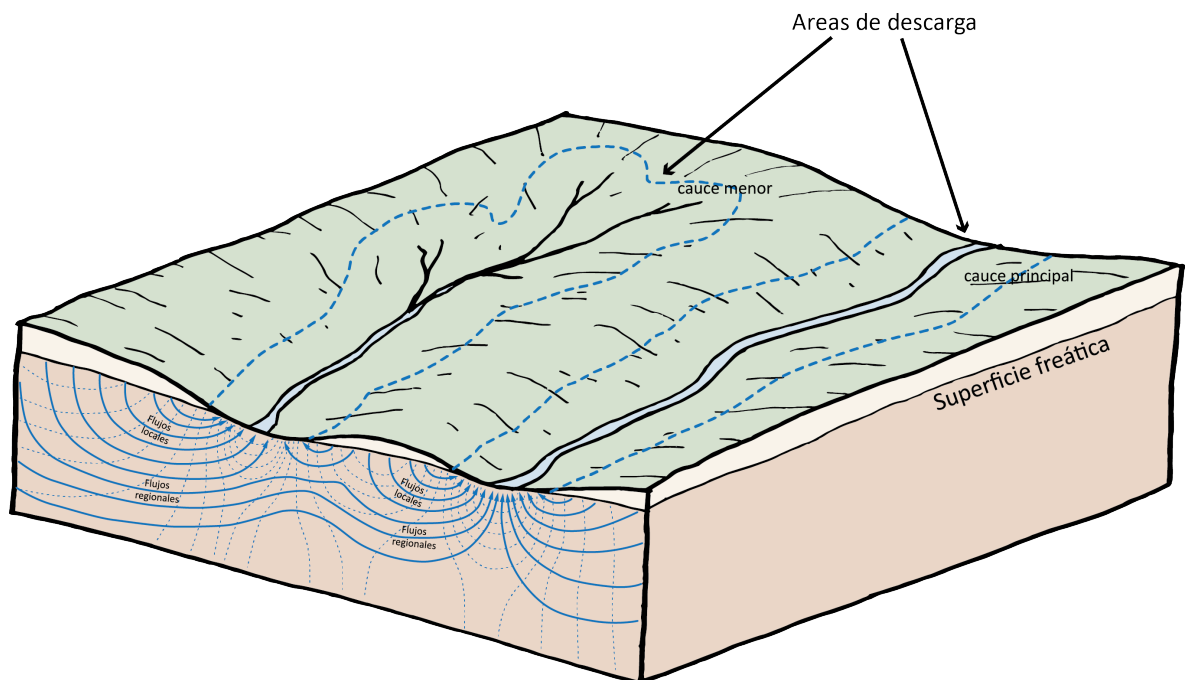
Es la zona en la que un interflujo circula de manera superficial y a gran velocidad atravesando formaciones permeables de escasa profundidad. Estos flujos intervienen en el balance de las aguas superficiales, mientras que dentro de lo que son las aguas subterráneas corresponden a un balance transitorio. Las zonas intermedias poseen un flujo horizontal.

1.12.3. Zona de descarga

Representa a el agua que brota de manera natural en sitios donde el nivel freático intercepta a la superficie. Dentro del sistema hidrogeológico, se los considera como puntos en la superficie del terreno que descargan una cantidad determinada de agua proveniente del acuífero de una manera natural a la superficie del terreno. Las mismas poseen un flujo subterráneo que presentan componentes verticales de **ascendencia**.

Las descargas también se dan por medio de la evapotranspiración²⁰, en donde la vegetación al estar en contacto con la zona saturada absorbe el agua subterránea y “descarga” la misma a la atmósfera.

Figura 18: Áreas de descarga natural



El cauce menor genera una área de descarga con el correspondiente flujo local, el cauce principal por otro lado, recibe flujos locales y regional. La división subterránea no necesariamente tiene que coincidir con la división topográfica, ni tampoco con el punto mas alto de la superficie freática.

Fuente: elaboración propia.

²⁰ Evapotranspiración: es la consideración conjunta de dos procesos, la evaporación, proceso en el cual el agua se convierte vapor y la transpiración, el proceso biológico en el cual las plantas pierden agua a la atmósfera.

1.13. Balance hídrico subterráneo.

Cualquier acuífero puede ser caracterizado mediante un balance hídrico, en el que se consideran a las entradas y salidas de agua. En el caso de que las salidas no tengan el mismo valor que las entradas; existe un cambio en el almacenamiento.

Existe una interacción entre los flujos de agua superficial y subterránea en las dos direcciones; el agua de lluvia, a través de la infiltración alimenta a los acuíferos, del cual se extrae agua para los diversos consumos. El agua de los acuíferos también alimenta a los cauces hídricos superficiales, como los arroyos y humedales. Estos procesos dependen del clima, reflejando a la precipitación en el sistema, donde en periodos de sequías la descarga de los acuíferos en los sistemas superficiales es visiblemente menor.

En el balance del subsuelo se confrontan las entradas y salidas al acuífero obteniendo la variación temporal del volumen subterráneo (AS), el cual representa el descenso o ascenso del nivel del agua del acuífero.

Como entradas al sistema subterráneo se tienen a la infiltración de agua de retorno (I) y a la infiltración de agua de lluvia (I_i); y como salida tenemos a la extracción por bombeo (B) y la escorrentía del caudal base la cual se origina en el acuífero y sale como descarga de escorrentía superficial (Es).

1.13.1. Balance superficial integrado

$$AV = (P + Im + R + B) - (Et + Es + C + I_r + I_i)$$

AV= Cambio de almacenamiento en la superficie en Hm³

1.13.2. Parámetros de entrada (valores anuales).

P= Precipitación, dato original en mm por periodo de tiempo, convertido a Hm³.

Im= Importación de cuencas externas, valor original en m³.

R= Caudales de Retorno (% de usos humano, agrícola, industrial y servicios), en m³.

B= Extracción por bombeo de todos los usos, dato en m³/h.

1.13.3. Parámetros de salida (valores anuales)

E_t = Evaporación del suelo + transpiración vegetal, dato en mm.

E_s = Escorrentía de salida, caudal base de arroyos más escorrentía media de la lluvia, dato en m³/s.

C_h = Consumo humano, dato en litros/persona/día.

C_i = Consumo industrial, servicios, hospitales, hoteles, dato en m³/día por unidad de producción o servicio.

C_a = Consumos agrícola, en Hm³.

I_r =Infiltración de retorno, fugas, agua no contabilizada (ANC) y otros, datos en m³.

I_l = Infiltración de lluvia, dato en mm.

1.13.4. Balance Subterráneo.

$$AS = I_r + I_l - B - E_{ss}$$

AS= Variación temporal del volumen subterráneo.

1.13.5. Parámetros de entrada (valores anuales).

I_r = Infiltración de retorno, fugas, agua no contabilizada (ANC) y otros, datos en m³.

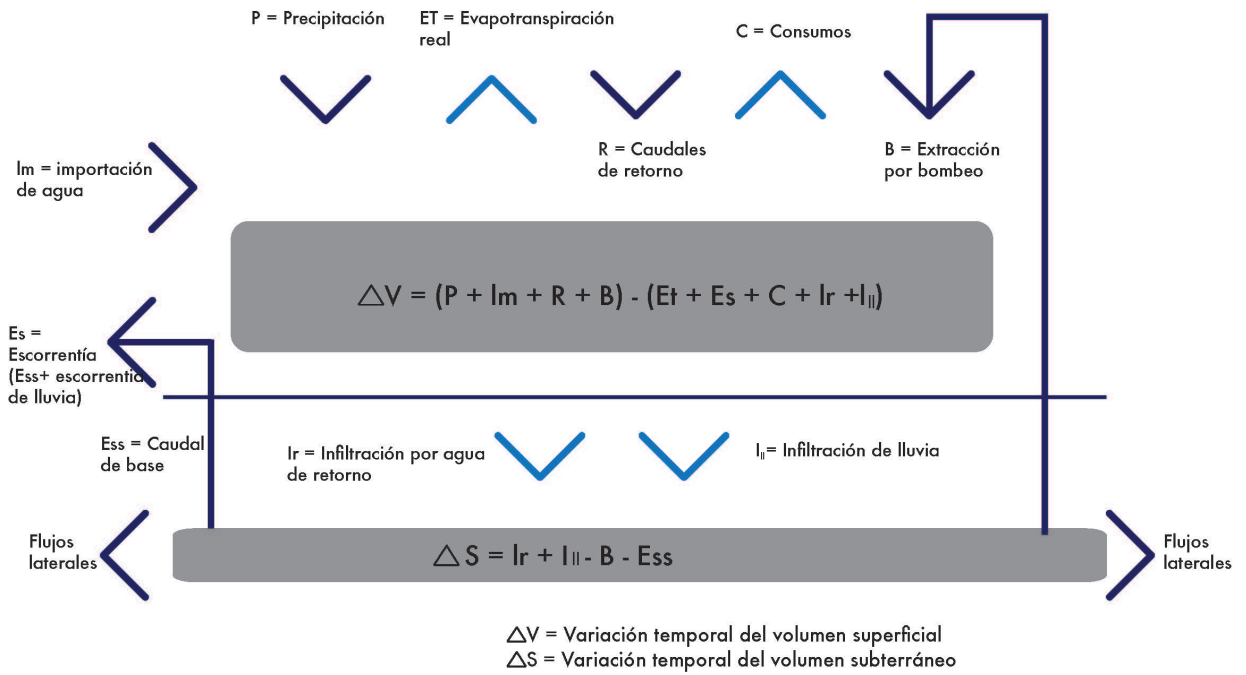
I_l = Infiltración de lluvia, dato en mm.

1.13.6 Parámetros de salida (valores anuales).

B = Extracción por bombeo de todos los usos, dato en m³/h.

E_{ss} = Escorrentía de salida, caudal base de arroyos, dato en m³/s.

Figura 19: Balance hídrico integrado (Balance superficial+ subterráneo)



Fuente: elaboración propia.

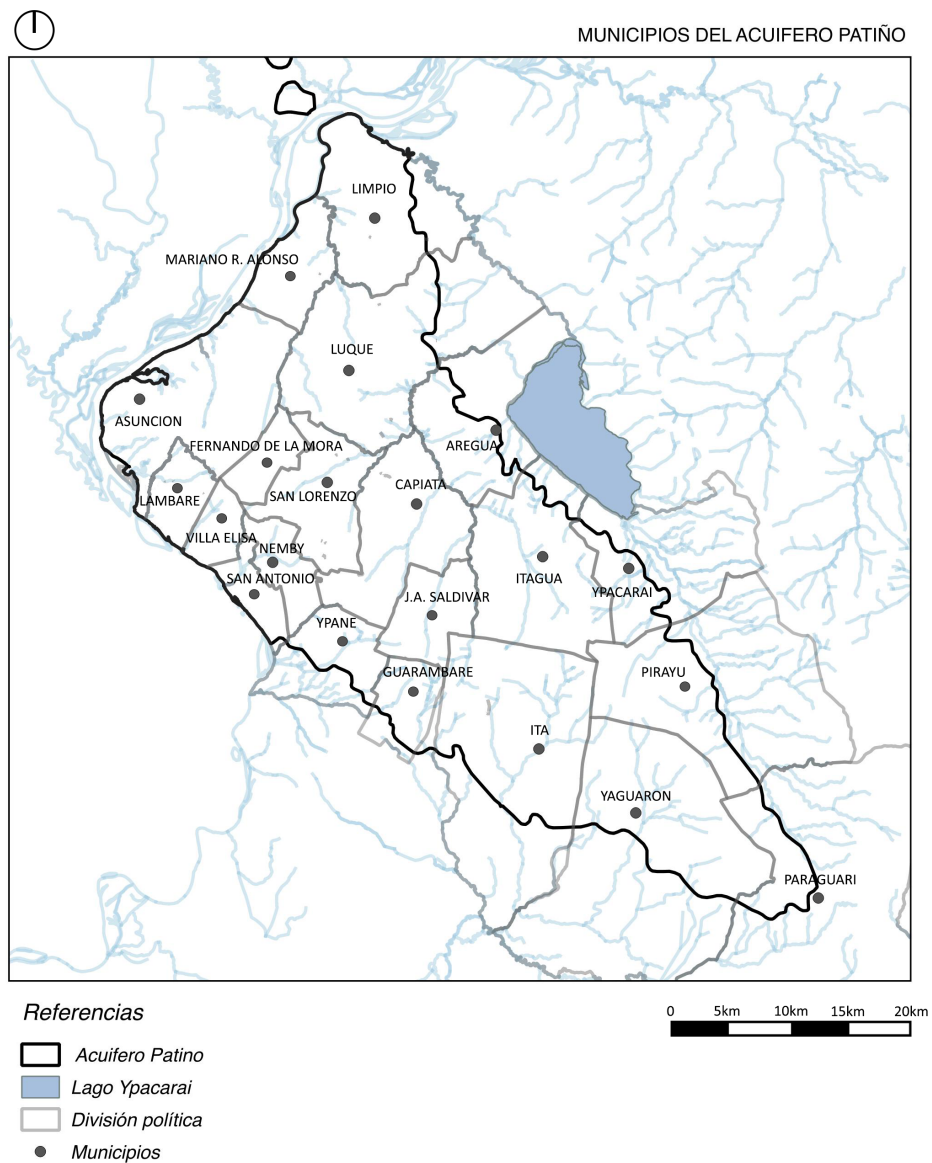
CAPITULO II: Descarga del acuífero Patiño y su relación con las poblaciones locales

2.1 Descripción general

El acuífero Patiño es una reserva importante para Asunción y el Área Metropolitana donde la población supera los dos millones de habitantes.

Comprende un área de 1.173 km², es de forma triangular e incluye en su territorio a la ciudad de Asunción y otras 21 municipalidades de los departamentos Central y Paraguarí (Ver Figura 20), y a su vez, incluye a 13 microcuencas hídricas superficiales que drenan hacia el Lago Ypacaraí, al riacho Salado, a los humedales del Ypoa y al río Paraguay (Ver Figura 21). Se encuentra urbanizado en un porcentaje que oscila entre el 40 y el 50% del área total.

Figura 20: Municipios dentro del área del acuífero Patiño



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Cuencas hídricas superficiales el área del acuífero Patiño.

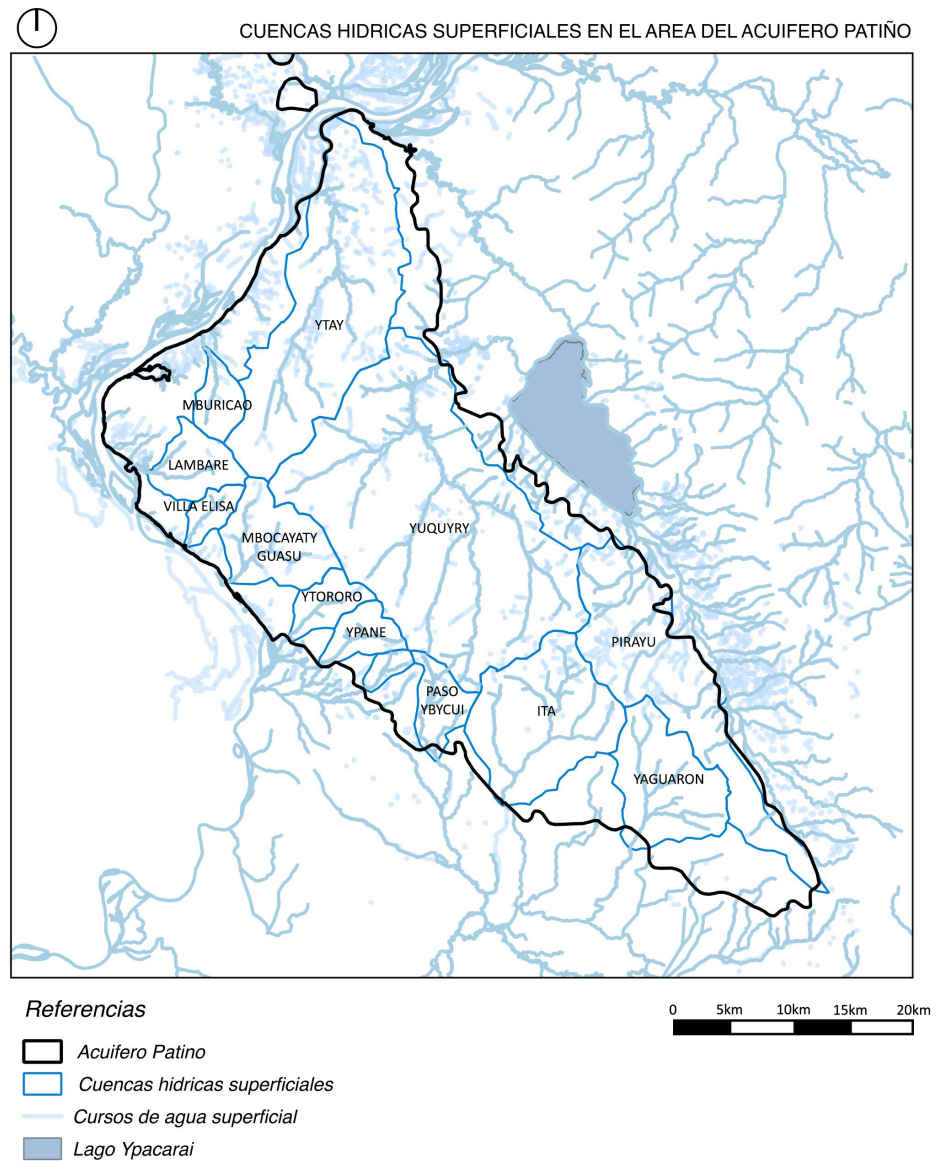
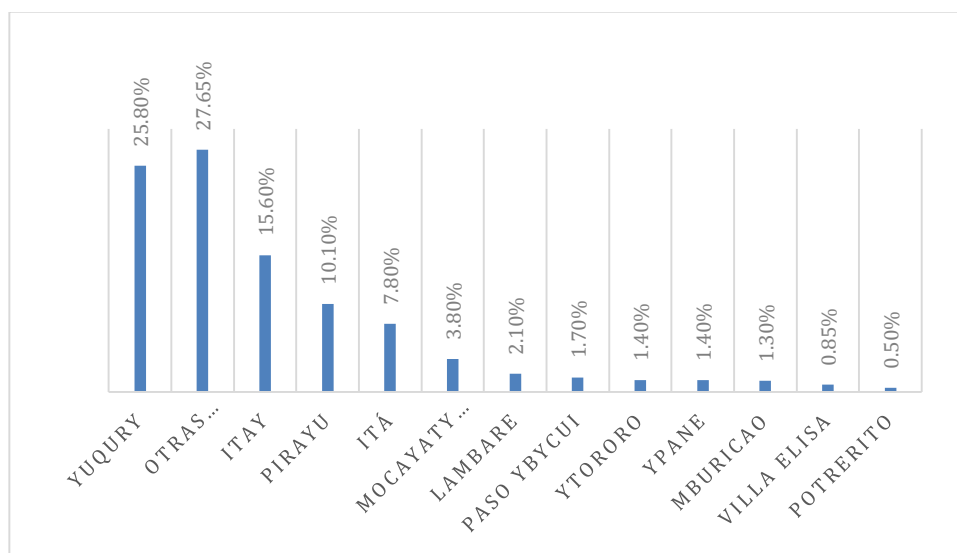


Gráfico 1: Cuencas hidricas superficiales en el area del acuífero Patiño

Existe una gran dependencia de la población sobre el acuífero Patiño, pues tan solo un pequeño porcentaje del aguade la Capital es proveída por la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), la cual utiliza como fuente principal al río Paraguay, mientras que los demás municipios dependen de juntas de saneamiento o de aguaterías privadas que extraen agua en su mayor parte del acuífero Patiño.

El estudio del Balance Hídrico Integrado elaborado en el año 2005 nos brinda resultados alarmantes acerca del excesivo consumo de las aguas del acuífero Patiño (consumo humano, consumo industrial y consumo agrícola), en comparación al caudal de retorno de agua de diferentes fuentes que ingresan al suelo.

Las proyecciones nos muestran una disminución en la reserva de agua subterránea, indicando una necesidad de establecer acciones con el objeto de evitar el agotamiento definitivo de esta reserva de agua dulce.

2.2. Geología del acuífero Patiño. Corte del acuífero Patiño.

Dos factores primordiales para determinar la infiltración dentro del Acuífero Patiño son los aspectos geológicos y las características del suelo. Como mencionamos anteriormente, el acuífero Patiño se caracteriza por ser de tipo libre o freático, dependiendo de las precipitaciones que penetran al subsuelo.

El acuífero Patiño está compuesto por depósitos de sedimentos sucesivos llamados “Palacios”. Estos a la vez están compuestos de sedimentaciones rápidas de derrumbes y depósitos de rocas en su base, y ya en los estratos superiores se componen de areniscas cada vez más homogéneas.

Figura 22: Perfil geológico de la región donde se localiza el acuífero Patiño.

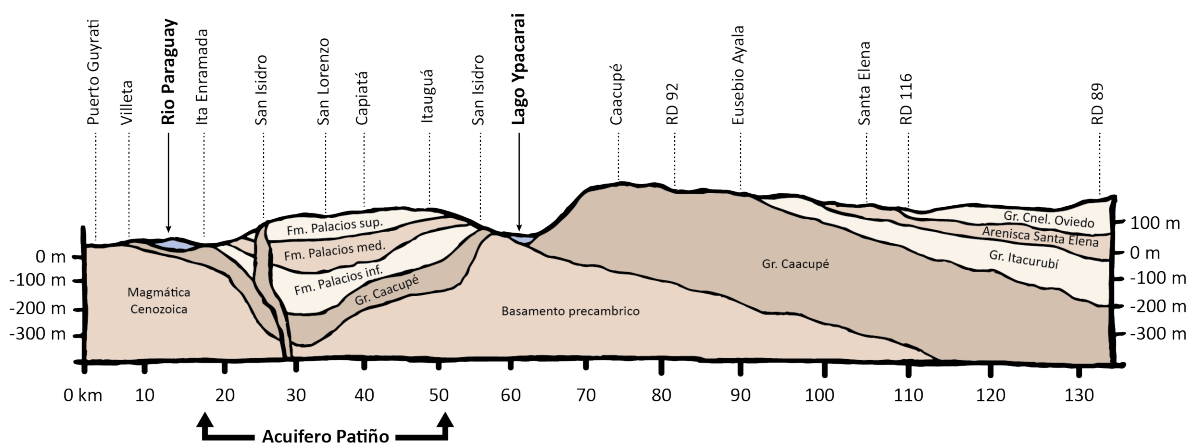
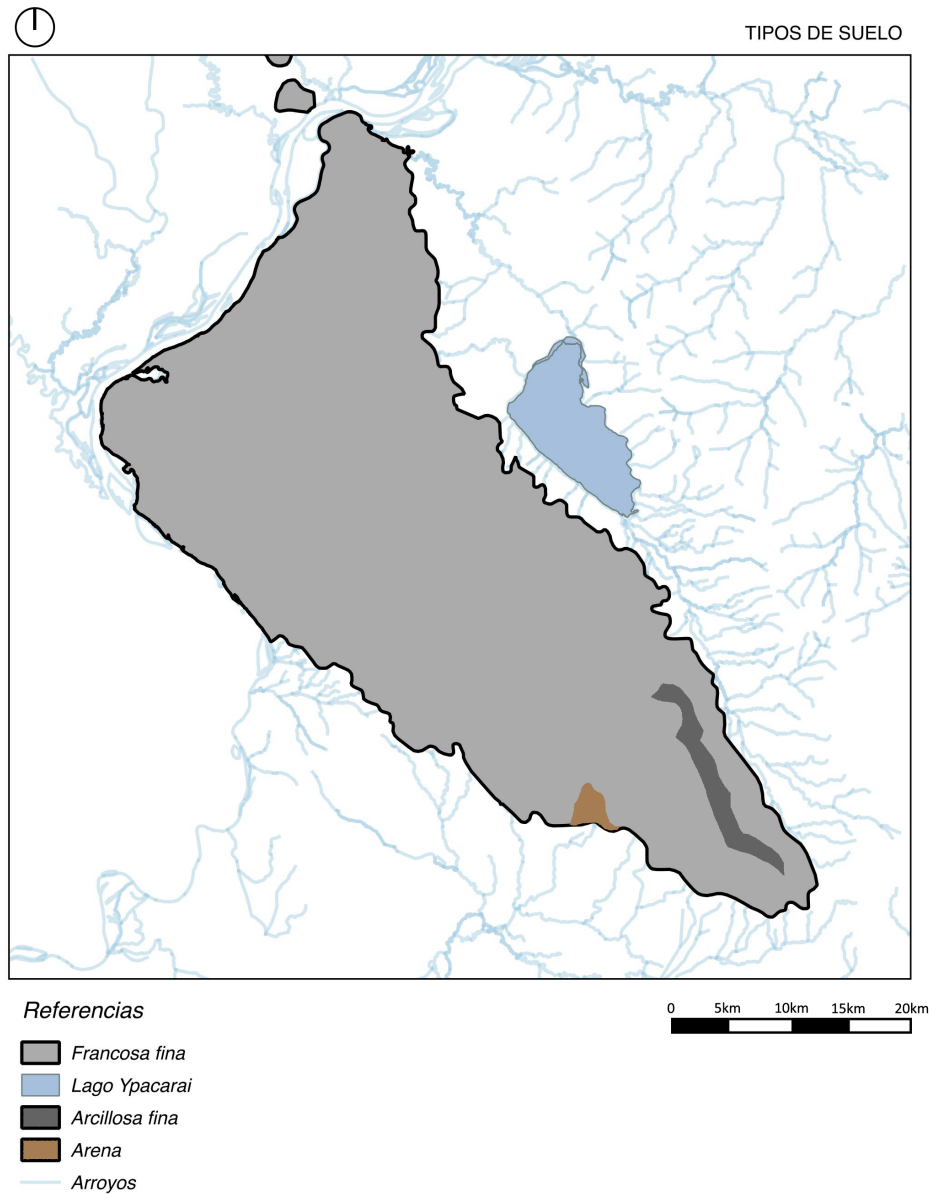


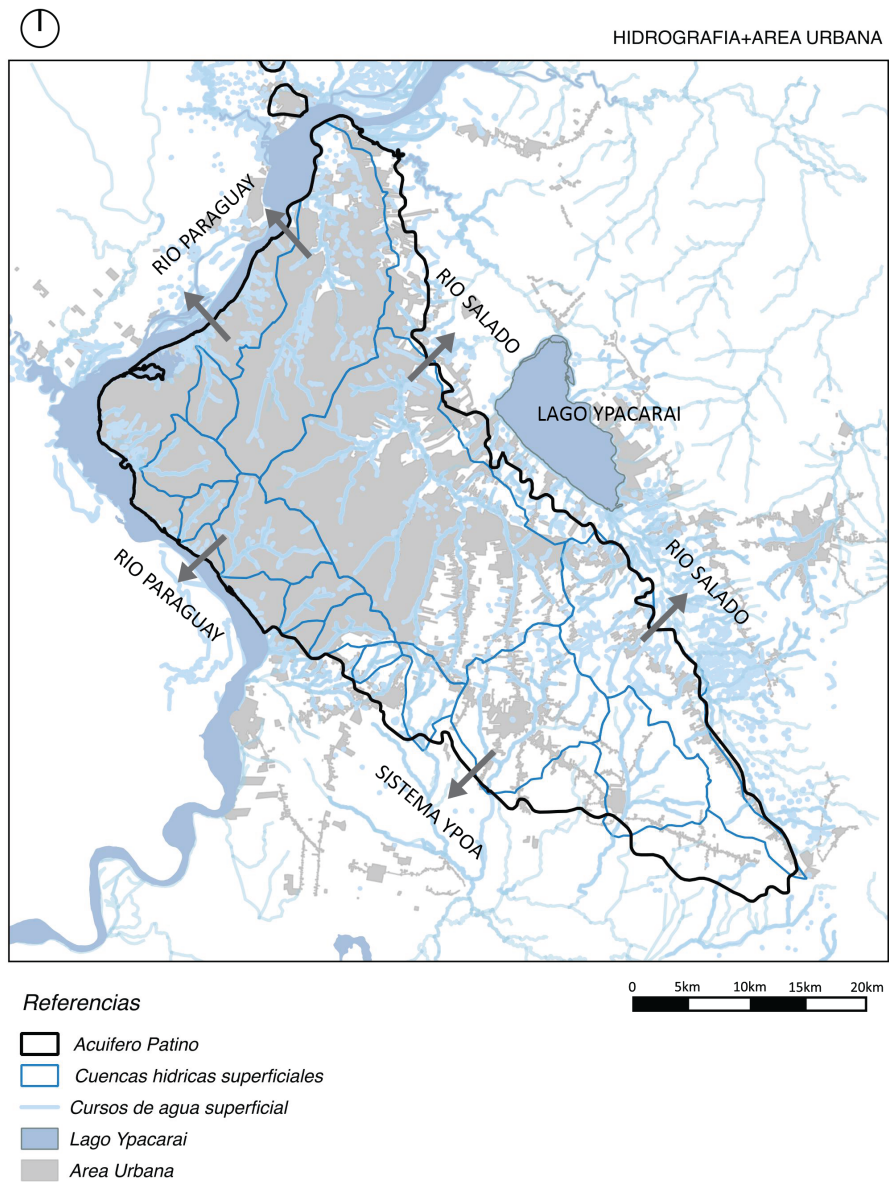
Figura 23: Mapa Tipos de Suelo del Patiño.



2.3 Hidrología. Cuencas y Agua Superficial.

Es característico de la zona el escurrimiento de agua superficial y subsuperficial hacia el río Paraguay al noroeste, al lago Ypacaraí al este y al sur un sistema de cauces que drenan al lago Ypoa. Existen dos microcuencas que ocupan casi la mitad de la superficie del acuífero; por un lado tenemos la Cuenca del Ytay, que contempla la zona de Asunción y por otro la cuenca del Yuquyry, que abarca distritos de Itagua, Capiata, Aregua, San Lorenzo, Luque y parte de Itá. La cuenca del Ytay contempla arroyos mas urbanos, ya que se desenvuelve en la zona más urbanizada del Área Metropolitana y drena al río Paraguay. La cuenca del Yuquyry contempla arroyos urbanizados, así como también más rurales, y todo el sistema termina drenando al lago Ypacaraí, para luego pasar al riacho Salado que desemboca en el río Paraguay. (Ver Figura 24)

Figura 24: Red de flujos del sistema acuífero Patiño



Es importante comprender el estado en el que se encuentran los arroyos, tanto urbanos como rurales, ya que permite el monitoreo de las reservas de agua del acuífero. Generalmente, en las zonas donde existe una sobreexplotación del agua subterránea, este consumo se ve reflejado en el caudal de agua de los arroyos.

Muchos de los arroyos urbanos, en tiempos secos se encuentran con caudales perennes y con presencia de contaminantes y basura. Muchas veces la basura o residuos sólidos colmatan el paso del agua y, en periodos de lluvia, sumada a la impermeabilidad de los suelos, el caudal del agua aumenta casi 50 veces más que el caudal base. Esto genera un desborde de los cauces naturales y produce inundaciones urbanas, ocasionando grandes impactos en la infraestructura, así como también al ambiente de la ciudadanía.

Figura 25: Arroyo urbano Mburicao saturado de residuos solidos.



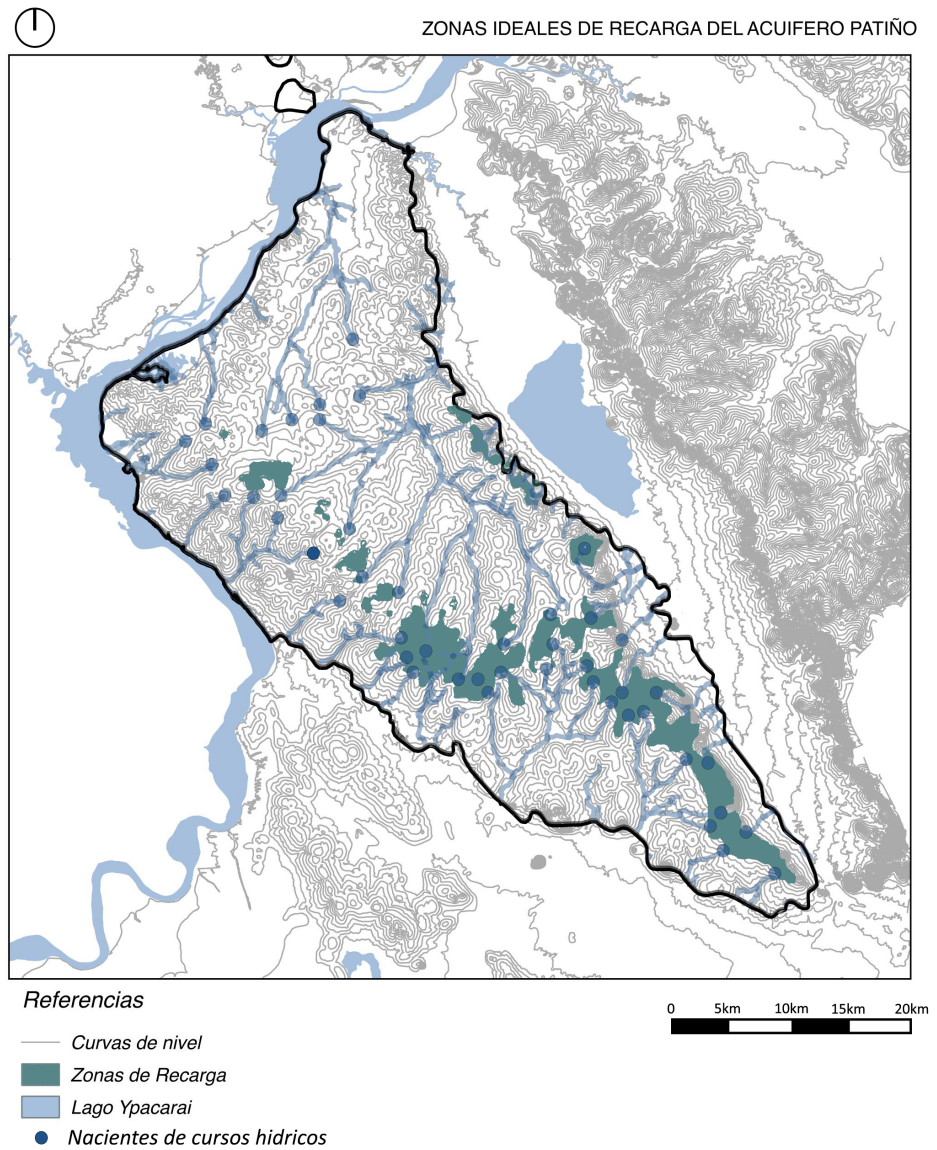
2.4 Zonas hidrogeológicas del acuífero Patiño

2.4.1 Las zonas de recarga

Las zonas de recargas en el acuífero Patiño se sitúan en gran parte de su superficie debido a que posee un tipo de suelo homogéneo más convenientes para la recarga. Igualmente, la zona mas conveniente para la recarga coincide

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño con las nacientes de las cuencas hidrográficas superficiales (arroyos) ya que por la diferencia de altura el agua penetra al acuífero con mayor presión, permitiendo que el proceso de infiltración sea el adecuado. Estas áreas de recarga también se encuentran en los espacios entre los cursos hídricos, siempre y cuando la diferencia de nivel topográfico y del acuífero sea la adecuada. Las zonas impermeables se encuentran donde hay formaciones de cerros.

Figura 26: Zonas de Recarga



2.4.2 Zonas de Descarga

Como fue descrito anteriormente, las zonas de descarga natural del acuífero se da en los lugares donde la salida del agua se encuentra a un nivel superior que el nivel del terreno. Las mismas existen en las nacientes y en el transcurso del recorrido lineal de los arroyos. Hoy en día, debido a la falta de implementación de la ley de recursos hídricos, el crecimiento descontrolado de la urbanización, muchas de las zonas de descarga se encuentran en condiciones que no favorecen al funcionamiento hidrológico del acuífero.

Figura 27: Esquema de zonas hidrogeológicas en el acuífero Patiño

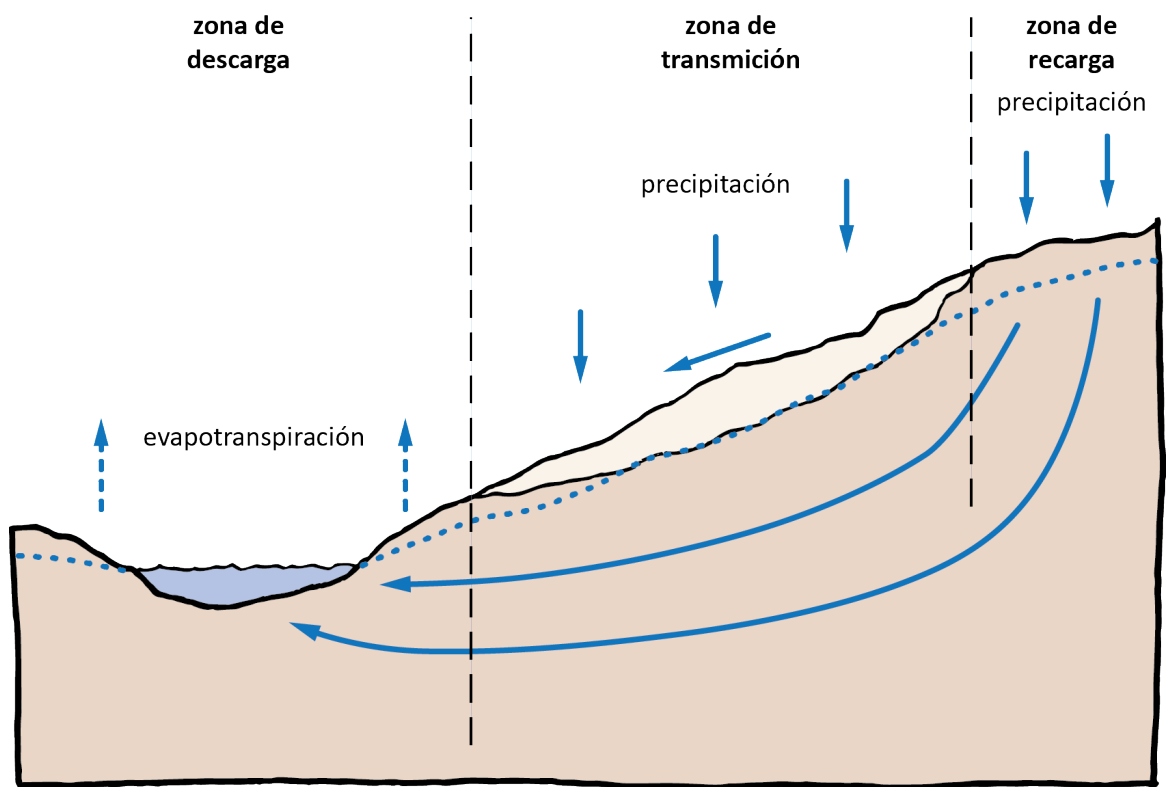
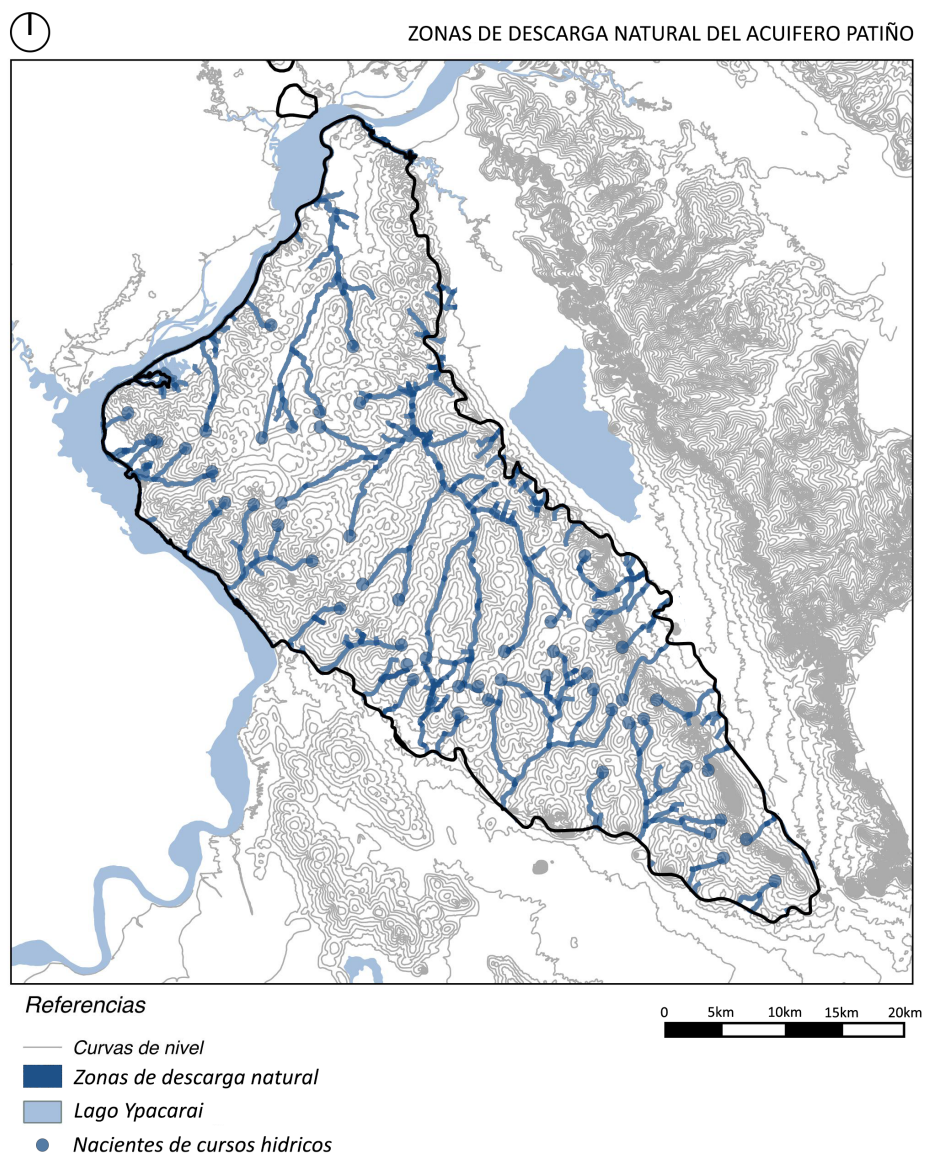
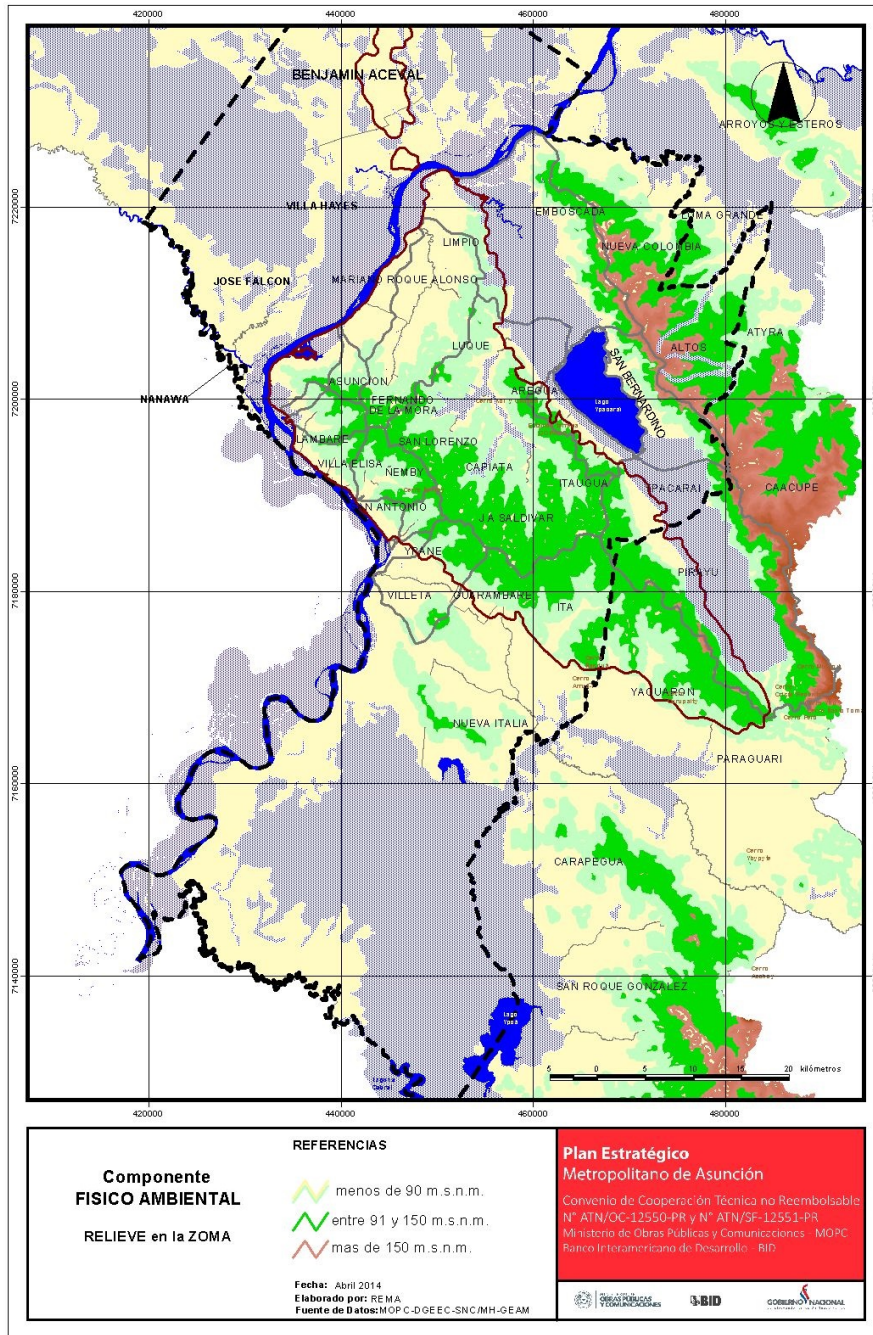


Figura 28: Zonas de descarga natural



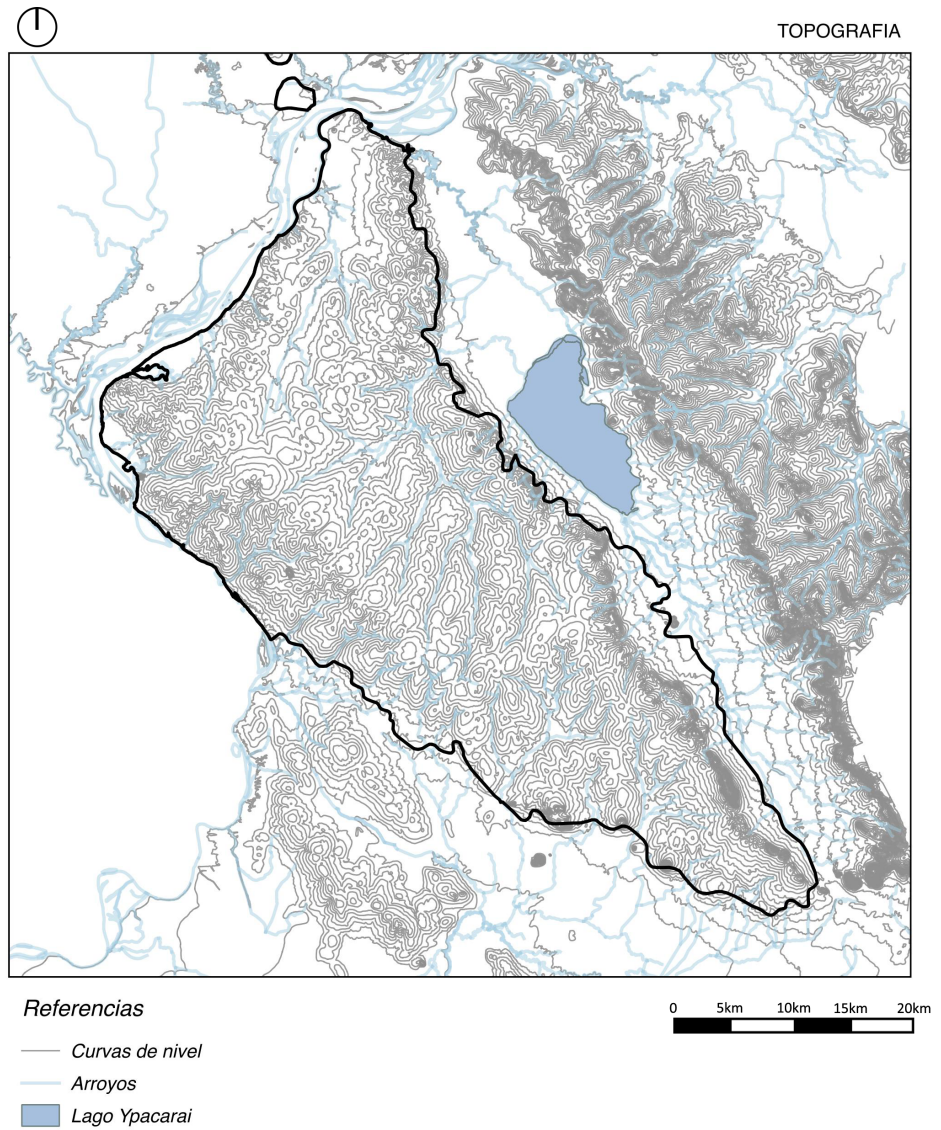
2.5 Topografía

En cuanto a la topografía del área de estudio, podemos notar una suave pendiente con la excepción de la zona de la cordillera de los Altos y en los cauces de los arroyos y humedales que tienen una depresión en el terreno.



Fuente: Plan Estratégico Metropolitano de Asunción.

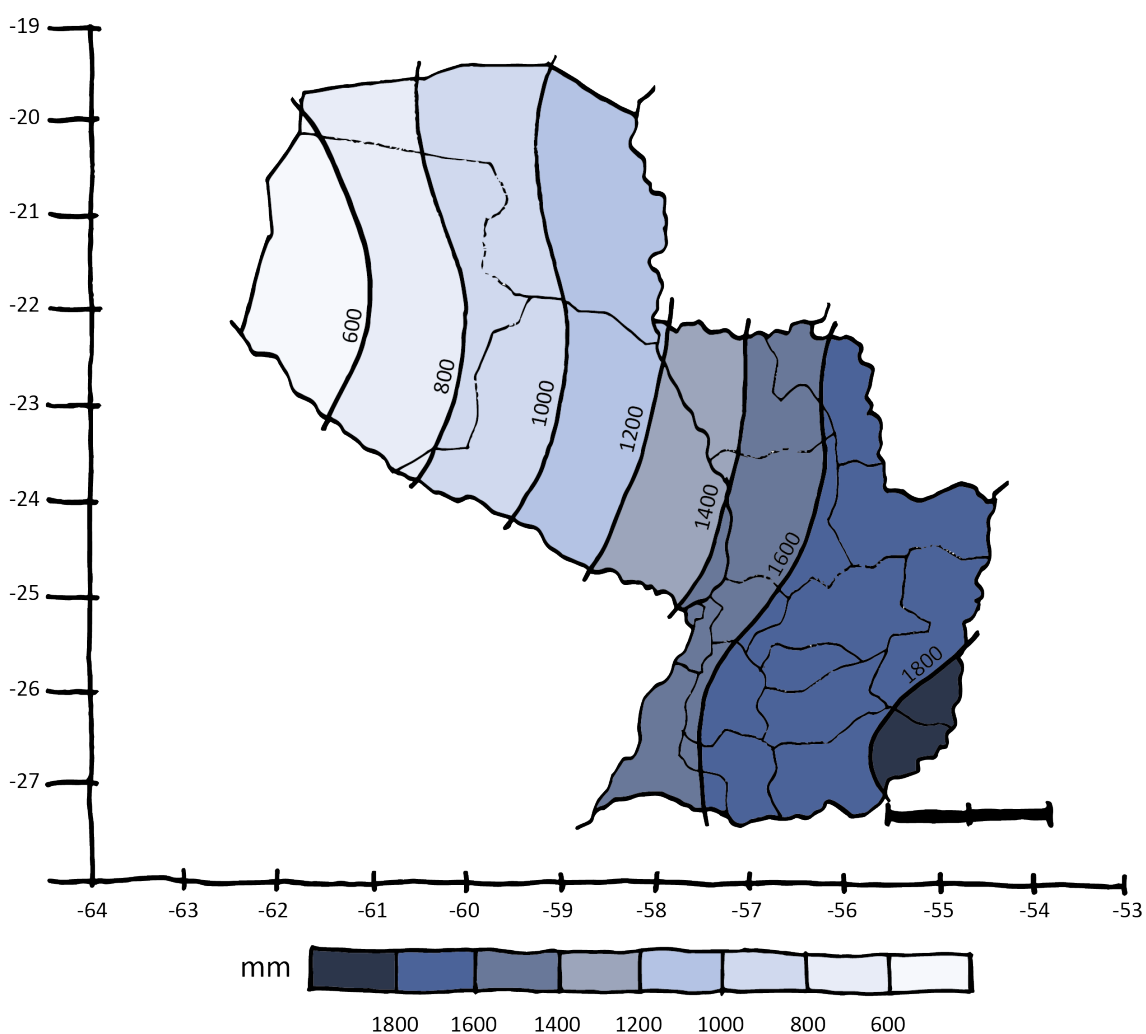
Figura 29: Topografía



2.6 Precipitación y recarga artificial

La precipitación es el componente principal del ciclo hidrológico, sucede cuando la atmósfera se satura con el vapor del agua, el agua se condensa y cae o “precipita”. Puede ser en forma de lluvia, nieve, granizo, rocío o escarcha. Se mide en milímetros y es expresada en mm/hora. Se puede medir a través de instrumentos como pluviómetros, pluviógrafos o nivómetros; estos datos son utilizados para la elaboración de redes pluviométricas necesarias para obras hidráulicas, etc.

Figura 30: Distribución espacial media anual de la precipitación en Paraguay.



Fuente: DMH-DINA, FP- UNA. Gráfico elaboración propia.

La recarga es el agua que vuelve a entrar al sistema. Uno de los principales aportes en el sector de estudio viene de la recarga de agua de lluvia. Para esto tenemos dos factores primordiales, que son la precipitación o los

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño milímetros de lluvia en la zona, así como también la pérdida de agua de las tuberías de abastecimiento de agua y alcantarillado.²¹

La figura 31 muestra la lluvia en milímetros por sector de las zonas urbanas del área de estudio, con los valores de recarga final, teniendo en cuenta los puntos mencionados anteriormente.

²¹ Ver “Mapeo de la Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción.”

Figura 31: Recarga en milímetros de la zona del Acuífero Patiño.

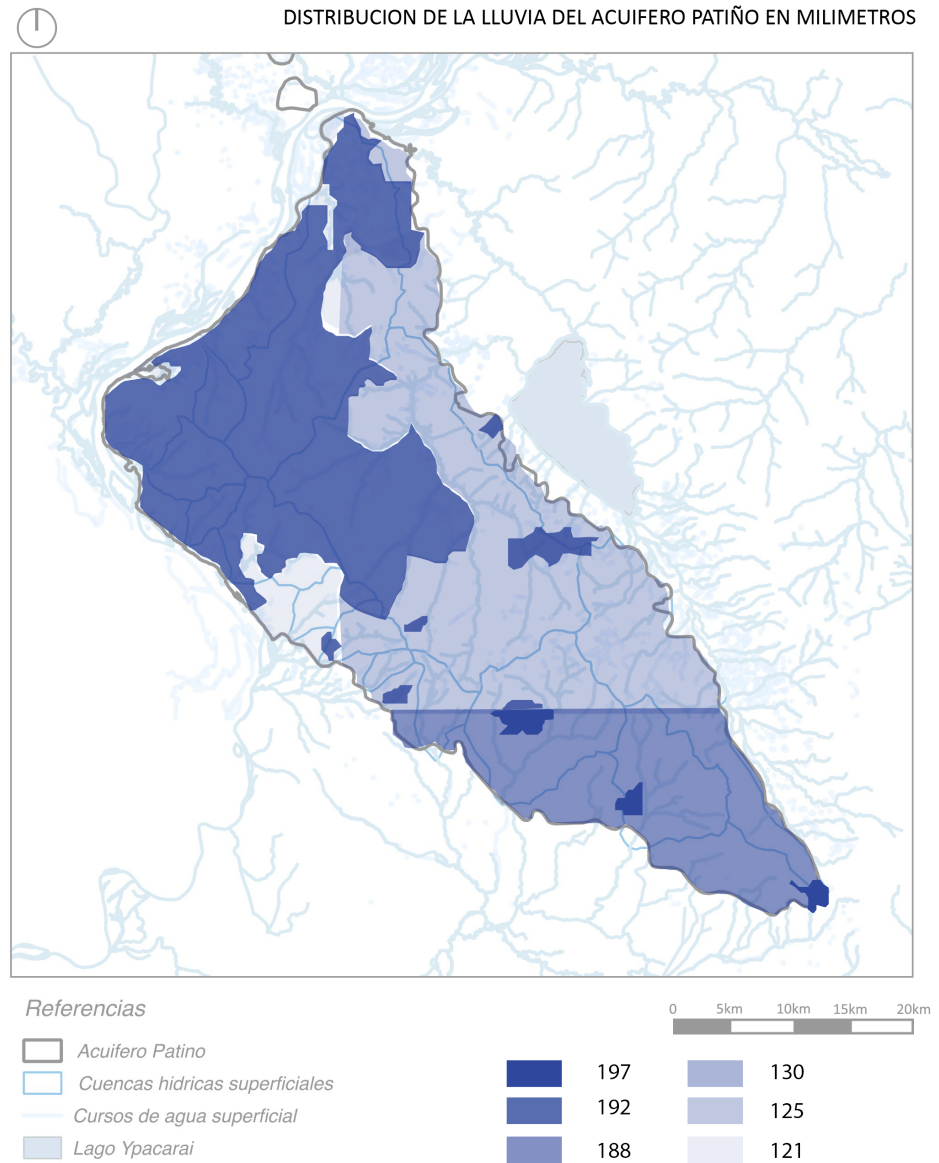
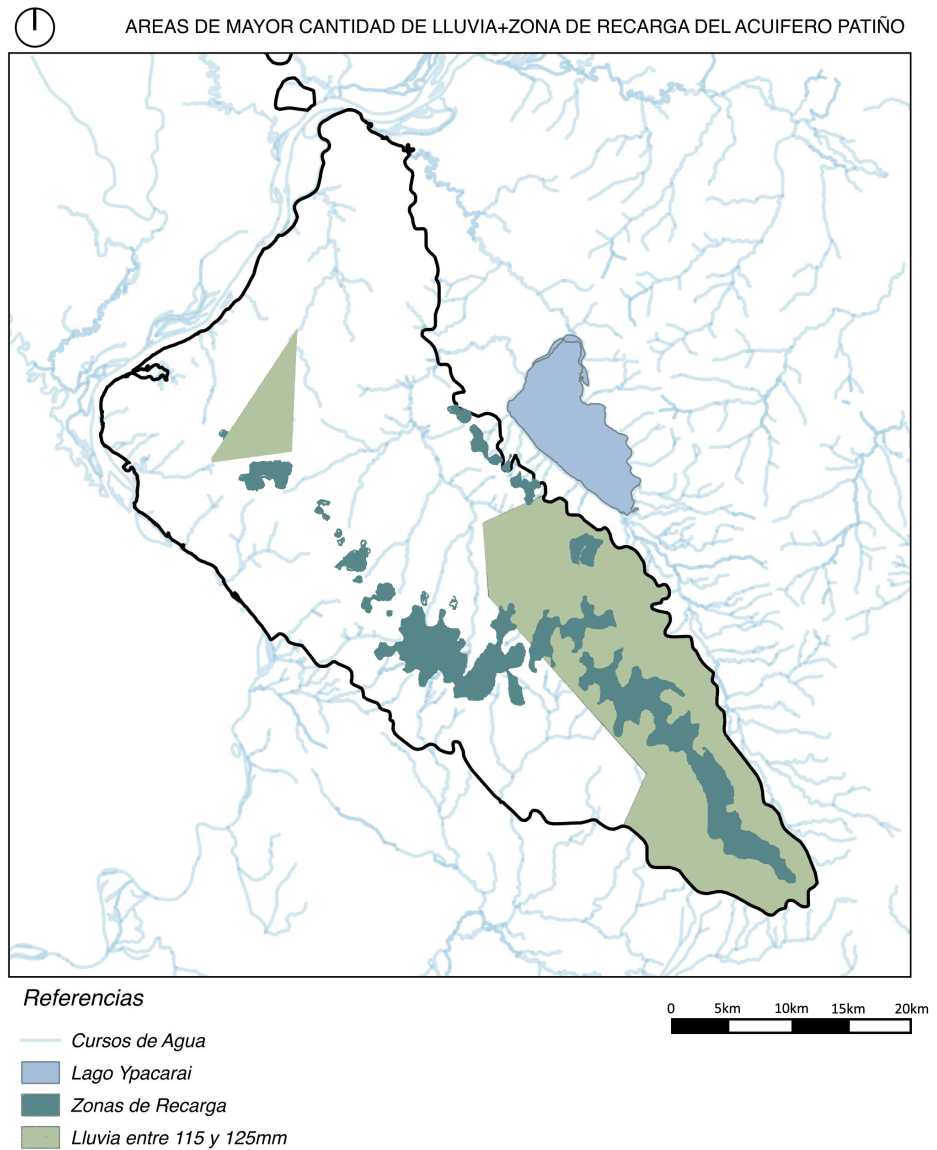


Figura 32: Áreas de Recarga dentro del Acuífero Patiño.



2.7 Clima

El clima del área de estudio es el del tipo subtropical húmedo con un régimen anual promedio de 1.388 mm de lluvia en el periodo 1961-2005, siendo desde el 2005-2014: 1.130mm. La temperatura media anual en el periodo de 1961-1990 es de 22,7 °C con valores máximos medios anuales de 28,2 °C y mínimas mínimas media anuales de 18,2 °C existiendo una variación de temperatura de 10 °C.

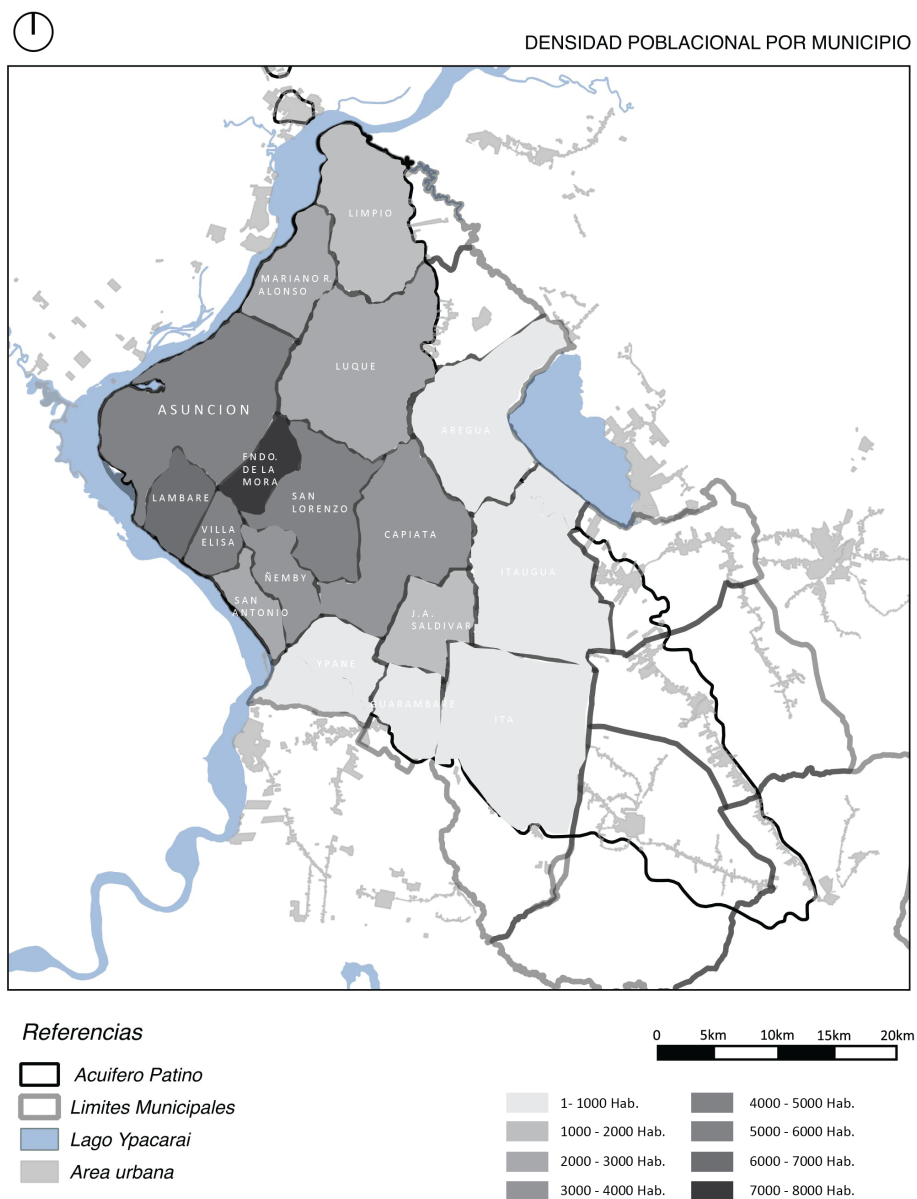
2.8 Densidad poblacional.

El crecimiento de las ciudades se fue dando de manera desordenada acompañando la longitud de las vías principales. En la última década esta mancha urbana ha crecido exponencialmente, soportando a una población de más de 2.000.000 de habitantes. En comparación a la población y territorio nacional, existe un desequilibrio nacional en donde casi el 30% de la población se abastece de este recurso hídrico.

La densidad de la región, responde al modelo de ciudad disperso y descontrolado. El promedio de densidad es de 26,4 habitantes por hectárea. Analizando las distintas poblaciones con la superficie perteneciente a cada municipio, se notan grandes diferencias de densidad dentro de la misma región, como, por ejemplo, en Fernando de la Mora tenemos 80 habitantes por hectárea y en Villeta existen 0,25 habitantes por hectárea.

Esta dispersión viene acompañada de la falta de infraestructura existente: como la red de desagüe cloacal, pluvial y el abastecimiento de agua corriente.

Figura 33: Densidad poblacional por municipio dentro del acuífero Patiño.



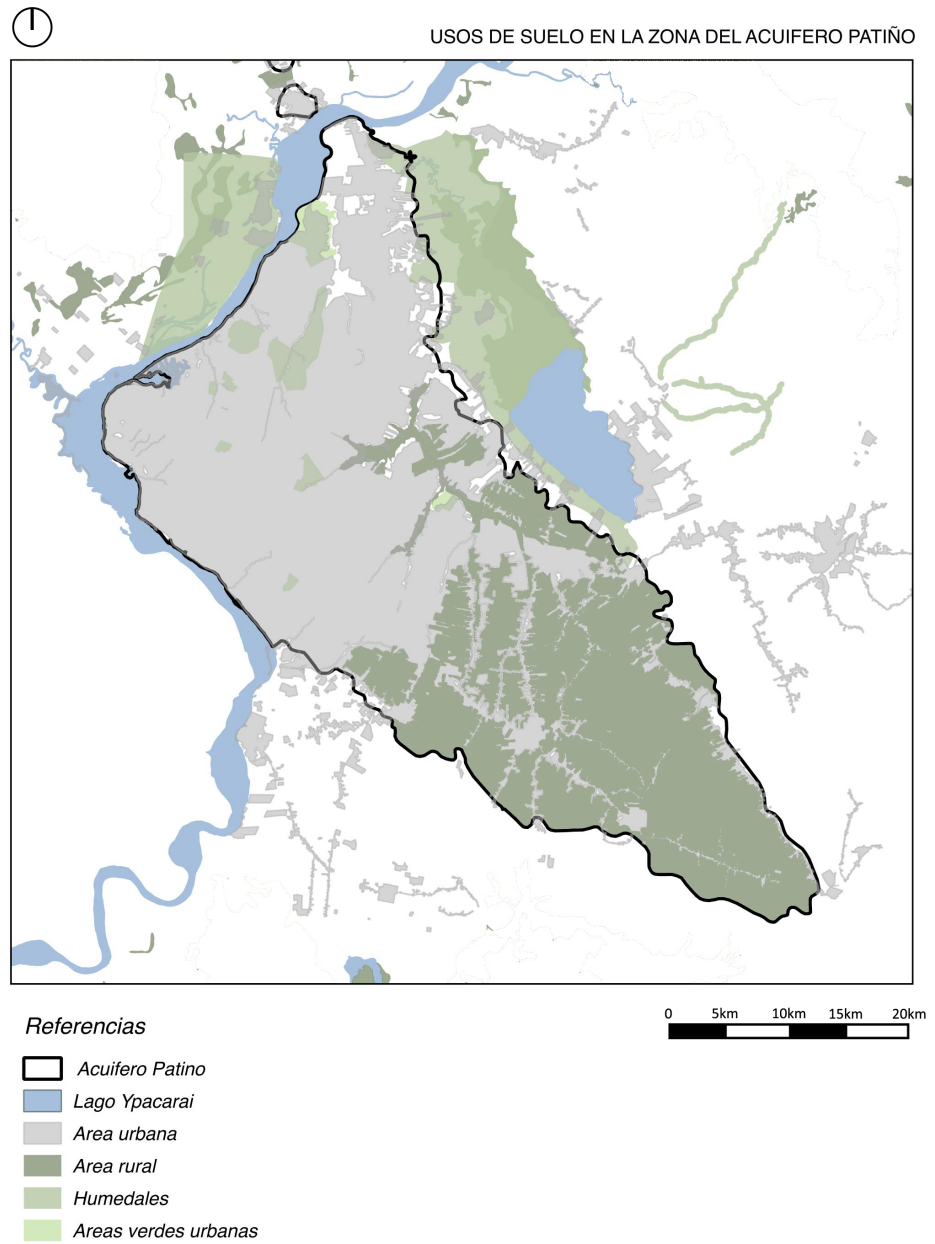
2.9 Usos del suelo.

A nivel general Existen dos áreas bien diferenciadas; **un área urbana**, con un nivel de urbanización medio a alto, donde podemos ubicar a los distintos distritos de Asunción y su Área Metropolitana, mientras que la otra área es fundamentalmente **tierra cultivada o destinada a actividades agropecuarias**, y ya en pequeñas porciones encontramos a los demás usos como lo son el bosque, cuerpos de agua, reforestación, sabana inundable.

En el **área urbana** se encuentran centros urbanos con actividades comerciales, habitacionales, industriales. Se caracteriza por grandes superficies impermeables, baja densidad, alto tránsito, pocas áreas verdes.

En el **área rural** se identifican zonas de actividades agropecuarias más orientadas al consumo alimenticio y producción ganadera. Normalmente las actividades de agricultura son las que más demandan consumo de agua.

Figura 34: Usos urbanos y rurales dentro del área del acuífero Patiño.



2.10 Red de desagüe cloacal. Pozos ciegos.

La baja cobertura de servicios de saneamiento básicos como una recolectora²² o con pozo ciego²³, ocasiona problemas relacionados a la salud y al medio ambiente.

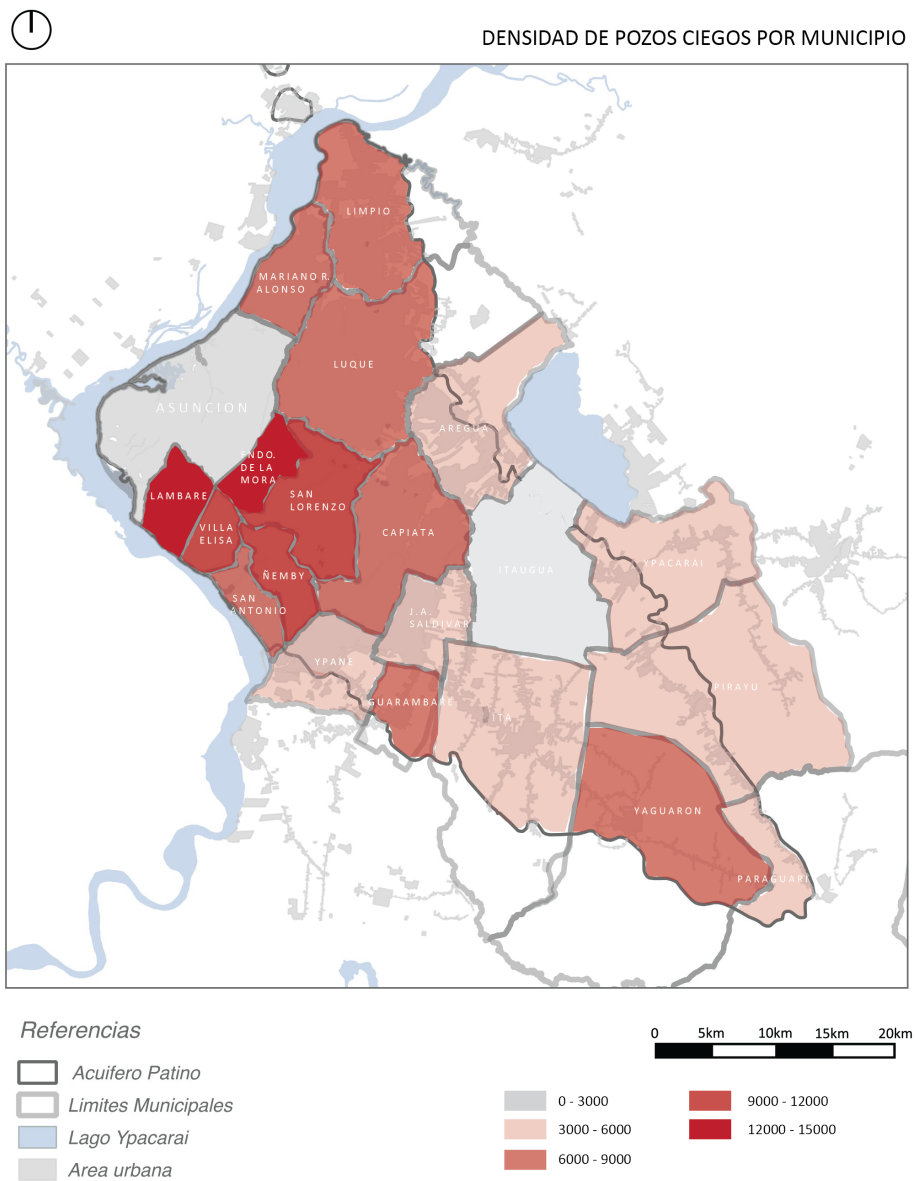
Hoy en día, nada mas que el 23% de las viviendas que se encuentra en el área del acuífero Patiño tienen red de desagüe cloacal. Esto deja a un 77% de la población con dependencia a letrinas y pozos ciegos. (Ver Figura 35)

Desde el punto de vista social, todos deberíamos tener acceso a los mismos servicios de saneamiento básico como derecho. Desde el punto de vista ambiental, contar con una red de desagüe cloacal o algún sistema que permita la degradación y decantación adecuada de los residuos sólidos, minimiza el riesgo en el ambiente. En el caso del Patiño, esto influye directamente sobre la captación de agua. Esta captación debería realizarse en base a la protección y sostenibilidad de estos recursos con el paso del tiempo, en donde se deberían tomar criterios basados en el clima, tipo de suelo, y características geológicas de la superficie, entre otras.

²² Recolectora: red colectora de residuos cloacales.

²³ Pozo ciego: excavación en forma de pozo, cubierto de paredes perforadas que recibe la descarga de las aguas negras. La parte líquida se filtra al terreno, la parte sólida queda retenida hasta que descompone el efecto bacteriano. Normalmente la profundidad del pozo esta determinada por la napa freática, si el pozo llega a la napa la misma puede contaminarse.

Figura 36: Densidad de viviendas con pozos ciegos por hectárea.



2.11 Red de Agua Corriente. Río/Acuífero.

Existe un desequilibrio total en el abastecimiento público del agua, ya que nada más que el 32% de la población del Área Metropolitana de Asunción cuenta con abastecimiento de agua potable proveniente de la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP). La ESSAP utiliza agua superficial del río Paraguay y, en algunos pozos de donde bombean agua y proveen a ciertos sectores del AMA. En tanto que el restante 68% depende de agua subterránea, administradas por aguateras privadas²⁴.

²⁴ Ver Capítulo 3.1.2 Consumo doméstico.
MARIA BERTHA PERONI

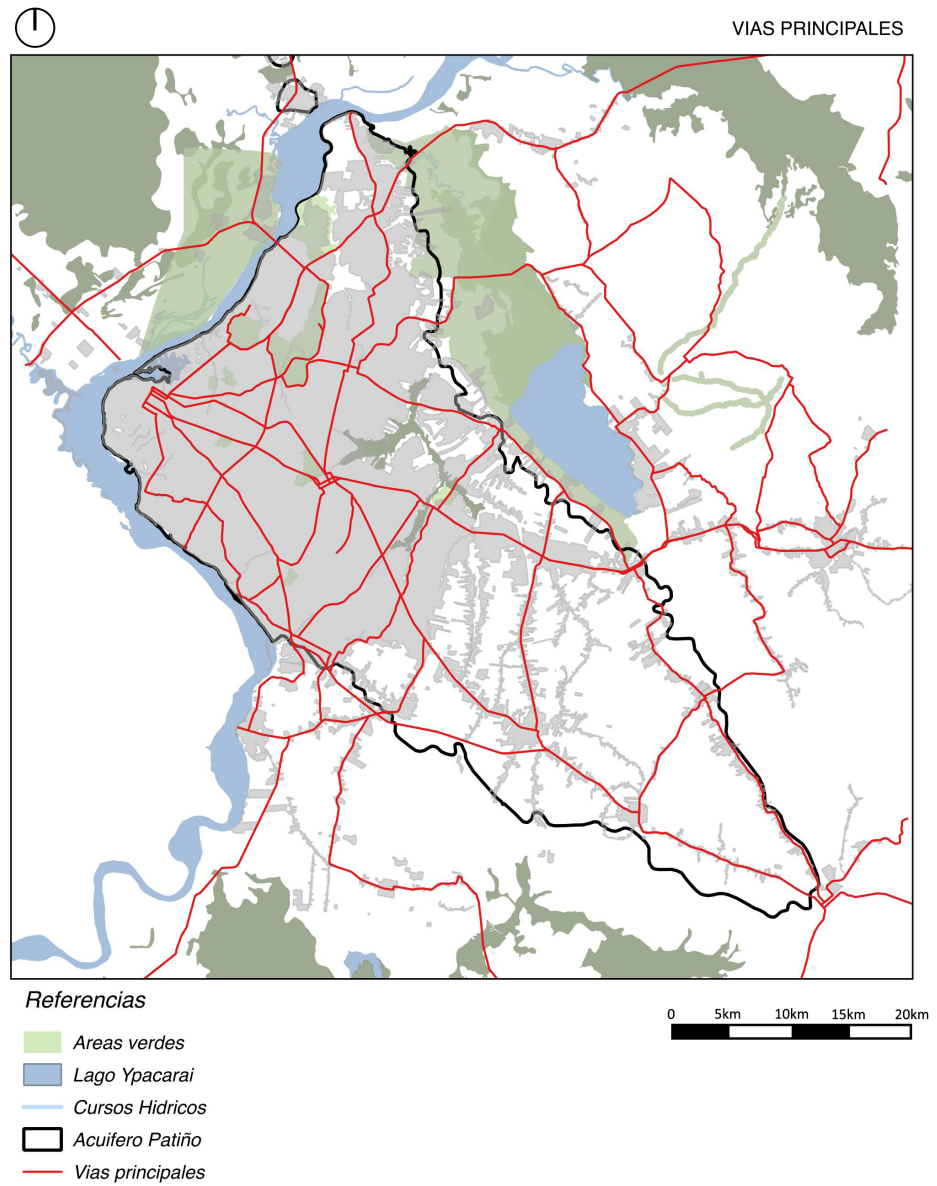
2.12 Red de desagüe pluvial.

El drenaje pluvial existente en el área del acuífero Patiño cubre tan solo el 10% de la superficie, y a la par se da un crecimiento de la urbanización desordenado, lo que impermeabiliza la superficie; en consecuencia, se generan inundaciones urbanas durante las precipitaciones intensas que se dan en la ciudad.

2.13 Vías principales

Se consideraron las rutas pavimentadas principales que se ubican en el área del acuífero Patiño por el hecho de que éstas generan escorrentía de aguas pluviales con productos químicos sumamente contaminantes. Alrededor de estas vías principales se ubican posibles fuentes contaminantes, como lo son las fábricas, estaciones de servicios, zonas comerciales, viviendas sin desagües, etc.

Figura 38: Vías Principales del Área del Acuífero Patiño.



2.14. Gobernabilidad del agua en el Paraguay.

Entre los principales problemas ambientales con relación a la descarga del Acuífero Patiño se trata la gobernabilidad. Sumado a las distintas entidades como los Municipios, es la MOPC y el Ministerio de Hacienda, la gestión del agua se encuentra fragmentada por distintos sectores, realizando un conjunto de instituciones que trabajan en paralelo descoordinadas entre si. Esta región metropolitana (inclusive a nivel nacional), carece de una autoridad que proteja las fuentes de agua sobre la base del conocimiento de la oferta hídrica y la gestión de la demanda.

Existen distintos entes que cumplen variados roles, pero ninguno de ellos se encarga de integrar la gestión del agua con las obras de infraestructura, control de calidad, distribución etc.

ERSSAN: Regula el agua potable y el alcantarillado, pero no regula el USO productivo y de servicios. Al mismo tiempo, las aguateras y juntas de saneamiento se ven amenazadas por sus inversiones a mediano plazo, mientras que las municipalidades, al sentirse involucrados en la defensa de la calidad de vida de sus habitantes, ven debilitadas sus intenciones de participar en la gestión de este recurso

SEAM: La secretaría del Ambiente se ocupa de la Política Ambiental Nacional, regulando la protección y conservación del agua como uno de los recursos ambientales. Lastimosamente, no existe un arreglo institucional que logre indicar los usos sobre estos recursos ambientales, afectando directamente a la condición hídrica.

ESSAP: Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay. Su objetivo es la provisión de servicios de agua potable para ciudades con población mayor a 10,000 habitantes, incluyendo captación, tratamiento, almacenamiento, conducción, distribución y comercialización de las mismas, así como también la disposición de residuos de tratamiento y la provisión de servicios de alcantarillado, incluyendo su recolección y tratamiento.

SENASA: Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental. Deberá brindar ayuda a las comunidades poblacionales urbanas que decidan participar con propia

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño iniciativa y establecerá los términos y condiciones financieras para la realización de abastecimiento de agua y obras de saneamiento, tanto cuando los fondos sean del presupuesto de SENASA.

DAPSAN: Dirección de Agua Potable y Saneamiento. Su objetivo es el diseño de políticas públicas, incluyendo las de financiamiento con destino al desarrollo de los sistemas de Agua Potable y el Alcantarillado Sanitario.

STP: Tiene a su cargo elaborar las metas generales del desarrollo, por sectores y regiones; coordinar proyectos y programas en el sector público, así como la acción de la iniciativa privada con la acción del Gobierno; establecer el Plan General del Desarrollo y los Planes por Sectores y Regiones, entre otras.

Mencionamos algunas de las entidades que tienen relación directa con la gobernabilidad, considerando que la misma es la *“capacidad social de movilizar energías en forma coherente para el desarrollo sustentable de los recursos hídricos”*.²⁵

Ahora, teniendo en cuenta específicamente la descarga y su influencia directa en el balance hídrico, la falta de un ente que controle el agua potable proveniente del subsuelo es un tema crítico. Como el acuífero en sí existe en un plano subterráneo, el hombre no puede observar directamente cómo las acciones humanas inciden en el mismo, dificultando las medidas para la regulación de este recurso.

²⁵ Ver Usos y Gobernabilidad del agua en Paraguay.
MARIA BERTHA PERONI

CAPITULO III: Riesgos existentes de la descarga del acuífero Patiño.

Establecer los riesgos y las variables existentes en la zona a través del levantamiento de datos de la descarga del acuífero Patiño.

Es importante aclarar que existe una diferencia importante entre la vulnerabilidad de un acuífero y los riesgos al que está expuesto²⁶. La vulnerabilidad está definida por las características naturales del acuífero, es decir, son los parámetros naturales los que la determinan. Cuando hablamos de riesgos, nos referimos a factores antropogénicos, en donde la acción del hombre influencia la vulnerabilidad. Para dar un ejemplo, un sector que es poco vulnerable por sus características físicas naturales, puede ser de alto riesgo, ya que depende de las actividades que se desarrollen en la superficie.

3.1. Riesgos directos

3.1.1 La sobreexplotación

También se lo llama “agotamiento de las aguas subterráneas,” en tanto que el buen uso de las aguas considera el tiempo de recarga de las mismas. En el caso que se consuma el agua muy rápidamente, se agotan. Cuando existe una explotación intensiva, o sequía, el nivel del agua contenida dentro del acuífero va disminuyendo, ocasionando así otros problemas ecológicos.

En el caso específico del Asunción y el Área Metropolitana existe una enorme oferta de agua dulce superficial. Esto sería aproximadamente de 67.000m³ de agua/habitante/año comparado con el consumo actual. Cabe mencionar, que a pesar de esta abundancia de agua superficial en el AMA, esta oferta es agravada por la falta de control y normalización de las aguas, causando muchas veces el deterioro de la calidad del agua.

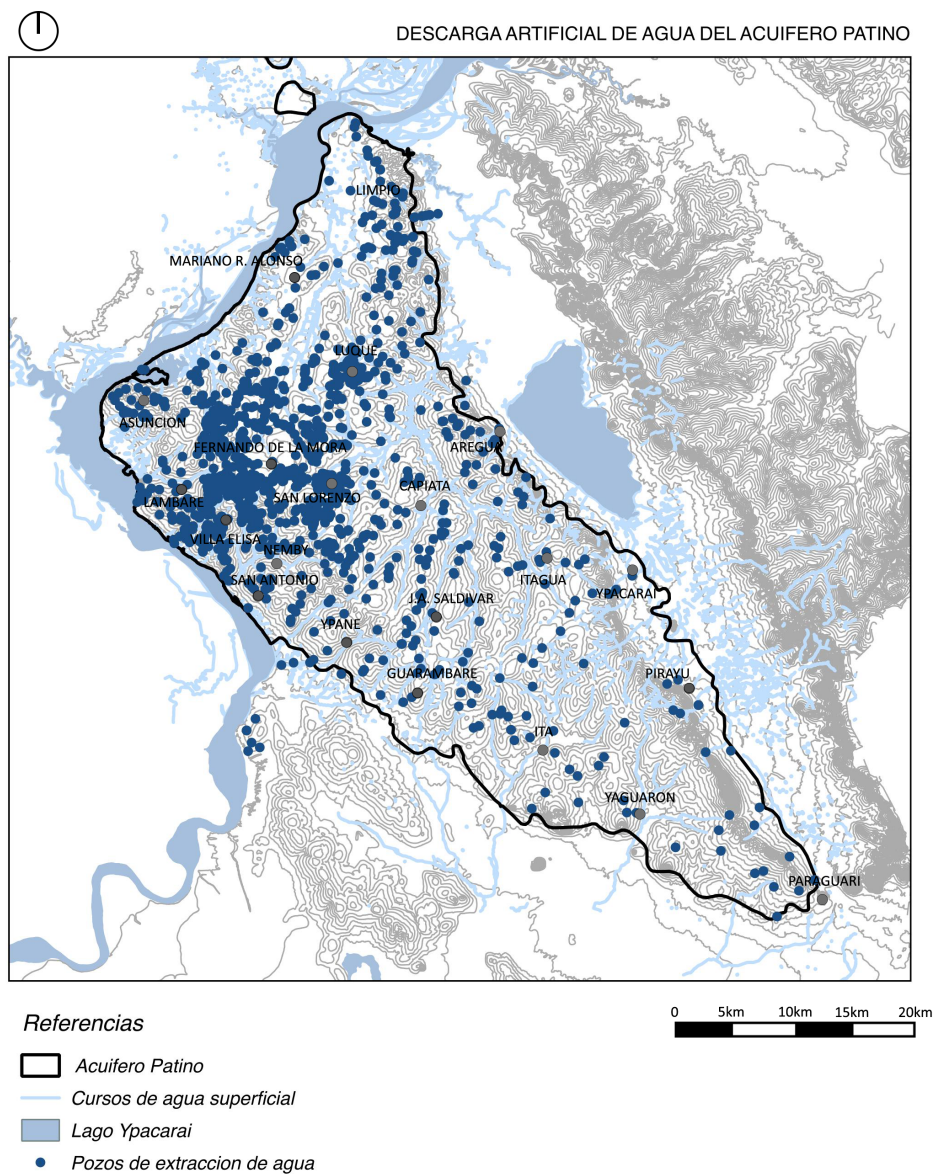
Existe un desequilibrio en cuanto a la distribución espacial de los recursos hídricos superficiales. A nivel país, existe una gran diferencia entre la Región

²⁶ Riesgo: medida de la magnitud de los daños frente a una situación peligrosa.

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño Oriental y la Región Occidental, ya que la última posee problemas de accesibilidad a agua potable. Esto ocasiona directamente que aquellos municipios que no poseen abastecimiento de agua corriente proveniente de la ESSAP dependan entes secundarios, como, por ejemplo, juntas de saneamiento o aguateras privadas. Estas empresas, utilizan como fuente de suministro de agua al agua subterránea.

Teniendo esto en cuenta, este desequilibrio hídrico, que también coincide con un desequilibrio poblacional, en donde aproximadamente el 25% de la población nacional depende del agua del acuífero Patiño.

Figura 39: Pozos de extracción de agua del acuífero Patiño.



3.1.2 Consumo doméstico (comparativo del calculo del 2005 con el 2015)

El consumo doméstico de agua se ve directamente relacionado a la accesibilidad de la misma. Según la Organización Mundial de la Salud, el promedio del uso de agua, es decir, de agua abastecida de manera continua, permitiendo que el consumidor atienda a todas las necesidades de higiene y de alimentos, es de 100 litros por día. En el Área Metropolitana de Asunción, se calcula un promedio de 228 litros por día por persona. Con estos datos ya podemos interpretar como el uso del agua en nuestra cultura se encuentra desvalorizada, sobrepasando a casi el doble de lo que se considera sostenible. En el caso específico del acuífero Patiño dentro del Área Metropolitana, hemos hecho el mismo análisis con los datos mas actualizados disponibles.²⁷ En comparación con el 2005, la población ha aumentado un 24% (equivalente a 815.516 habitantes) siendo el total de habitantes de 2.887.087 personas. Así también ha aumentado la población servida de agua potable, en donde el 96% de la población tiene acceso al servicio de agua potable. La prestación de servicios de agua en 2005 la realizaba principalmente la ESSAP, en tanto que hoy en día tan tolo el 32% (equivalente a 931.600 habitantes) de la población es servida de agua superficial, mientras que el 64% (equivalente a 1.860.960 habitantes) es servida por agua subterránea. El restante 4% (equivalente a 94.527 habitantes) de la población no tiene acceso a ningún servicio en red de agua potable.

La recolección de datos actualizados, se realizo a través de visitas a las distintas entidades encargadas de los diferentes tipos de prestación. Por un lado, la ESSAP, para obtener los datos de usuarios que consumen agua superficial y por otro lado a la entidad ERSANN, para los datos de usuarios de consumo de agua subterránea. (Ver Anexo)

Las comparaciones se realizaron con datos del Informe del Balance Hídrico

²⁷ La actualización de datos de población servida de agua superficial y subterránea se realizó con información provista por las siguientes entidades: ESSAP, ERSSAN, DAPSAN y SEAM.

Teniendo en cuenta al mismo consumo de agua considerado en el 2005 de **228 litros por habitantes por día (l/p/d)**.

El consumo de agua superficial es de 931.600 habitantes X 228 l/p/d, da una suma de = **77.5 Hm³/año**

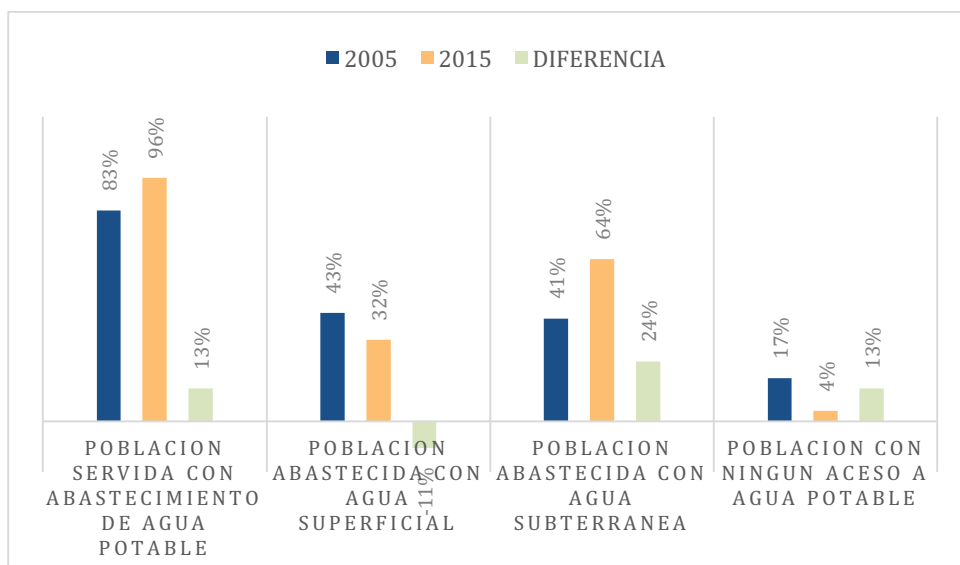
El consumo de agua subterránea del acuífero Patiño es de 1.860.960 habitantes X 228 l/p/d, da una suma de= **154,8 Hm³/año**.

El consumo de agua subterránea sin ningún tipo de red es de 94.527 hab. X 150 l/p/d = **5.2 Hm³/año**, asumiendo que es un consumo menor que los que poseen acceso a algún tipo de red.

El consumo total en el área del acuífero Patiño es el resultado de la suma de los dos tipos de consumo de agua subterránea, siendo de **160 Hm³/año**.

Las conclusiones que podemos tomar en comparación al 2005, es que hubo un aumento del **32%** en el consumo total del agua en la zona del acuífero Patiño como consecuencia del aumento de población. Si bien es positivo que haya aumentado el porcentaje de la población con acceso al agua potable, así también ha aumentado un **54%** el consumo del agua subterránea del acuífero.

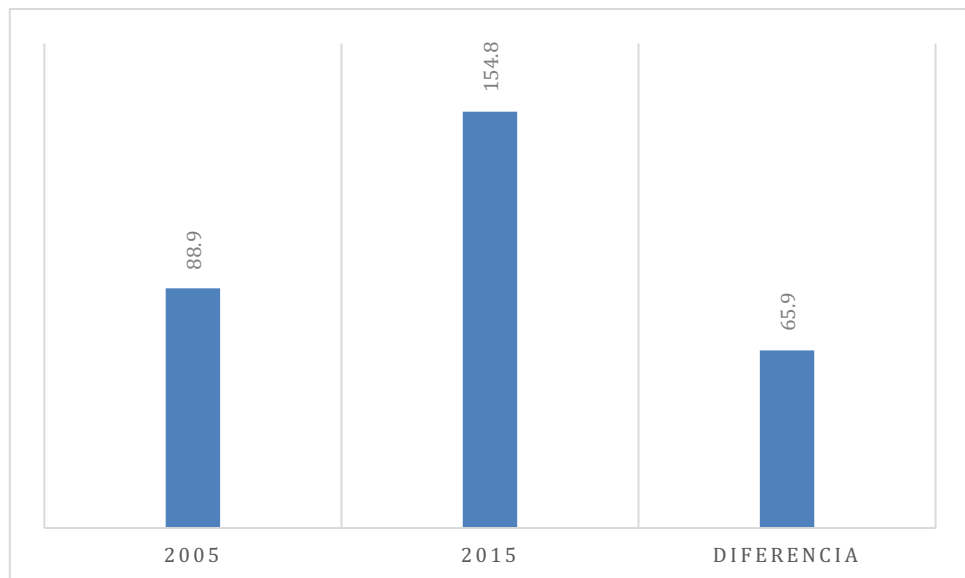
Gráfico 2: Progresión del Consumo Doméstico en 10 años



Esto se podría dar por distintos motivos, primeramente según la entrevista realizada al ingeniero López Cano²⁸, uno de los motivos principales del exceso del uso del agua subterránea se da porque como *sistema de provisión* tiene una menor inversión inicial, casi del 50% menos que el sistema de agua superficial, haciendo que la misma sea mas fácil de implementar. Esto se da, no solo en la captación del agua, sino también en la operación y mantenimiento del sistema, ya que en muchos casos el agua extraída por pozos solo requiere de una desinfección, mientras que la captación de aguas superficiales necesita operar con un laboratorio químico.

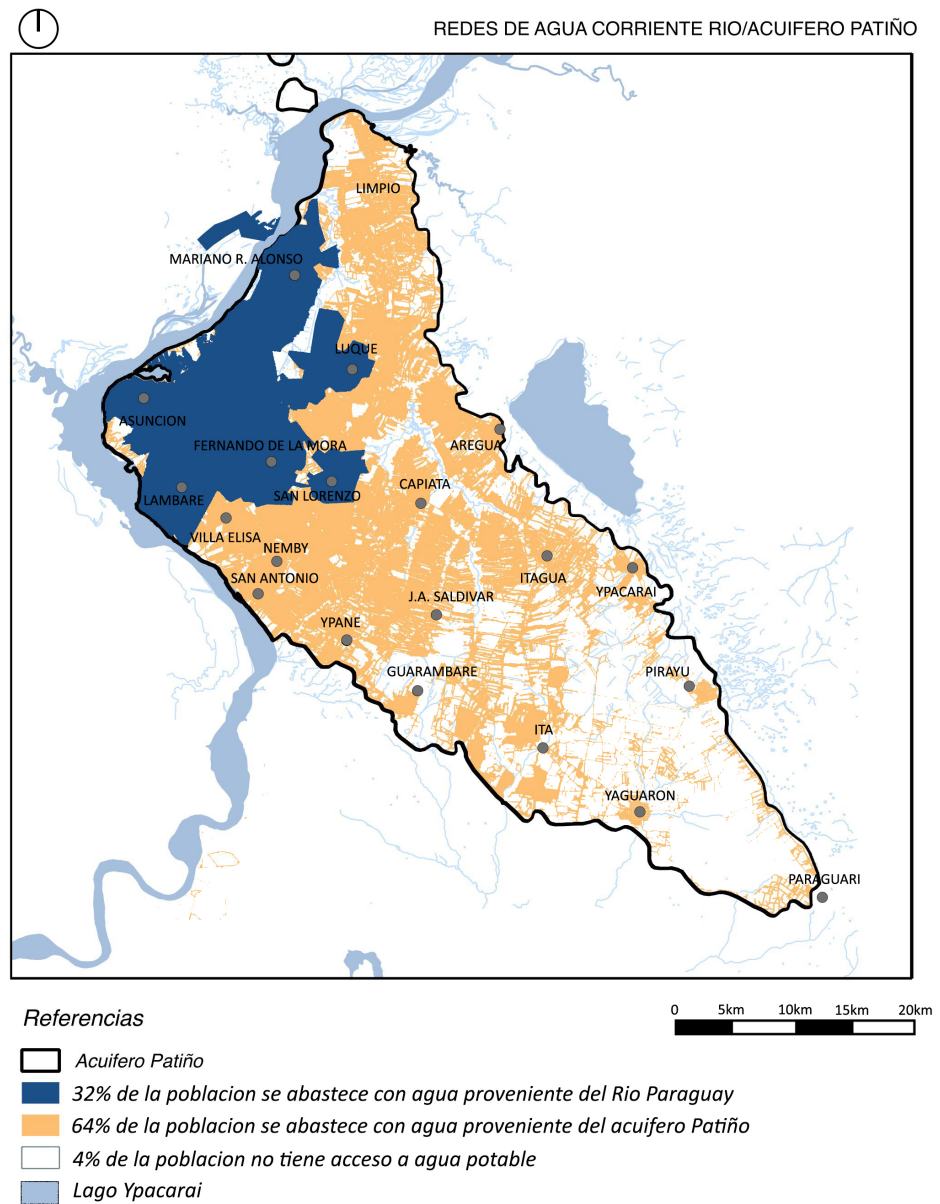
Según la base de datos provista por la ERSSAN, existen 1,290 pozos de extracción de agua registradas como aguateras privadas o juntas de saneamiento, quienes proveen agua a 1.860.960 personas.

Gráfico 3: Comparación Consumo Doméstico en HM3/año



²⁸ Ingeniero Manuel Lopez Cano: ex presidente de la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay

Figura 40: Redes de agua corriente. Rio Paraguay- acuífero Patiño



3.1.3 Consumo industrial y de servicios

El consumo industrial es uno de los principales rubros que consumen agua subterránea como parte del proceso de producción. Para poder comprender cómo la situación se ha desarrollado en el transcurso de 10 años se ha realizado un análisis a partir de estimaciones de volumen de agua utilizado en estas distintas actividades industriales y servicios.

A través de visitas y entrevistas con cada uno de los rubros, se pudo estimar el consumo de agua y la producción diaria de cada planta (Ver Tabla 1.) Los datos tomados, fueron comparados con los datos del Informe Técnico 2.11 del Estudio de Políticas y Manejo ambiental de aguas subterráneas en el Área Metropolitana de Asunción (Monte Domecq, R., 2007).

Según los datos recolectados, la producción de bebidas y gaseosas no alcoholizadas, las embotelladoras de agua y el faenamiento de aves son aquellas industrias que podemos identificar como los mayores consumidores de agua del acuífero. Hemos notado un incremento en casi todas las industrias analizadas, tanto en aumento del uso del agua en el proceso industrial, así como un aumento de producción en las mismas, es decir, un aumento en la capacidad productiva de las plantas, que como consecuencia llevan a una mayor consumo.

Tabla 1: Consumo de Agua en Industrias y Servicios

Rubro	Indicador De Consumo De Agua	Unidad	Producción Diaria Aproximada	Unidad	Consumo Agua M3/Jornada	Consumo Agua M3/Año
Frigoríficos	2	m3/cabeza faenada	600	cabeza	1.200	438.000
Mataderos	0,65	m3/cabeza faenada	300	cabeza	195	69.030
Lácteos	1,8	m3/m3 leche	125	m3	225	82.125
Faenamiento de Aves	1,4	m3/cabeza faenada	45.000	aves	63.000	22.995.000
Recuperación polietileno	100	m3/t mat prim	31	t	3.100	967.200
Bebidas y gaseosas no alcohólicas	0,99	m3/m3	173.000	m3	171.270	62.513.550
Farmacéuticas	90	m3/establecimientos	1	m3	90	32.850
Fabricación de papel kraft	1,68	m3/t papel	43	t	72,24	260.006
Chacinados	1,8	m3/ton	50	t	90	28.080
Supermercados	12	m3/local	1	local	12	4.380
Lavadero de Vehículos	0,5	m3/vehículo	15	vehículos	7,5	2.738
Agua mineral	1	m3/m3	43.237	m3	43.237	15.781.505
Hospitales	1			m3	148	54.020
Hoteles/Moteles	1		\	m3	125	45.625
Edificios en altura	1			m3	35	12.775
						103.241.259
						10,32

Fuente: Relevamiento de datos con visitas a las distintas Industrias y Servicios. Ver Anexo. Tabla elaboración propia.

En la tabla 1, se ha analizado el consumo de agua de una industria en el Área Metropolitana de Asunción. La misma se ha recaudado a través de visitas técnicas, en donde se ha confirmado efectivamente el uso del agua subterránea en estas industrias. A través de un censo hecho por la SEAM, se

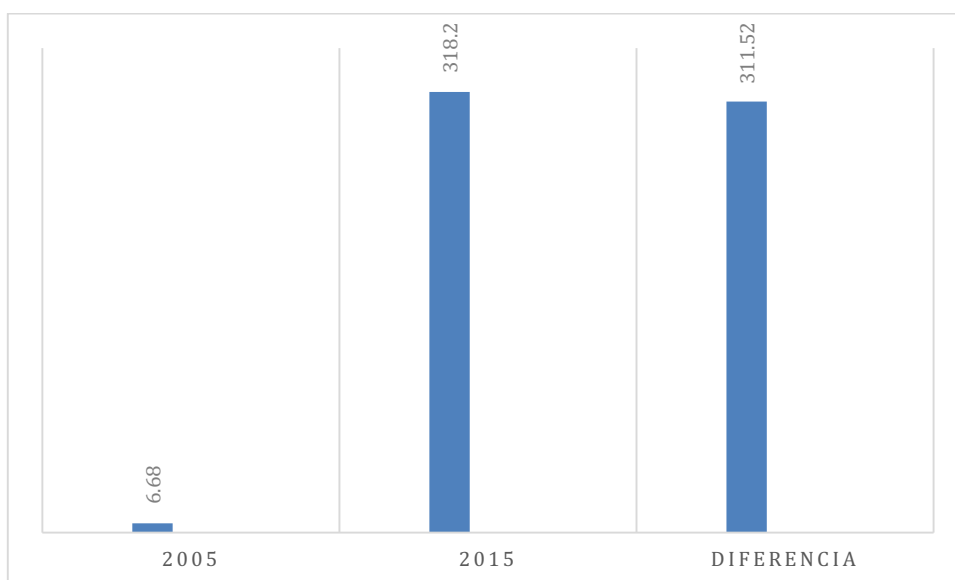
logra identificar la cantidad de estas industrias y servicios dentro del Área Metropolitana.

Tabla 2: Consumo de Agua en Industrias y Servicios en el 2015

Cantidad de Industrias y Servicios	Rubro	Consumo de agua en litros/año
28	Frigoríficos	12.264.000
42	Mataderos	2.899.260
7	Lácteos	574.875
5	Faenamiento de Aves	114.975.000
	Recuperación polietileno	967.200
31	Bebidas y gaseosas no alcohólicas	1.937.920.050
6	Farmacéuticas	197.100
	Fabricación de papel kraft	260.006
	Chacinados	28.080
247	Supermercados	1.081.860
130	Lavadero de Vehículos	355.940
70	Agua mineral	1.104.705.350
36	Hospitales	1.944.720
61	Hoteles/Moteles	2.783.125
80	Edificios en altura	1.022.000
		3.181.978.566
		318 hm³ por año

Fuente: Relevamiento Secretaria del Ambiente. Tabla elaboración propia.

Como se puede notar, los números en comparación a los del 2005 han aumentado 45 veces! Desde el punto de vista urbanístico-ambiental en algunos casos esto se da como consecuencia de la falta de abastecimiento de agua del estado y en otros como consecuencia de la demanda del crecimiento poblacional. En el Grafico 4, podemos observar como el consumo del 2005 es nada mas que un 2% de lo que es el consumo industrial y de servicios del 2015.

Gráfico 4: Progresión del Consumo Industrial en 10 años

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Consumo Agrícola y Ganadero

El 70% del agua del mundo es utilizada para el riego. En base al informe de Producción Agropecuaria de la Dirección de Censos y Estadísticas del 2005, 5.174 hectáreas es destinada equivalente al 4.41% de la superficie del Acuífero Patiño esta destinada a cultivos. Para poder obtener una estimación del consumo de agua en agricultura de la zona, se determinan los valores detallados en la Tabla 3, en función al tipo de cultivo y sus ciclos. Por otro lado también se tiene en cuenta el consumo de agua por cabeza de ganado en la superficie del acuífero, sumando un total de 11,4 hm³. Los dos consumos totales (tanto de agricultura como de ganadería) en el 2005 tenemos un total de 55,6 hm³ de agua.

Cabe mencionar, que la Tabla 3, es una corrección de la Tabla 6 (Ver Anexo), en la cual los datos de la investigación habían considerado que el 100% de los cultivos en el área del departamento de central se encuentran sobre la superficie del acuífero Patiño, mientras que solo un 34% de la superficie del departamento de Central es el que coincide con el acuífero Patiño. Por otro lado existe también un 2.04% de la superficie del departamento de Paraguari que entra dentro del área del Patiño, que no fue considerado en la Tabla 6.

Tabla 3: Consumo consuntivo de agua en cultivos en el 2005

Rubro	Superficie (ha)	Producción (ton)	Ciclo de cultivo	Consumo en el ciclo (1)	
				MM	HM3
Ajo	0,68	0			
Algodón	346,5	338,9	160 días- 6 meses	700	2,4255
Arroz con riego	140,7	180,4	150 días- 5 meses	700	0,9849
Arveja	145,3	40804,465			0
Batata	507,25	6069,17			0
Caña de azúcar	1836,3	29860	365 días- 1 año	1500	27,5445
Cebolla de cabeza	4,285	211,458			0
Frutilla	34	42,3			0
Locote	36,068	289,14			0
Maíz	1096,99	5937,1	140 días- 4 meses	800	8,77592
Mandioca	306,3	25277,5			0
Maní	21,23	62,0225	140 días- 4 meses		0
Poroto	434,5	1454,7975	120 días- 4 meses	500	2,1725
Sésamo	18,645	24,975			0
Tabaco	15,01	28,14			0
Tomate	95,2	31,96	140 días- 4 meses	600	0,5712
Banana	41,05	1019,45	1 año	1500	0,61575
Limón/Mandarina	34,94	266,7	1 año	1200	0,41928
Naranja	59,1	2155,91	1 año	1200	0,7092
					44,21875

Fuente: Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias- Producción Agropecuaria 2005. Informe técnico Balance Hídrico del Acuífero Patiño. Montedomeq, Báez. 2007. Tabla Elaboración propia.

A través del censo, se obtuvieron los números de cabeza de Ganado por departamento, y con el mismo método de porcentajes obtuvimos la cantidad de ganado dentro del área del acuífero Patiño.

Tabla 4: Consumo consuntivo de agua en ganadería en el 2005

Departamento	Cabeza de ganado por departamento dentro de la superficie del Acuífero Patiño	Consumo de agua por año por cabeza de ganado (70 litros de agua por día por cabeza) en hm3
Central	16,728	4,274
Paraguarí	8,331	2,129
		6,403

Fuente: Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias- Producción Agropecuaria 2005.
Elaboración propia.

Para tener la información actualizada se han recolectado los datos de la dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias. A través de un análisis por rubro, por superficie y ciclo de cultivo, se logra cuantificar en milímetros cuanta agua consume cada cultivo.

Tabla 5: Consumo consuntivo de agua en cultivos en el 2012

Rubro	Superficie (ha)	Producción (ton)	Ciclo de cultivo	Consumo en el ciclo (1)	
				MM	HM3
Ajo	0	0			
Algodón	46.42292	163.103	160 días- 6 meses	700	0.32496044
Arroz con riego	213.88652	603.0855	150 días- 5 meses	700	1.49720564
Arveja	2.77593	4.354			0
Batata	295.2509	1746.997			0
Caña de azúcar	2261.68629	76266.155	365 días- 1 año	1500	33.92529435
Cebolla de cabeza	4.23538	48.011			0
Frutilla	66.5856	492.185			0
Locote	40.58376	284.9775			0
Maíz	380.67573	1606.3145	140 días- 4 meses	800	3.04540584
Mandioca	529.08046	4054.479			0
Maní	27.68739	53.687	140 días- 4 meses		0
Poroto	262.39058	314.3055	120 días- 4 meses	500	1.3119529
Sésamo	23.11558	14.8205			0
Tabaco	1.04397	1.3255			0
Tomate	179.0066	3914.35	140 días- 4 meses	600	1.0740396
Banana	8.9998	9.4555	1 año	1500	0.134997
Limón/Mandarina	4.91011	73.6365	1 año	1200	0.05892132
Naranja	11.33118	206.556	1 año	1200	0.13597416
					41.50

Fuente: Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias- Producción Agropecuaria 2012.
Elaboración propia.

De la misma manera que los datos de cultivos, fuimos actualizando los números en base a los datos del Censo Agropecuarios del 2012.

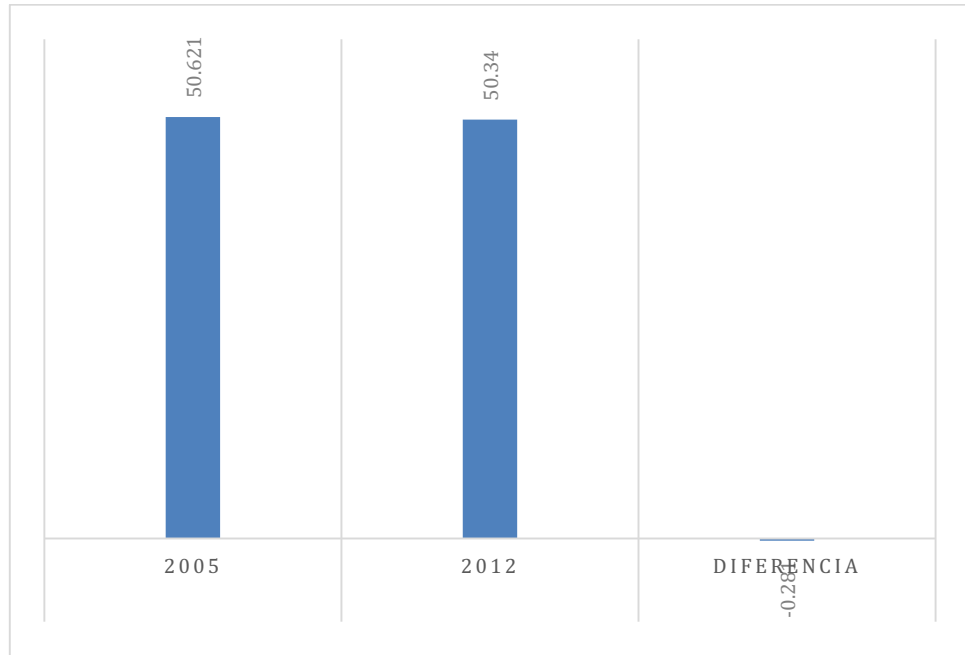
Tabla 6: Consumo de agua en ganadería

Departamento	Cabeza de ganado por departamento dentro de la superficie del acuífero Patiño	Consumo de agua por año por cabeza de ganado (70litros por cabeza) en hm ³
Central	23,156	5,916
Paraguarí	11,427	2,920
		8,836

Fuente: Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias- Producción Agropecuaria 2012. Elaboración propia.

Comparando los números del 2012 y del 2005, hemos notado que el consumo agrícola ha disminuido, ya que la superficie de cultivos ha disminuido. Por otro lado ha aumentado la cantidad de cabezas de ganado en la zona, siendo este un factor que desfavorece a la infiltración del agua. La suma del consumo total (de ganadería y agricultura) en el 2012, es de 50,36 hm³ por año.

Gráfico 5: Progresión del Consumo Agrícola y Ganadero en 7 años en hm/3



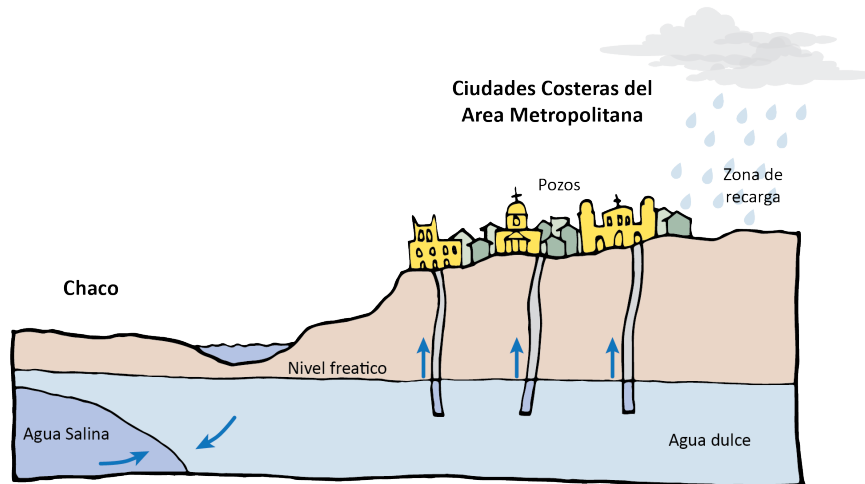
Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 La salinización como consecuencia de la sobreexplotación.

Una consecuencia de la sobreexplotación es la intrusión salina al agua dulce del acuífero. Se conoce como salinización, al proceso en el cual el “acuífero costero”²⁹ se conecta con agua salada, en este caso agua proveniente del Chaco. El agua que proviene del Chaco es agua salada, ya que el suelo chaqueño tiene propiedades salinas. Existe un desequilibrio entre el cuerpo de agua dulce y el agua salada ocasionada por los descensos de niveles freáticos del sector de agua dulce.

²⁹ Acuífero costero:
MARIA BERTHA PERONI

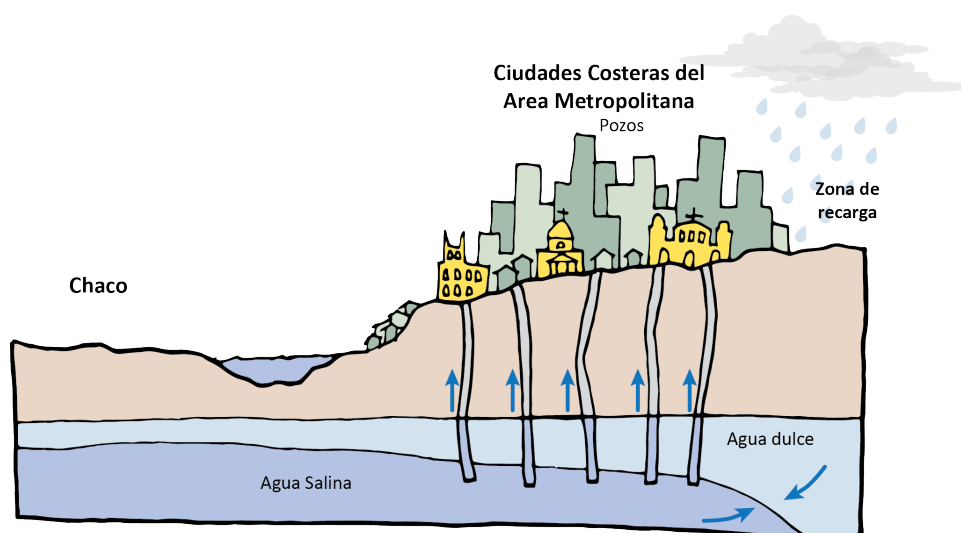
Figura 41: Corte relación agua salina- rio Paraguay y Ciudades Costeras



Fuente: Elaboración propia.

En este proceso, el agua dulce es substituida por agua con mayor contenido de minerales (sales). La posesión de solutos ocasiona una mayor densidad al agua. Esta diferencia de densidades provoca que la presión en el fondo de la columna de agua salada sea mayor a la presión de agua dulce y cuando las mismas se conectan por debajo, el agua salada fluiría hacia la columna de agua dulce.

Figura 42: Contaminación por salinización a causa de la sobreexplotación del Acuífero Patiño.



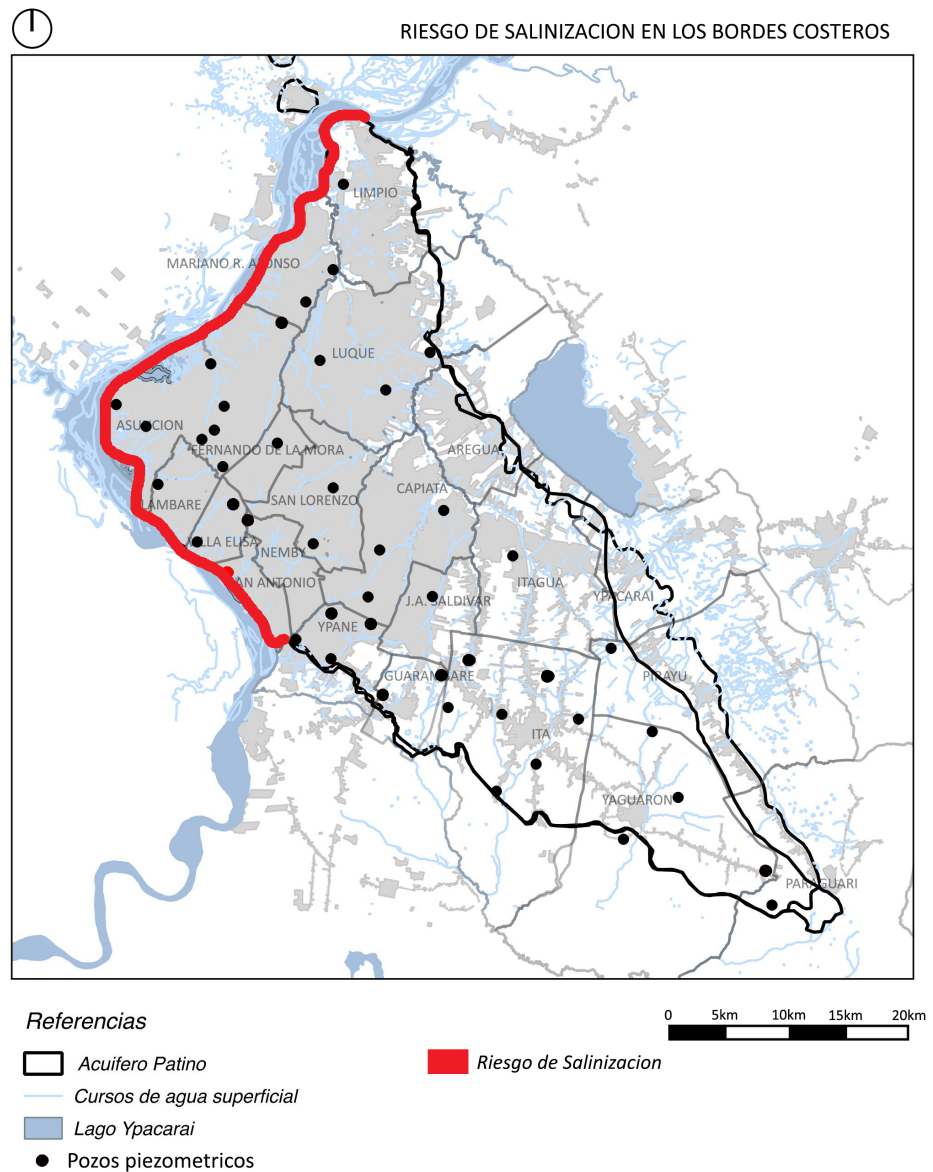
Fuente: Elaboración propia.

Específicamente en la zona de estudio, en base a la entrevista hecha al hidrogeólogo Daniel García encargado del control de los pozos piezómetros³⁰ existe presencia de agua salina en el borde costero del Río Paraguay, así como también en las ciudades bordeando el lago Ypacarai. Existe una hipótesis que esta presencia del borde del Ypacarai es aporte del sistema Acuífero Yrenda³¹, causado por el mismo motivo.

³⁰ Pozos piezómetros: son pozos de medición del nivel piezométrico. Se le llama nivel piezométrico a la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar.

³¹ Acuífero Yrenda: es el acuífero que Paraguay comparte con Bolivia y Argentina esta ubicado en la Cuenca del Gran Chaco Americano. Las aguas subterráneas de este acuífero yacen en sedimentos no consolidados de la Formación Chaco, poseen grado marino.

Figura 43: Contaminación por salinización a causa de la sobreexplotación del Acuífero Patiño.



3.1.6 Descenso en los niveles estáticos.

En base a los datos obtenidos anteriormente, vemos como en 10 años el consumo industrial ha tenido un crecimiento exponencial produciendo un rápido descenso en los niveles freáticos. En el grafico inferior, los puntos rojos representan los pozos piezómetros en donde efectivamente con el paso de los años el monitoreo ha demostrado un descenso de nivel. Esta demanda por el agua subterránea, que aumenta cada día mas, afectará a los propios usuarios de este recurso, ya que eventualmente estos pozos tendrán menos caudal de agua.

Figura 44: Mapa de pozos con descenso de nivel estático.

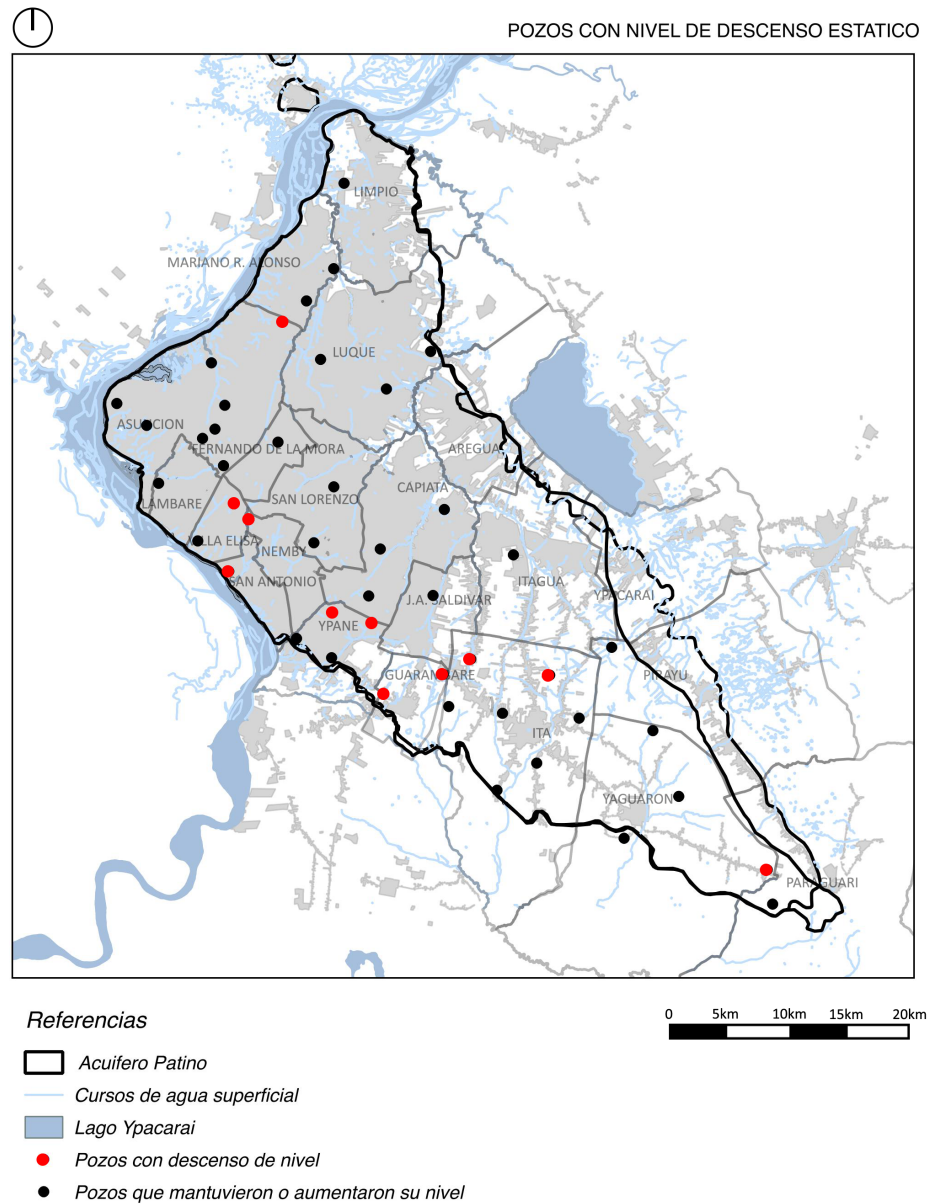
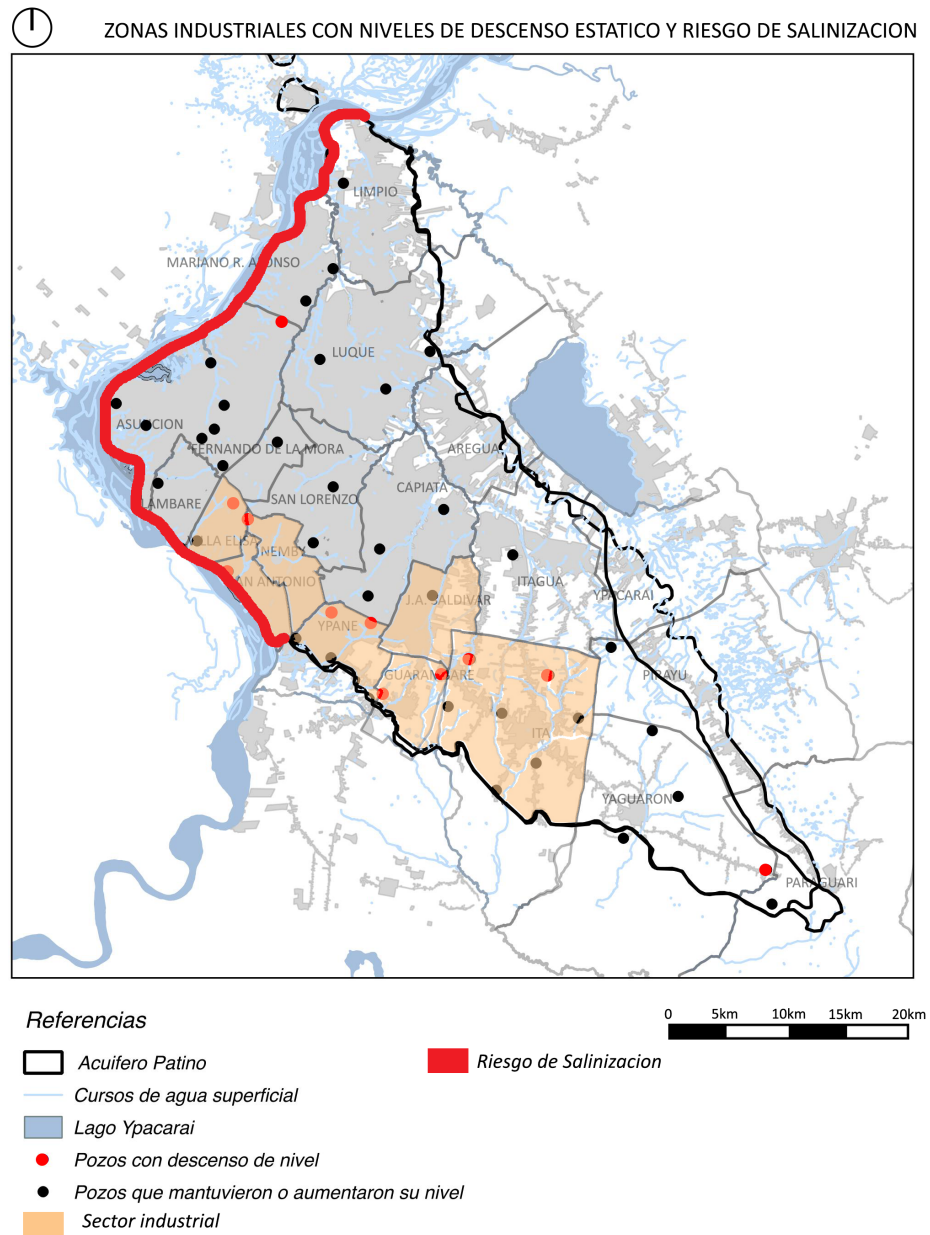


Figura 45: Zonas industriales con descenso de nivel estático.



3.2. Riesgo indirectos

3.2.1. Riesgos de polución.

La influencia del hombre sobre los sistemas hídricos pueden ser directa o indirectamente. La manera directa, es por medio de la extracción hídrica intensiva, el bombeo o desvío de aguas, perforación de pozos, excavación de canteras entre otros. La manera indirecta es a través del cambio en la cobertura de vegetación sobre la superficie, en donde se modifica el microclima. Es por tal motivo, que se estudia a las cuencas hidrográficas no solo teniendo en cuenta los componentes naturales, sino también los distintos modos de ocupación territorial humana.

El Acuífero Patiño, abastece de agua a uno de los sectores urbanos más densamente poblados del país, dentro del mismo una gran parte del sector comercial, industrial y agropecuario de la zona. Por la ubicación en la cual se encuentra, el acuífero corre riesgo de contaminación constante, por los vertidos ubicados sobre la napa freática de los diferentes sectores económicos.

Los bosques, cumplen el rol de controlar el flujo del agua que desciende de las cabeceras hasta los embalses. La destrucción de superficies forestadas modifica la acumulación de los lagos artificiales, también como el balance hídrico de las aguas subterráneas, especialmente cuando se desvían volúmenes de agua hacia otra dirección.

Los componentes del sistema hidrológico se encuentran íntimamente relacionados, por tal motivo, los efectos de las acciones son más impactantes de lo que aparentan.

Las formaciones geológicas pueden actuar como filtros de muchos de los contaminantes que contiene el agua que se infiltra al interior. Por otro lado, esto depende directamente de la capacidad de filtración de las formaciones geológicas, ya que algunas suelen retardar un poco más el paso del líquido, mientras otras permiten el pasaje rápido del mismo con el contaminante. Como mencionamos anteriormente, en el caso del Acuífero Patiño, por ser este de

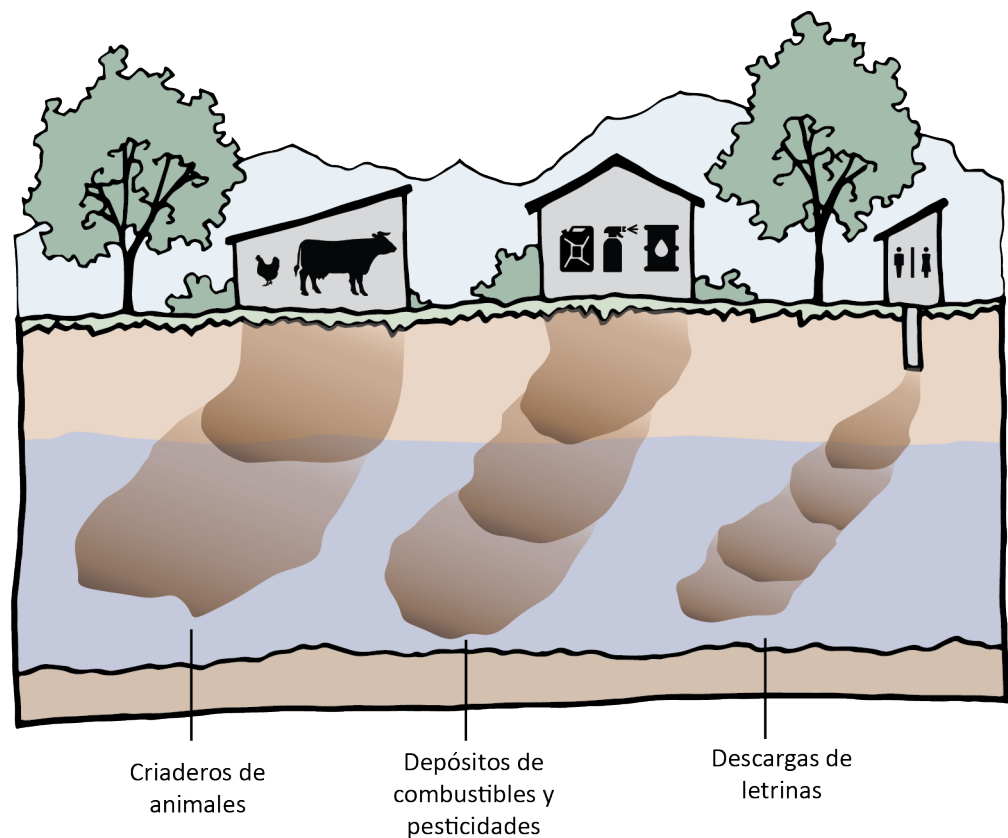
“tipo libre” tiene una capa superior permeable, saturada de agua solo parcialmente y situada sobre una capa relativamente impermeable.

3.2.2. Contaminación:

La contaminación del acuífero se puede dar de dos maneras, puntual o difusa. La contaminación *puntual*, es aquella que afecta zonas muy localizados, se puede nombrar como ejemplo a:

- Lixiviados[1] de vertederos de residuos urbanos o fugas de aguas residuales que filtran al terreno
- Lixiviados de vertederos industriales, depósitos de residuos tóxicos, estaciones de servicio con fugas
- Pozos ciegos y acumulación de efluentes

Figura 46: Contaminación puntual.

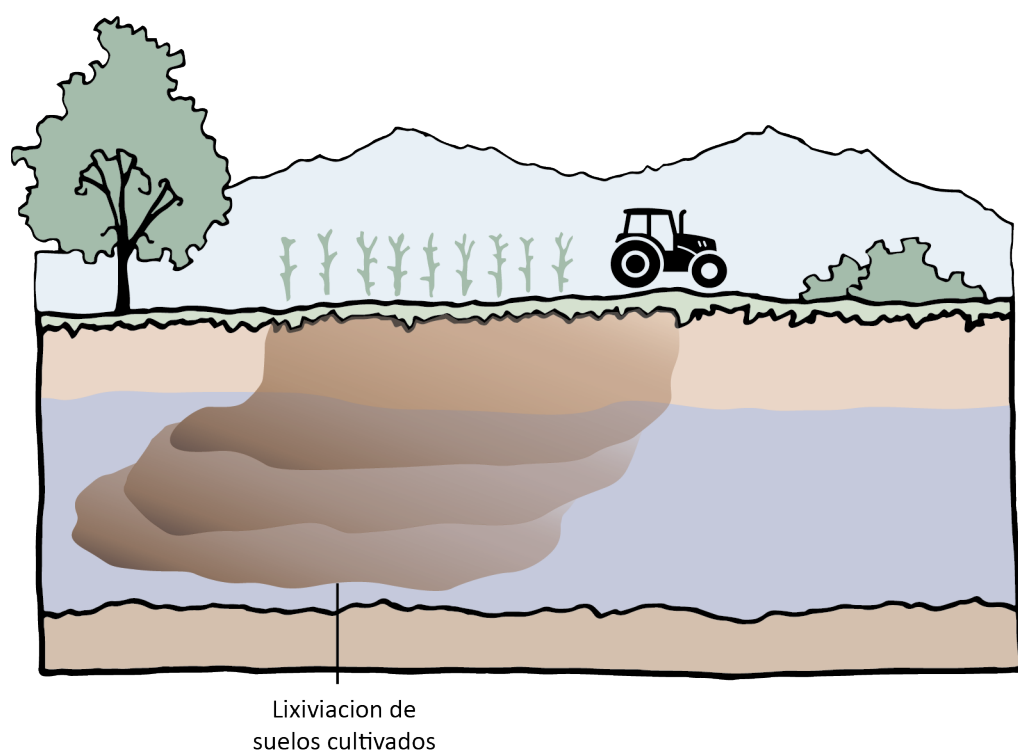


Fuente: Elaboración propia.

La contaminación *difusa*, provoca contaminación de manera extendida en zonas amplias, no es fácil identificar un foco principal. Este tipo de contaminación son progresivas con el paso del tiempo, de manera continua y lenta en zonas extensas. Suele provocar este tipo de contaminaciones el:

- Uso de fertilizantes y pesticidas
- Explotación excesiva de las aguas que permitan la invasión de agua salada[2]

Figura 47: Contaminación difusa.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Riesgos Potenciales

En base a los datos oficiales obtenidos a través de la SEAM, podemos identificar ciertos usos quienes se tornan en riesgos potenciales para el Acuífero Patiño.

Con el desarrollo urbano que ha sufrido el Área Metropolitana de Asunción no solamente ponemos en riesgo los recursos hídricos, sino que también existen consecuencias a nivel urbanístico que acompañan a este crecimiento

residencial y comercial de baja densidad en territorios no desarrollados.

Muchos de ellos son difíciles de contabilizar, y es aquí donde encontramos los riesgos potenciales informales. Estos serían aquellos riesgos que no se encuentran contabilizados o registrados en ninguna institución o censo.

- Pozos de excavación convertidos en pozos ciegos.

La falta de alcance de la ESSAP en el AMA ha forzado a ciertas familias al abastecimiento de agua de sus viviendas a través un pozo profundo. En muchos casos estas viviendas han mantenido el pozo o inclusive tienen ambos sistemas, tanto el de abastecimiento de la ESSAP como el pozo individual. En muchos casos, estos pozos independientes o individuales se han convertido en pozos ciegos, aumentando el riesgo del mismo aun más. El hecho que un “ex pozo” se haya convertido en pozo ciego, puede causar un gran impacto en las aguas subterráneas del Acuífero Patiño, no solo por el hecho de tener una fuente de contaminación de residuos sólidos filtrando al sistema, sino porque el procedimiento para realizar un pozo profundo es completamente distinto al del pozo ciego.

- Asentamientos informales en zonas bajas

Existen asentamientos informales no catalogados o registrados a nivel gubernamental. Muchas veces estos asentamientos se instalan al borde de los arroyos urbanos ya que a falta de la infraestructura de desagüe a nivel metropolitano, el curso hídrico es utilizado como “vertedero” o “desagüe cloacal” incluso para ciertas industrias y comercios. Estos cursos hídricos no solo se convierten en agua contaminada, sino que muchas de las familias de la zona también aportan a la contaminación con residuos sólidos y el uso de letrinas.

- Migración de la población rural a zonas de baja densidad con escaso desarrollo urbano.

La migración se da por distintos motivos, entre ellos la búsqueda de nuevas oportunidades de la población rural a las zonas urbanas. En el área de estudio, la falta de planificación urbana ocasionan el desarrollo inmobiliario de urbanizaciones sin la infraestructura adecuada. Esta expansión de las

urbanización también genera menos superficies permeables disminuyendo el porcentaje de infiltración en los suelos.

- Mala ejecución de pozos tubulares profundos

Existe un procedimiento adecuado para la perforación de los pozos tubulares profundos en donde se realiza un sello de protección, esto evita que tanto el agua del acuífero se contamine así como también que los usuarios logren consumir agua pura.

- Construcciones en zonas con presencia de agua.

En base a la entrevista realizada al Geólogo, Félix Carvallo, se considera que muchas de las intervenciones realizadas en el territorio para nuevas edificaciones implican el “desvío” de la presencia de aguas superficiales. En muchos de estos casos, esta agua es bombeada hasta el desagüe pluvial o directamente a las calles. Inconscientemente esto está modificando el destino final del agua, quitándola del sistema del Acuífero Patiño. Es decir, en vez de reincorporarla a su curso en algún punto donde no moleste la edificación, es desviada del sistema, haciendo que estos litros de agua tomen más tiempo en ingresar al acuífero,

- Pérdidas de residuos líquidos en vertederos/fabricas/ estaciones de servicio.

Estas pérdidas líquidas son difíciles de registrar, ya que dependiendo del caso pueden ser riesgos de contaminación potencial. En el caso de las estaciones de servicio, los riesgos de contaminación se derivan de la naturaleza de los productos que se comercializan, así como también un mal estado de las instalaciones de almacenamiento, descuidos de operarios y usuarios entre otras cosas. El caso más común, es la filtración del producto derramado por ausencia de aislación. Como en el área metropolitana el desagüe cloacal es escaso, el lavado de autos puede producir filtraciones por ausencia de la red de saneamiento. En el caso de vertederos, la acumulación de residuos produce una reacción química y biológica entre la materia orgánica y la inorgánica. Esto resulta en productos tóxicos como lixiviados, que son arrastrados por la lluvia

contaminando el suelo y el agua subterránea. En la zona de estudio, esta situación es muy común ya que los municipios tampoco poseen un sistema de reciclaje o de separación de basura para evitar este tipo de contaminación.

3.4. Vulnerabilidad del Acuífero Patiño

La vulnerabilidad depende del grado de accesibilidad de un contaminante a la zona saturada, así como también la capacidad de amortiguación de la zona subsaturada, sobrepuesta a la saturada. Esto resulta en la capacidad para la retención física y la reacción química y/o biológica con el o los contaminantes.

Se han realizado varios estudios que nos ayudan a comprender y conocer la vulnerabilidad que tiene el acuífero Patiño. Existen distintos pensamientos sobre como medir a la vulnerabilidad de una acuífero. Según Foster (1987), “El término Vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, es usado para representar las características intrínsecas, que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser adversamente afectado por una carga contaminante.” Por otro lado también existe la teoría de Vrba y de Zafrotec (1994), que definen dos tipos de vulnerabilidad, la intrínseca o natural, y la específica. La vulnerabilidad intrínseca o propia de las condiciones naturales del acuífero no considera comportamientos de contaminantes particulares.

Existen distintos modelos, que han intentado obtener un resultado mas específico sobre la vulnerabilidad. En el caso del acuífero Patiño se han realizado métodos que emplean modelos de proceso basados en simulaciones de modelos estadísticos.

En el 2001, el estudio de “Fortalecimientos de los estudios hidrogeológicos de SENASA” utilizó dos tipos de métodos, conocidos como el GOD y DRASTIC. El método GOD, se basa en asignaciones de índices del 1 al 0 y a tres variables:

- **G**roundwater occurrence: el tipo de acuífero o modo de confinamiento.
- **O**verall aquifer class: litología³² de la zona no saturada.
- **D**epth to groundwater: profundidad de agua subterránea o del acuífero.

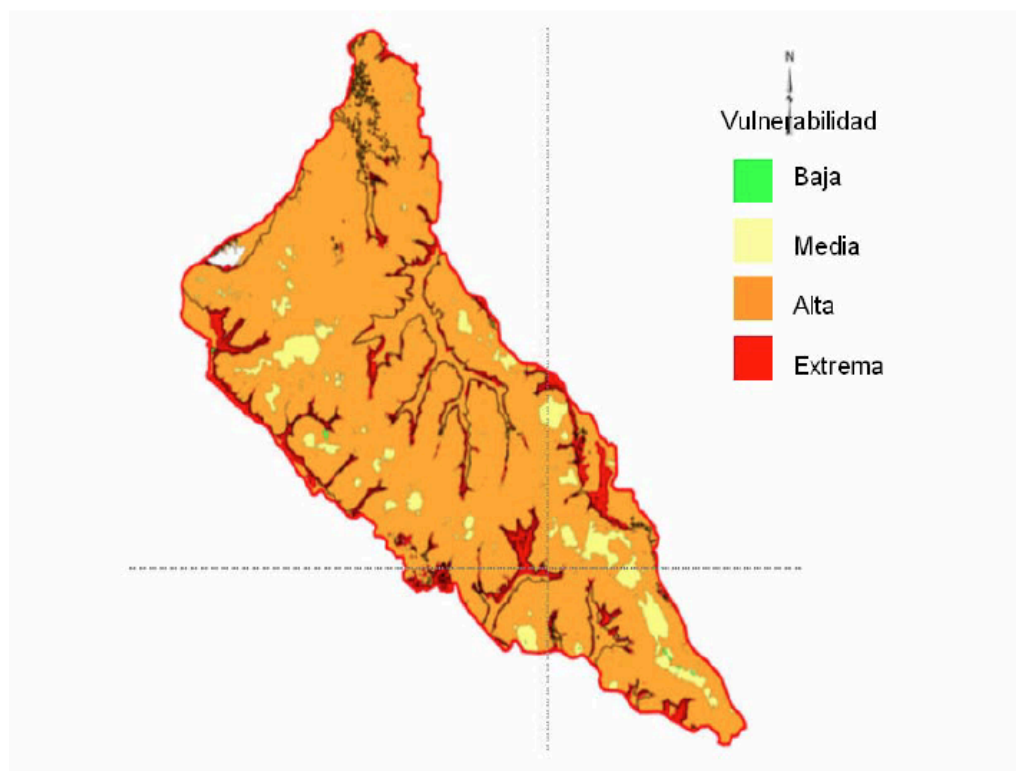
³² Litología: es la parte de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas.

El método DRASTIC, esta basada en datos hidrogeológicos que permiten como conclusión la realización de mapas con una zonificación de áreas mas vulnerables. Este se basa en las condiciones naturales del acuífero, sin incluir predicciones sobre la contaminación actual.

Para la aplicación de este método se consideran 7 parámetros hidrogeológicos: profundidad del agua subterránea, recarga, litología del acuífero[1], tipo de suelo, topografía, impacto de la zona vadosa, conductividad hidráulica.

Las áreas mas vulnerables fueron encontradas alrededor de los ríos y de los cuerpos de agua, en donde la profundidad del agua subterránea es mas baja. En las áreas altas, se detectó una vulnerabilidad media, ya que la profundidad a la tabla de agua es normalmente mas profunda que en otros lugares. Es igualmente importante resaltar, que por la condición del acuífero que es *de tipo libre*, debido las características de permeabilidad de las formaciones sedimentarias, el mismo se encuentra altamente vulnerable en casi toda su superficie.

Figura 48: Vulnerabilidad del Acuífero Patiño.



Fuente: ESTUDIO DE POLÍTICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ASUNCIÓN." (ACUÍFERO PATIÑO). Roger Monte Domecq – Julián Báez. Cooperación técnica ATN/JC 8228 – PR – SENASA – BID. 2007.

En el estudio realizado en el 2014, Mapeo de vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea del Gran Asunción (JP Nogues), para obtener un resultado mas específico sobre la vulnerabilidad del acuífero, este estudio utiliza el método DRASTIC (modificando ciertos parámetros propios del acuífero) e incorpora datos de valores antropogénicos. Estos parámetros antropogénicos incluyen: el uso de la tierra, densidad de viviendas con pozos ciegos y las vías principales, características que están directamente ligadas con la concentración de “nitrógeno total³³” y de “coliformes totales.” Los tres parámetros antropogénicos, determinan la vulnerabilidad específica de la zona y están directamente ligados a las zonas urbanas.

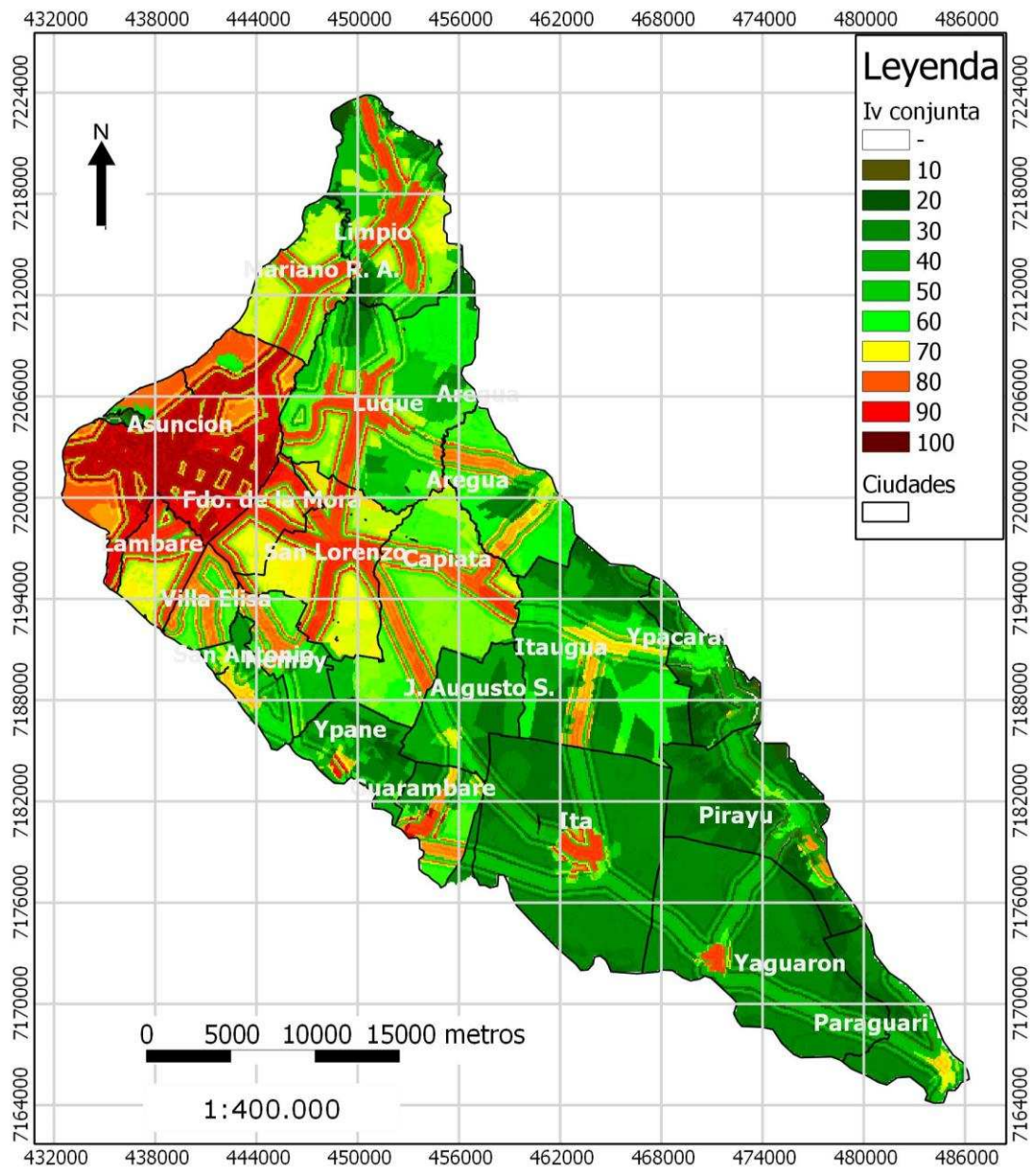
³³ La presencia de nitrógeno total y de coliformes totales demuestran que la contaminación esta sucediendo. Con el tiempo el nitrógeno queda persistente es por tal motivo que En el caso de las ciudades altamente urbanizadas, se da por el bajo porcentaje de alcantarillado. En el caso de las ciudades rurales, se da por el uso excesivo de fertilizantes.

Las 5 ciudades con índices mas altos son Asunción, Guarambare, San Lorenzo, Fernando de la mora y Lambaré. Coinciden que las mismas presentan altos índices de vulnerabilidad en las zonas urbanas densamente pobladas. Por otro lado, se observa a las 5 ciudades con mínimos índices de vulnerabilidad, como Pirayu, Ypacarai, Paraguarí, Yaguarón y J. Augusto Saldívar, son aquellas con características mas rurales y con menos hectáreas de zonas urbanas.

Es importante resaltar, que Asunción presenta uno de los índices mas altos, ya que la misma es la mas densa de área de estudio y al mismo tiempo la napa freática es alta (debido a la cercanía del río Paraguay). A pesar de que tiene una baja incidencia de pozos ciegos, las mediciones de contaminantes más altos se presentan en Asunción.

A nivel general, los resultados de este estudio del 2014, demuestran que independientemente a la profundidad en la que se encuentra el acuífero, hay zonas que presentan alto nivel de contaminación, proporcionándonos una idea de la contaminación potencial existente. Ya que los factores tomados son dinámicos, como la profundidad del agua subterránea, la recarga, la densidad de viviendas y las vías principales, es probable que la vulnerabilidad de las zonas se modifiquen con el tiempo.

Figura 49: Vulnerabilidad del acuífero Patiño. Mapa normalizado de vulnerabilidad conjunta (Nitratos y Coliformes Fecales)



Fuente: Mapeo de la Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del agua subterránea del Gran Asunción. Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción. Liz Baez, Juan Pablo Nogues, Cynthia Villalba.

CAPITULO IV: Diagnóstico Integrado (Conclusión del análisis)

4.1 Conflictos y Potencialidades

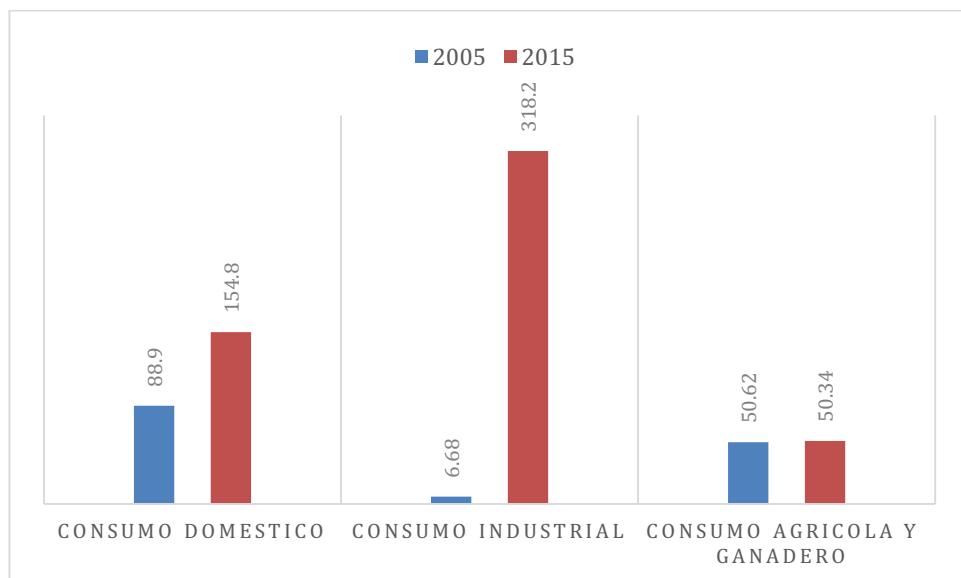
A manera de sintetizar todos los aspectos que forman parte del Acuífero Patiño, se realiza el listado de conflictos y potencialidades de tal forma podríamos buscar un equilibrio entre los conflictos y fomentar las potencialidades.

4.1.1 Conflictos

- Si bien el consumo industrial a nivel país ocupa solo el 1% del consumo de agua, dentro del Área Metropolitana es el rubro que mas ha aumentado en consumo con el tiempo. Sobreexplotación de agua subterránea en el sector industrial. Ha aumentado en cantidad y tamaños de plantas industriales en la zona del Acuífero Patiño.
- La falta de cobertura de ESSAP, lleva a una sobreexplotación de agua subterránea con fines de consumo humano. Aumento en la población con acceso de agua potable, esto esta directamente relacionado al porcentaje de la población dependiente al agua subterránea.
- Contaminación en la descarga natural del Acuífero Patiño a través de la contaminación de las cuencas urbanas y rurales.
- Deforestación de bosques y falta de protección en los cursos hídricos dentro del sistema debilitando las descargas naturales.
- Alta densidad de pozos ciegos ingresando agua contaminada al sistema hídrico.
- Riesgos potenciales de contaminación a través de programas que nacen como parte del desarrollo económico de la región sin planificación previa.

- Riesgos de contaminación por la falta de cobertura de desagüe cloacal.
- Riesgo de salinización en los bordes con el río Paraguay, así también en el borde del lago Ypacarai.
- Crecimiento de las ciudades en zonas no desarrolladas, manteniendo una densidad promedio de 26.4 habitantes por hectárea.
- La falta de información oficial sobre datos precisos de distintos factores que influyen en el cálculo del Balance Hídrico Integrado.
- Descenso en hectáreas de horticultivos, aumento en hectáreas dedicadas a la ganadería con pastura intensiva.
- En el gráfico 6, se observa un comparativo de todos los consumos analizados en este TFG. Se observa como la diferencia entre el consumo industrial en el 2005 y en el 2012 es muy grande, teniendo esto en cuenta podremos suponer que los datos recaudados en el 2005 han subestimado ciertos valores que hacen que exista tanta diferencia en el consumo industrial.

Gráfico 6: Progresión de consumo 2005-2015 en HM3 POR AÑO



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Potencialidades

- El conocimiento del proceso industrial al cual se encuentran sometidas ciertas plantas facilita reciclaje del agua en las mismas.
- Las grandes cubiertas industriales otorgan superficies de captación de agua de lluvia ya sea para infiltración como compensación de la descarga o para reciclaje dentro de las plantas.
- Muchas de las zonas industriales se encuentran cerca al Rio Paraguay, facilitando así el reemplazo del uso del agua subterránea.
- El tipo de acuífero Libre facilita la recarga como compensación de los volúmenes de agua descargados.
- La disponibilidad del Rio Paraguay con un alto caudal de agua es un factor importante para el equilibrio del uso del agua subterránea en todos los programas.
- Existe aproximadamente un 45% del área del acuífero en donde las actividades son principalmente rurales, permitiendo la posibilidad de proteger las áreas permeables y concentrar las ciudades en las áreas ya urbanizadas.
- El alto porcentaje de urbanización posibilita la implementación de sistema impositivo o compensativo para la descarga artificial del acuífero.

CAPITULO V: Propuesta de solución según diagnóstico relevado

5.1. Estrategias de Intervención para garantizar el suministro de agua potable.

Como mencionado en el capítulo III, uno de los principales riesgos existentes del consumo del Acuífero Patiño es la sobreexplotación por medio del consumo humano, ya que el 64% de la población de la zona es abastecida por aguateras y juntas de saneamiento o mismo pozos propios. Hablamos de suministro de *agua potable*, ya que se debería garantizar la inocuidad microbiológica de la misma, con la descentralización del sistema de agua potable difícil garantizarla.

5.1.1. La descarga sostenible del Acuífero Patiño.

Toda agua bombeada proviene de la captura de la misma en las napas freáticas... a mayor intensidad del bombeo, mayor es la captura del agua. La investigación previa nos ha demostrado como la captura del agua depende del uso, y que la misma no se relaciona con el tamaño ni las características hidrogeológicas del acuífero, y mucho menos con la recarga natural. El enfoque del *rendimiento seguro*³⁴ tiene en cuenta la captura del agua subterránea y la recarga artificial para que la misma pueda volver a fluir a los suelos, pero esta, al mismo tiempo disminuye la *descarga natural*. La recarga natural alimenta ecosistemas ribereños y pantanos, así como también otros ecosistemas dependientes del agua subterránea, como las corrientes del flujo base y los ríos por medio de la *descarga natural*. El rendimiento efectivo no

³⁴ Rendimiento efectivo: teoría sobre el rendimiento de un acuífero que se basa en limitar el bombeo definido como el mantenimiento de un equilibrio entre la cantidad anual de agua subterránea extraída y la recarga anual del acuífero.

necesariamente implica la renovación de este curso hídrico en su fase natural, ya que el mismo puede estar captando la misma cantidad de agua artificial de la que infiltra, por tal motivo no podemos considerarlo sostenible.

Hablamos de sostenibilidad, cuando buscamos la utilización del recurso satisfaciendo las necesidades actuales sin comprometer las del futuro, siempre teniendo en cuenta a todos los componentes no solamente hídricos sino también los artificiales. Luego del análisis donde comprobamos que existen diversos tipos de riesgos a los cuales el Acuífero Patiño se encuentra expuesto, podemos concluir que la descarga sostenible del Acuífero Patiño se debe lograr por medio de un plan de *rendimiento sostenible*³⁵.

5.1.2. Rendimiento Sostenible: garantizar el suministro de agua potable a las poblaciones.

Ubicación de pozos en zonas hidrológicas intermedias

Hemos ya hablado sobre la cantidad de pozos existentes para la extracción de agua, ya sea de la ESSAP, Juntas de Saneamiento o aguateras, en base a este exceso e ilimitada manera de abastecer agua a las poblaciones se propone la supervisión e intervención de aquellos pozos que no se encuentran en las condiciones adecuadas para garantizar la inocuidad del agua³⁶.

Para pozos nuevos, se propone que la Secretaria del Ambiente maneje un modelo hidrogeológico, en donde los niveles freáticos determine la ubicación ideal para los pozos de consumo de agua potable.

La ley de recursos hídricos, sobrepone al consumo humano, por encima de cualquier otra necesidad, haciendo que la ubicación de estos pozos tenga prioridad por sobre otros usos.

Tomando como base, la propuesta de Maria Paz Gill, la recarga es planteada en las cotas altas³⁷, proponiendo el uso de la zona como áreas verdes ya que las mismas son ideales para la recarga natural. Así también, consideramos que

³⁵ Rendimiento Sostenible: es el rendimiento que considera el derecho de los usuarios al agua superficial, es decir los manantiales y el flujo base, así como también a los ecosistemas que dependen del agua subterránea.

³⁶ Inocuidad: la incapacidad que el agua presenta de infligir un daño.

³⁷ Ver Capítulo 5.5.1.1 Áreas de captura de la Fuente.

las cotas intermedias son las ideales para las descargas sostenibles de agua destinada al consumo humano ya que las zonas altas son las que mejor infiltran el agua de recarga y las zonas bajas, ya son zonas donde predomina el agua superficial. Es también un factor interesante como ubicando a los pozos de descarga en las zonas de cota intermedia disminuimos el costo de distribución de agua, ya que no tenemos una pendiente tan alta que salvar.

5.1.3. Protección de fuentes de abastecimiento de agua subterránea (pozos, perforaciones, manantiales)

Muchas de las actividades descritas en la zona metropolitana de asunción no solamente son un riesgo en cuanto a la extracción sino que también influyen mucho en la contaminación y tienden a reducir la zona de recarga, ya que impermeabilizan las áreas.

Figura 50: Ubicación de pozos de extracción en zonas hidrológicas intermedias.

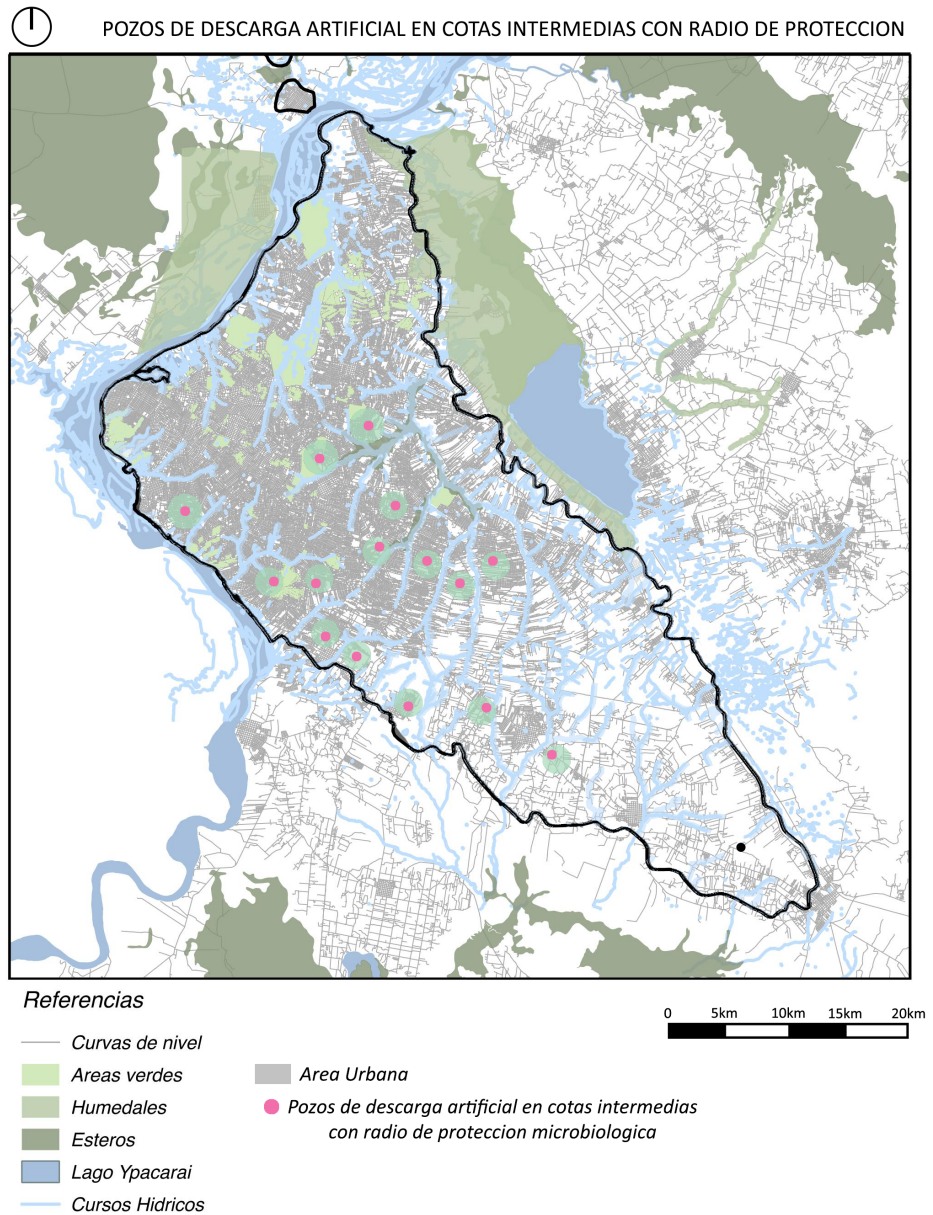
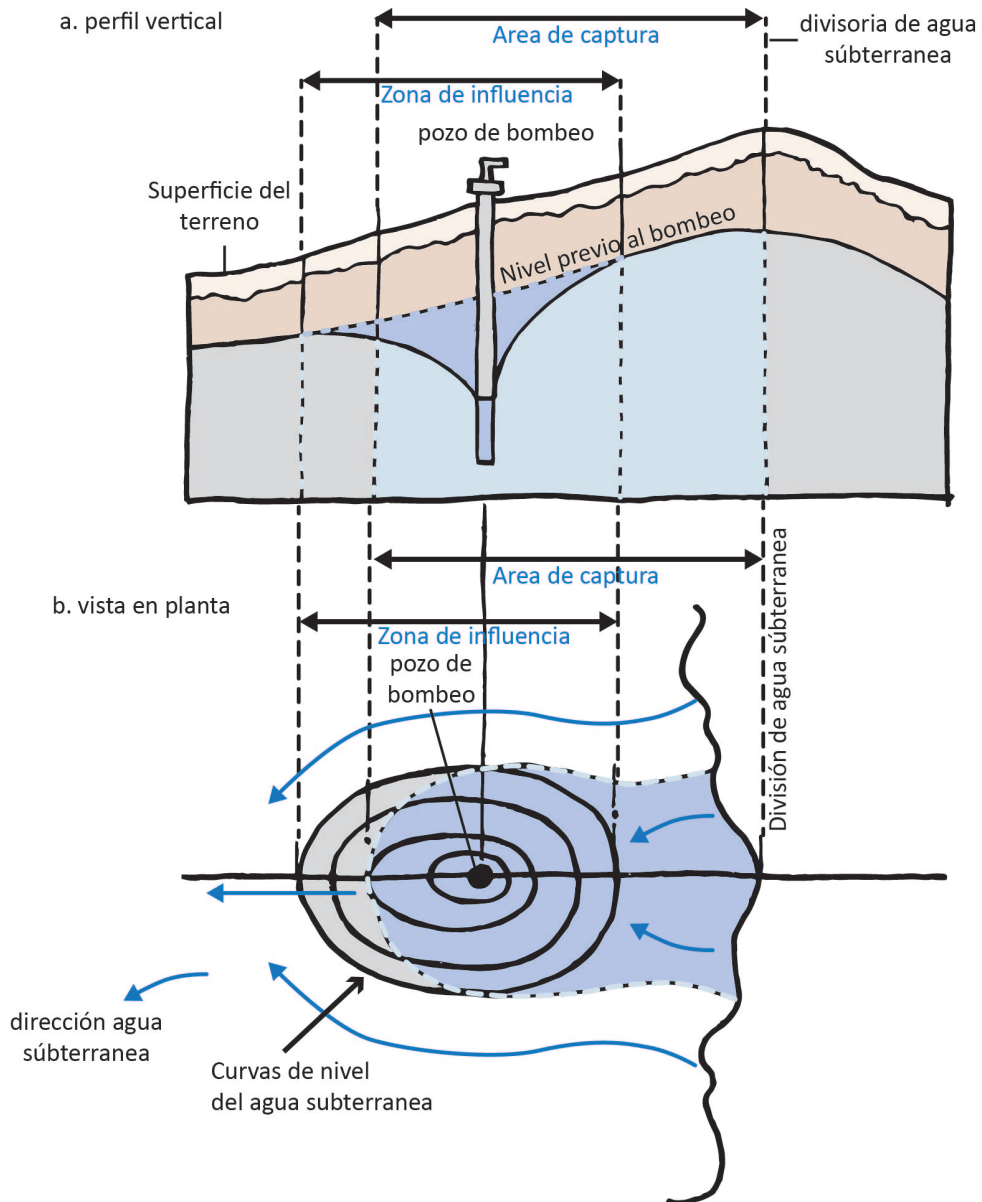


Figura 51: Diferencia entre el área de captura y la zona de influencia de un pozo de producción



Fuente: Banco Mundial, 2007. Propuestas Metodológicas para la Protección de Agua Subterránea. Guía Técnica parte B. Elaboración propia.

La protección de fuentes de descarga, ya sea artificial o natural es clave ya que la contaminación de las napas freáticas depende de:

- Si la actividad se encuentra ubicada sub superficialmente en el área de captura de esa fuente

- El tiempo de flujo horizontal³⁸ en la zona saturada del acuífero, desde la ubicación de la actividad hasta el punto de extracción de la fuente de abastecimiento

Estas áreas de protección de las fuentes deben dar protección contra:

- Contaminantes que decaen con el tiempo
- Contaminantes no degradables, la dilución de los mismos que dependen de la trayectoria del flujo.

Para lograr el objetivo final que es eliminar el riesgo, todas las actividades potencialmente contaminantes deben ser controladas o prohibidas dentro del área de captura de este fuente.

5.1.4 Tipos de protección

Generalmente los criterios que se tienen en cuenta son el tiempo del flujo y la distancia del flujo. Se puede dividir en 3 escalas de protección.

- Área total de captura de la fuente
- Área de protección microbiológica
- Área operacional del pozo

5.1.5 Áreas de captura de la fuente

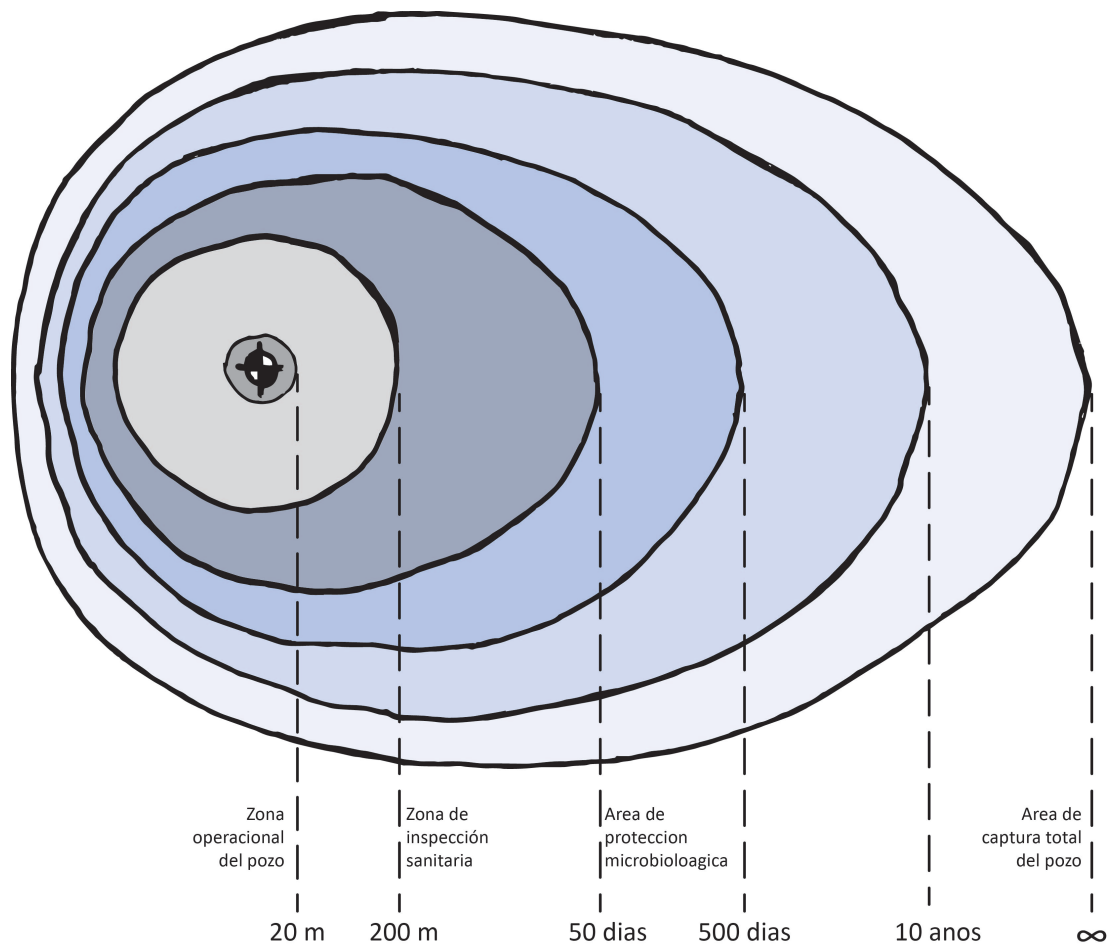
Se refiere al área total de captura de recarga, al perímetro en el que toda la recarga del acuífero será captada por la fuente de abastecimiento de agua en consideración. Es importante proteger esta zona ya que la *recarga* se vuelve *descarga*. Como el Acuífero Patiño es de tipo libre, sus partículas de agua se encuentran en contacto directo con la presión atmosférica sumado a que el tipo de suelo predominantemente es de francosa fina. La zona ideal para la recarga del acuífero son las zonas mas elevadas, ya que las mismas sometidas a procesos de recarga inyectaran mas presión al sistema cotas abajo, favoreciendo al funcionamiento ecológico de los cursos de agua superficiales. Es por tal motivo también, que denominamos a estas cotas altas como áreas de reserva natural para la protección de la captura o recarga de las fuentes

³⁸

naturales. De esta manera proteger la calidad del agua al salir ya se como descarga natural o artificial. En cuanto al manejo del recurso, cuando nos encontramos en situaciones en donde el agua subterránea sufre de explotación intensiva, se puede utilizar a esta zona como de “conservación” o reserva del recurso para abastecimiento de agua potable.

La figura 43, presenta los distintos perímetros de protección de la fuente que se definen a partir de las distintas escalas.

Figura 52: Perímetros de protección de pozos en un acuífero libre



Fuente: Banco Mundial, 2007. Propuestas Metodológicas para la Protección de Agua Subterránea. Guía Técnica parte B. Elaboración propia.

5.1.6 Parque de protección de área de captura de las fuente en las cotas altas.

Se propone un parque de protección de las fuentes en las cotas altas, ya que es aquí donde se encuentran la mayoría de las nacientes de los arroyos o descargas naturales. Se sugieren áreas verdes, por todos los beneficios que trae la vegetación al sistema. Así también, como mencionado anteriormente estas cotas, son las ideales para la recarga del acuífero ya que la diferencia de altura permite que el agua penetre al acuífero con mas persistencia favoreciendo el proceso de infiltración.

Los tipos de actividades propuestos para esta zona de protección de descargas naturales y de infiltración de agua de lluvia se relacionan con la producción de energía, producción de alimentos para abastecer a las ciudades cercanas, actividades deportivas. Ya por el simple hecho de ser áreas verdes, pueden servir como hábitat para animales así como también como corredores verdes.

Figura 53: Protección de áreas de captura de la fuente a través de parques ecológicos.

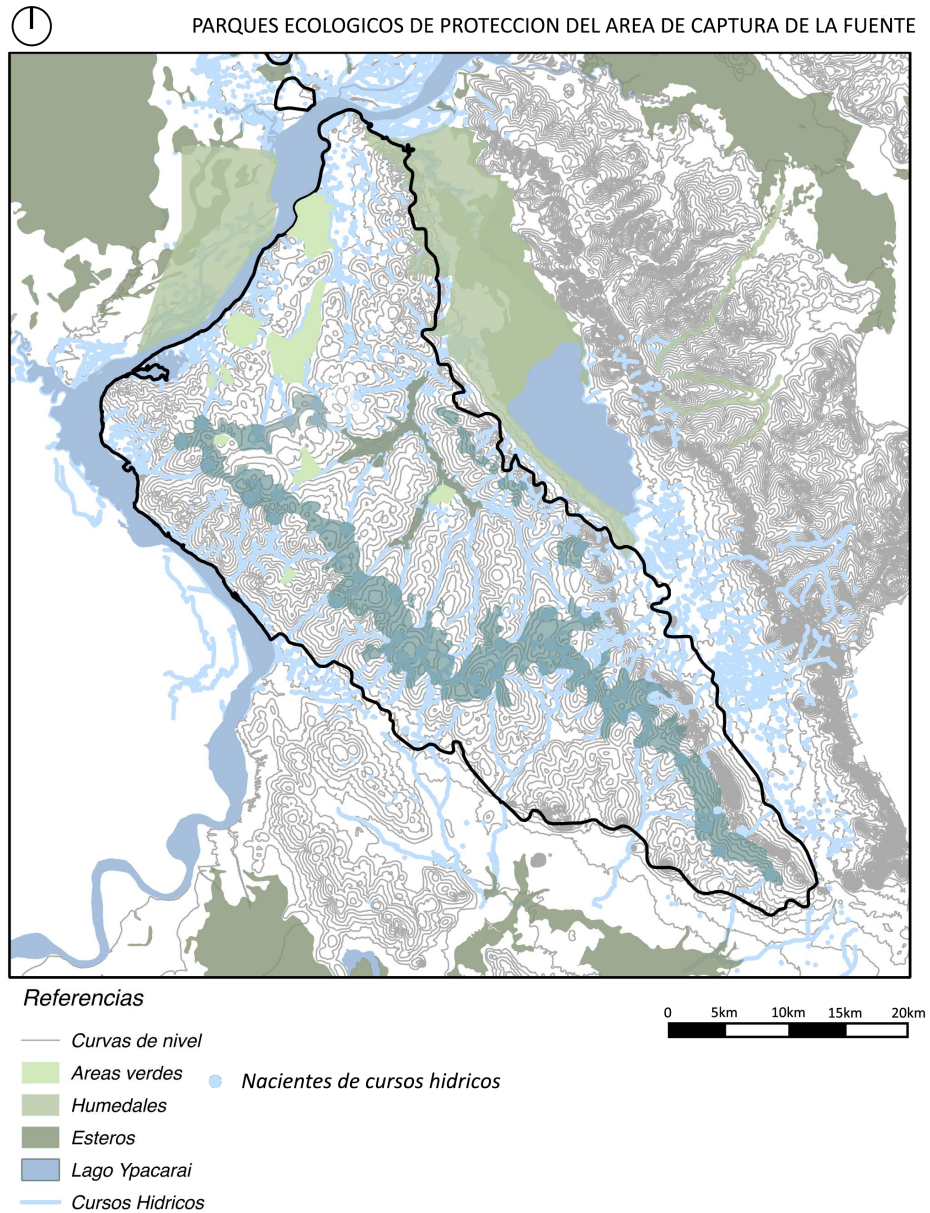
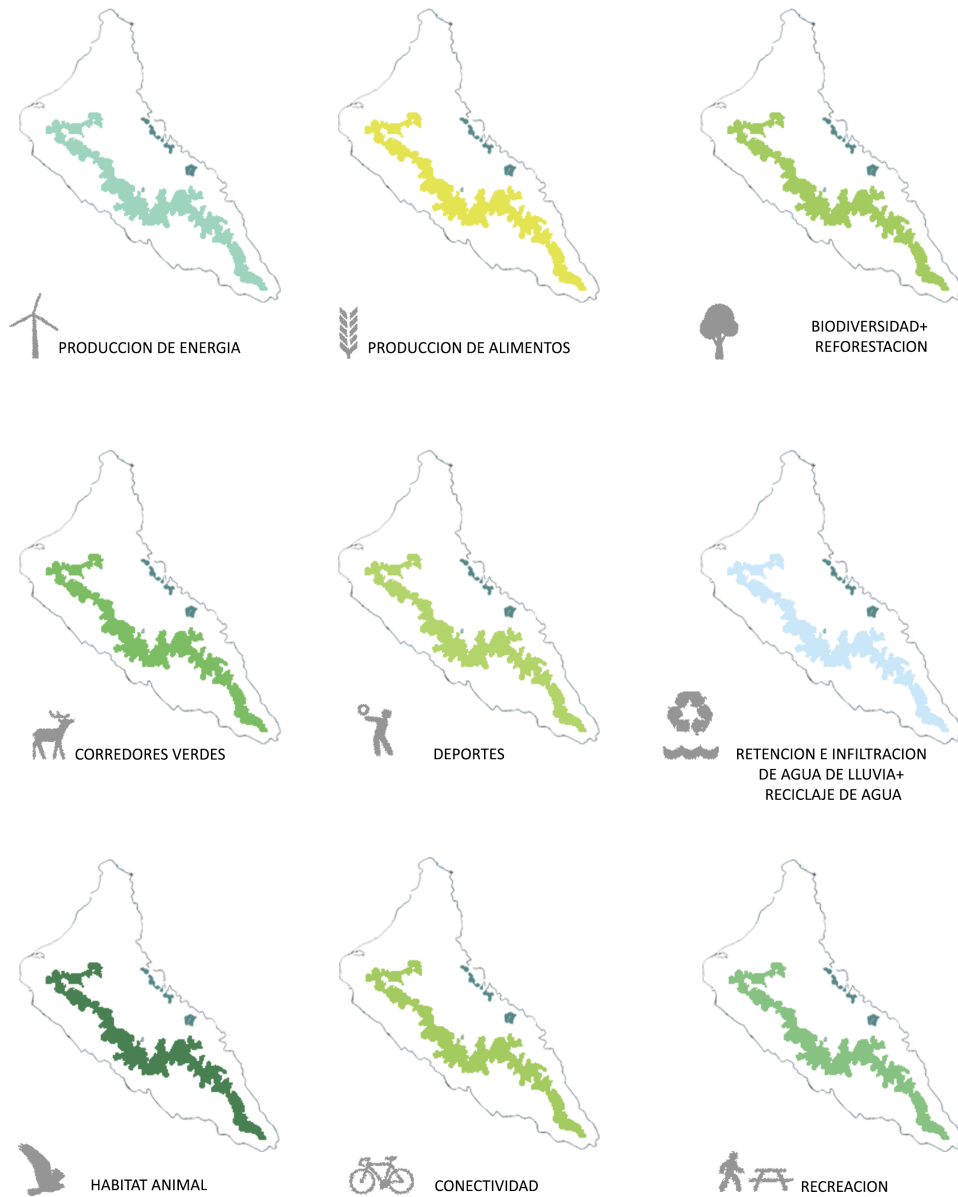


Figura 54: Programas dentro de los parques de protección de descarga natural.

PROGRAMAS EN PARQUES DE PROTECCION DE DESARGAS NATURALES



5.1.7 Áreas de protección microbiológica

Se refiere al área de protección interior al área que debería prevenir la ingestión de agua subterránea contaminada con bacterias, virus, parásitos patógenos entre otros. Estos acceden a los acuíferos desde cámaras sépticas, letrinas, drenajes o cursos de agua superficiales contaminados.

Parte de la conclusión del análisis demuestra la tremenda necesidad de estas áreas de protección en la zona, ya que la cobertura de desagües cloacales solo abastece el 23% de la población. Esta protección, es considerada la mas importante en términos de salud publica, ya que usualmente es un perímetro pequeño y de fácil implementación. Esta zona de protección es determinada a través de la velocidad del flujo horizontal promedio. La distancia de viaje horizontal esta determinada por la velocidad de escurrimiento del agua subterránea.

Estudios previos³⁹ han demostrado que en casos de contaminación registrados que han causado epidemias de enfermedades de transmisión hídrica, la separación horizontal entre la fuente de contaminación patogénica y la fuente de abastecimiento era equivalente a una distancia recorrida en 50 días, por lo tanto se considera ideal para definir la zona. Este criterio se podría considerar para el caso del Acuífero Patiño por ser de característica no confinada, pero teniendo en cuenta que este proceso de carga y recarga es un proceso dinámico que puede variar todos los años. La situación ideal seria crear un modelo conceptual del funcionamiento del Acuífero, cargar con toda la información necesaria para seleccionar la metodología apropiada por zona. Como esto requiere de mucha información no disponible sobre el acuífero Patiño, establecemos la distancia de 50 días, que serian aproximadamente 500 metros.

Como áreas de protección microbiológica, alrededor de los pozos de extracción de agua subterránea, se propone un radio de acción en donde:

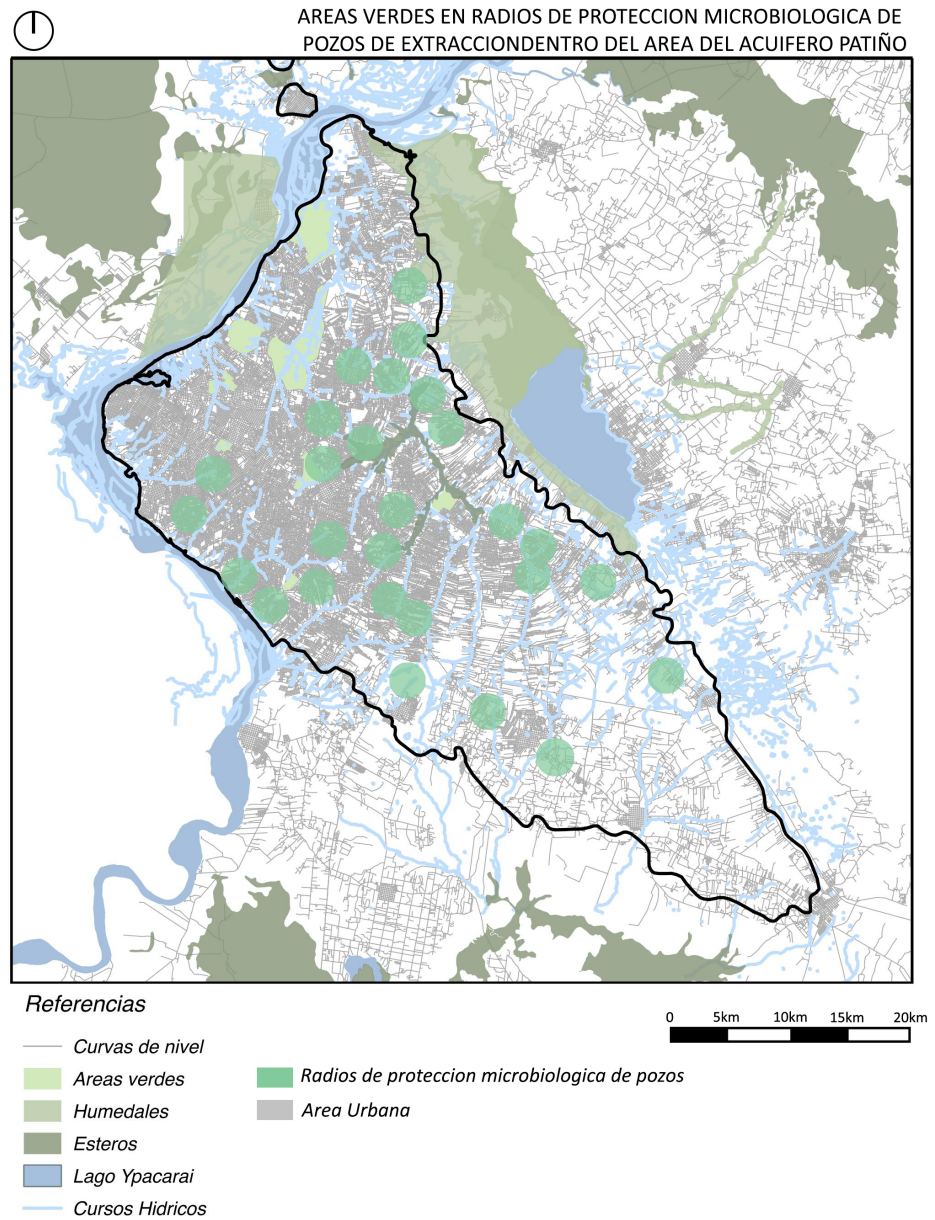
- Exista un control de las actividades dentro de ellas, ya que en muchos casos los pozos de extracción se encuentran en áreas construidas.'

³⁹ Fuente: Guía Técnica: Propuestas Metodológicas para la protección del Agua Subterránea. Banco Mundial.

- Proponer áreas verdes de protección en estas áreas con el fin de garantizar la calidad del agua para su posterior extracción.

Similar a las propuestas de los parques de protección de descarga natural, las actividades dentro de estas áreas de protección deberían estar relacionadas a la producción de energía, reforestación, actividades recreativas que otorgan de espacios públicos a las comunidades.

Figura 55: Pozos de extracción con su radio de protección



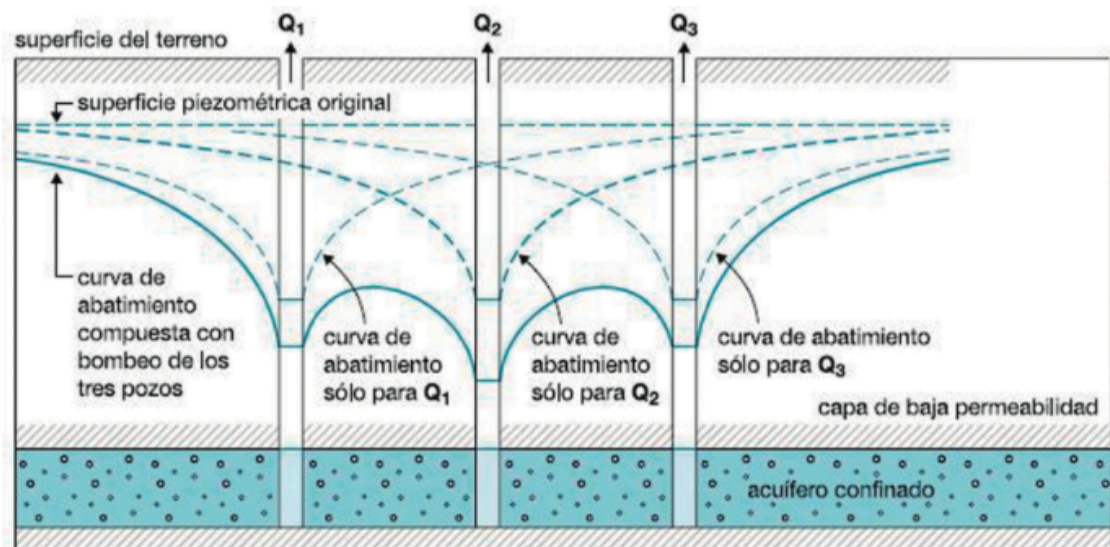
5.1.8 Zona operacional del pozo

Cuando hablamos de la zona operacional nos referimos a un área del terreno alrededor de la propia fuente de abastecimiento. Especificar la dimensión o la extensión de esta área resulta complicada ya que depende de las formas hidrogeológicas del acuífero en si. De igual manera, es recomendable dejar un perímetro mínimo de 20 metros. La idea de la protección de la zona operacional del pozo es que se logre limitar ciertas actividades, ya que las que se desarrollen allí deberían estar solamente relacionadas a la extracción de agua, evitando la contaminación a la fuente directa.

5.1.9 Prevenir interferencia de pozos.

Buscando también la sostenibilidad del acuífero, apuntando a las tres áreas de protección de los pozos de extracción, también se debe tener en cuenta la distancia de los pozos entre si. La localización y el seguimiento de los pozos existentes, a través de documentación sobre las características hidráulicas, podemos lograr prevenir los efectos de interferencia de pozos. Esto influye directamente en los niveles piezométricos que influyen también la calidad del agua y la salida de servicios de los pozos.

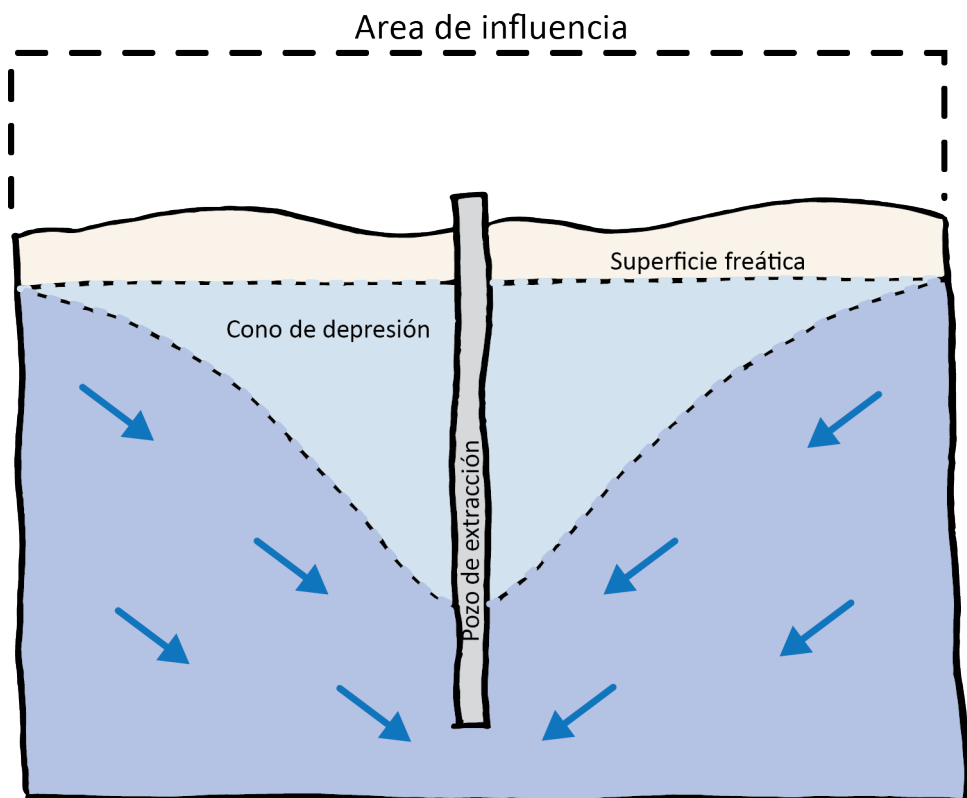
Figura 56: interferencia de pozos



Fuente: Banco Mundial, 2007. Propuestas Metodológicas para la Protección de Agua Subterránea. Guía Técnica parte B. Elaboración propia.

Estas zonas de protección también pueden estar definidas a través de los conos de depresión que genera la extracción de agua subterránea. Cuando se extrae agua del pozo el nivel freático alrededor del mismo se reduce, disminuyendo el nivel freático en forma cónica. Normalmente en consumo de agua domestica, este cono de depresión es despreciable, ahora cuando hablamos de pozos industriales o de riego que requieren de mayores caudales de bombeo, el mismo puede terminar secando el pozo.

Figura 57: Cono de depresión generado por un pozo de extracción



5.1.10 Autoridad Ambiental con manejo de un modelo hidráulico.

Se propone que a través de una autoridad ambiental, pueda existir una regulación tanto de cantidad de pozos por áreas, teniendo en cuenta todos estos factores mencionados anteriormente. Esta autoridad también debería poseer un modelo hidráulico que determine la ubicación de pozos de aguateras privadas y juntas de saneamiento, de tal forma previniendo al suministro de agua potable de todas los riesgos mencionados en el diagnostico.

El agua de consumo humano tiene prioridad por sobre otras actividades, ya que es una necesidad básica para las poblaciones. De esta forma podríamos regular también a los otros usos, tanto en caudal como en cantidad de pozos. La regulación las actividades que se encuentran dentro del área de protección es fundamental para los pozos. Se propone limitar aquellas actividades que sean riesgos potenciales para los mismos, así como también se propone que las áreas de protección se conviertan en áreas verdes. Dentro de las áreas verdes sería ideal contar con sistemas de “agro forestación” en donde la vegetación no solo evita la escorrentía superficial, sino que también protege las descargas naturales de posibles contaminaciones. Esto al mismo tiempo genera espacios climáticamente agradables en donde las ciudades pueden generar actividades de recreación y educación ambiental para las poblaciones.

5.2. Lineamientos sostenibles para las poblaciones de la zona.

5.2.1 Propuesta de ubicación de tomas de agua del Río Paraguay para el consumo humano e industrial.

Para contar con un rendimiento sostenible del Acuífero, buscamos disminuir tanto el consumo industrial como el consumo humano a través de nuevas tomas de agua del Río Paraguay. La toma existente que tenemos en Viñas Cue, nos demuestra la extensión que podrían llegar a tener nuevas tomas de Agua de Río, no solamente a nivel de infraestructura, sino también en caudal.

La ventaja de la morfología del Área Metropolitana es como el Río, bordea muchas de las ciudades, facilitándonos la propuesta de estas nuevas tomas de río.

En base al mapa de descenso de niveles estáticos, en el Capítulo 3.1.6, ubicamos estas tomas teniendo en cuenta el descenso de niveles estáticos en ciertas zonas donde ya están siendo afectados los niveles freáticos. Coincide que las zonas donde existe el desnivel son mayoritariamente industriales.

La ubicación de las nuevas tomas de Río destinadas principalmente a disminuir el consumo industrial se proponen:

- Al oeste del Acuífero abasteciendo a Villa Elisa, San Antonio, San Lorenzo y Ñemby.
- Al suroeste abasteciendo a Ypane, Guarambare y J.A. Saldívar
- Al sur abasteciendo a Guarambare, Ita.

Mientras que la ubicación de las nuevas tomas de Río destinadas a disminuir el consumo humano proponemos en las ciudades con mas densidad poblacional y que todavía dependen de agua subterránea:

- Al oeste abasteciendo a Lambaré y Fernando de la Mora
- Al noreste abasteciendo a Limpio, Luque y Aregua
- Al este abasteciendo Itagua, Ypacarai.

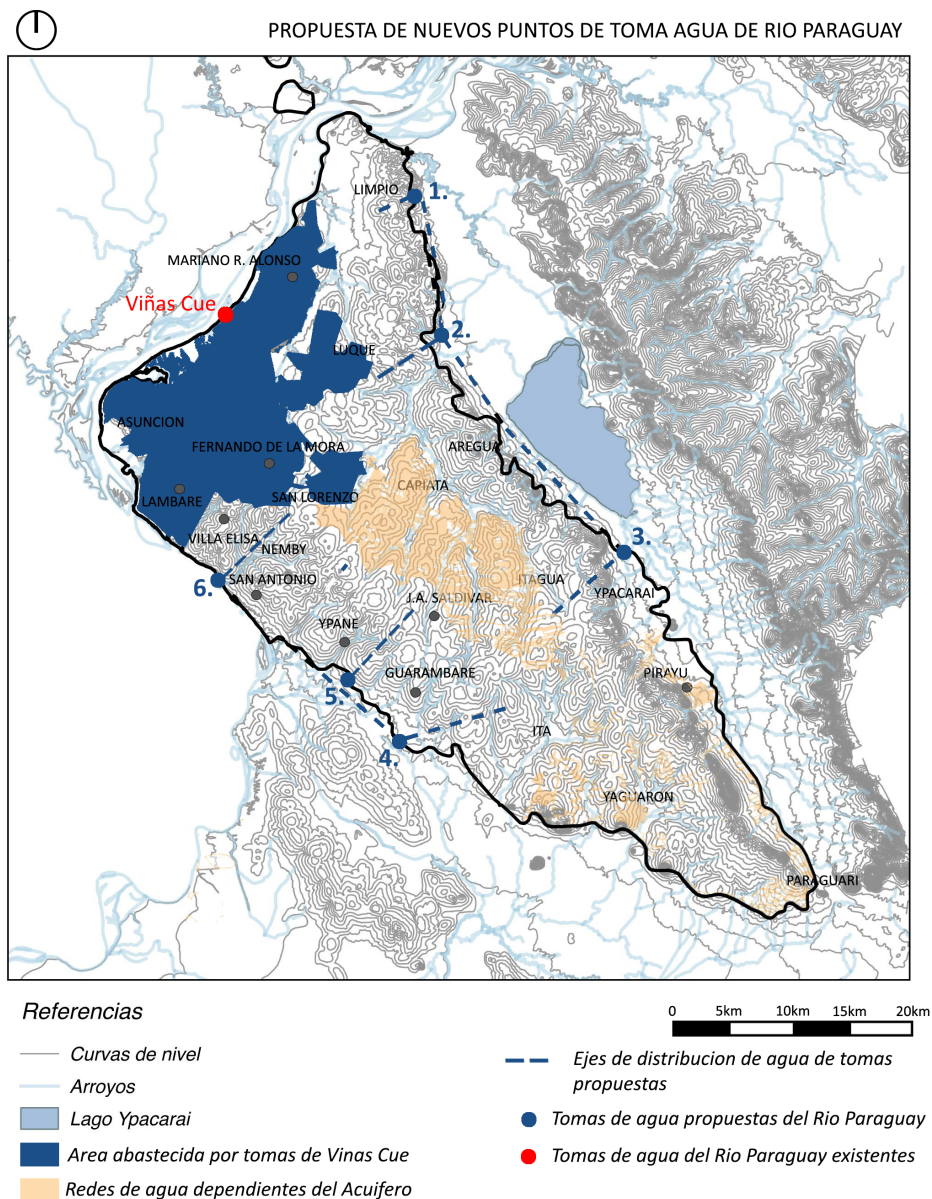
Al proponer estas tomas de agua de Río no solo solucionaríamos el problema de la disminución de consumo de agua subterránea, sino que también

facilitamos la implementación del sistema de protección de pozos, limitando a las industrias al uso del agua de río.

A través de las cotas mas favorables en esa zona, se plantea la posibilidad de subir el agua hasta los puntos altos, y luego realizar una distribución por gravedad, aprovechando el desnivel existente del área.

Es importante tener en cuenta que la implementación de nuevas tomas de Río implican un alto costo de inversión, ya que el sistema posee una complejidad no solo del tratamiento de agua sino de la distribución del agua, por lo tanto solo se proponen 4 ubicaciones para las mismas, en zonas donde ya tenemos pruebas que el nivel de descenso freático esta en riesgo.

Figura 58: Propuestas de nuevos puntos de tomas de agua del Rio Paraguay con el fin de realizar una descarga sostenible del acuífero a través de varios sistemas de provisión de agua.



5.2.2 Pago selectivo del recurso hídrico de acuerdo a la oferta.

Como la oferta del agua subterránea se vera limitada por todos las condicionantes mencionadas anteriormente, se propone también que se haga cumplir la Ley de Recursos Hídricos con relación al valor monetario que debe abonar el usuario del agua en general.

5.2.3 Medidores de desagüe cloacal

Un factor muy importante es que muchos de los bienes ambientales, como los recursos hídricos no tienen valor en el mercado, el cual implica ningún cargo por la utilización de los mismos. Anteriormente se mencionaba el cargo por el consumo de los recursos hídricos tanto de aguas subterráneas, como de aguas superficiales como incentivo de disminución del uso del agua. Por otro lado, tomando el ejemplo de países del primer mundo como Alemania y Holanda, se proponen los cargos por vertimientos de desagües cloacales. En realidad seria mas bien un cargo por un pago realizado en retorno de un servicio recibido.

Como otra de las propuestas es realizar plantas de tratamientos de efluentes, en el caso que las ciudades tengan desagüe cloacal, así como también en el caso de las ciudades que no tengan los usuarios deberían abonar por el tratamiento realizado a sus aguas negras.

Este cargo no solo incentiva la reducción del consumo de agua domestica, sino que aporta al disminuir la cantidad del agua destinada a la instalación pluvial de la ciudad, en nuestro caso disminuyendo las inundaciones.

La implementación de este control es relativamente fácil y económica, ya que se puede realizar por medio de instrumentos de comando y control o medidores en las salidas de las cañerías cloacales.

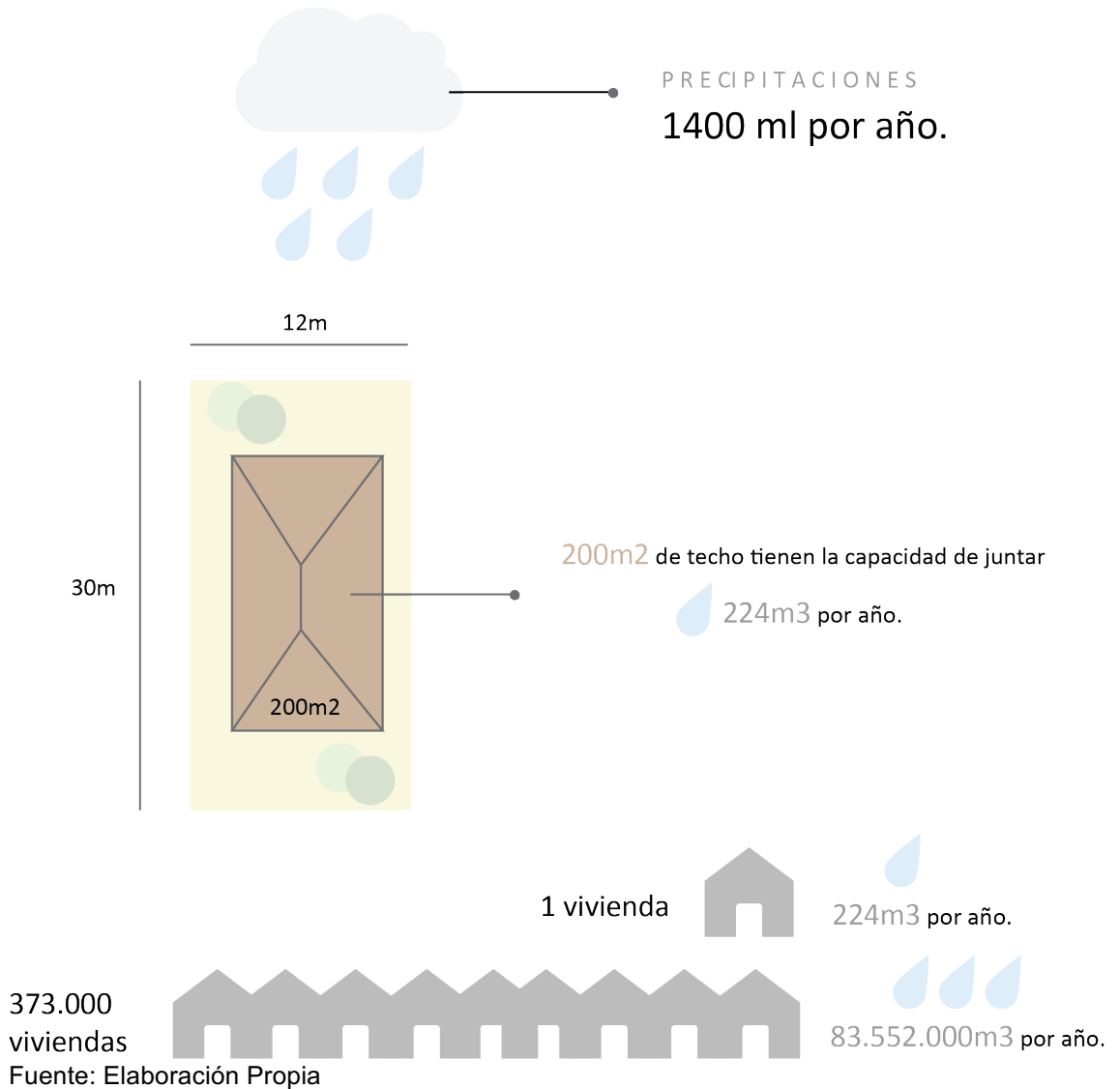
5.2.4. Cosecha de lluvia en viviendas.

Una solución para disminuir el consumo del agua subterránea es a través de la captación o cosecha de agua de lluvia. Consiste en recolectar y utilizar el agua de lluvia que descarga en superficies duras como techos o escurrimiento de suelos (estacionamientos) facilitando la captación de la misma con pequeñas inversiones.

La familia promedio en Paraguay esta compuesta por 5 personas, es decir, asumimos que existen 372,192 familias que se abastecen del agua subterránea del acuífero Patiño. Considerando que habitan en un terreno convencional de 12x30, con una superficie techada de 200m². Tomamos a la precipitación promedio que sería 1400mm por año.

$200\text{m}^2 \times 1400\text{mm} = \mathbf{280,000 \text{ litros anuales}}$ de agua por año por vivienda. A este número prevemos un 20% de pérdida de agua, teniendo un número final de **224,000 litros de agua por vivienda por año o 224m³ de agua por vivienda por año**. Tomando a la vivienda promedio para poder obtener un número de referencia, tenemos **83,371,008m³ o 8.33hm³** de agua por año que podría ser recolectada a través de las cubiertas de las viviendas.

Figura 59: Precipitación promedio colectada en viviendas particulares para consumo domestico.



Este numero representa un 5% del consumo doméstico de las aguas subterráneas, pero tengamos en cuenta que también puede ser utilizado para la infiltración.

La recolección de agua de lluvia también presenta otros beneficios, en el ámbito económico, una reducción en las tarifas de consumo de agua potable ya que se disminuye el uso. También la captación de agua de lluvia es un recurso fácil de mantener y relativamente limpio que puede ser utilizado en actividades que no requieren de consumo de agua potable en si.

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño

Por otro lado, a nivel social, la cosecha de agua de lluvia disminuye el volumen de agua que va al sistema de drenaje reduciendo las inundaciones urbanas. Lo bueno de la captación de agua de lluvia es que se puede tener un sistema mixto de agua potable para las necesidades que requieren el mismo, y agua de lluvia para el riego, para el agua de los inodoros, lavarropas, entre otras cosas.

Figura 60: Reutilización de agua en viviendas



Fuente: <http://www.edu.xunta.es/centros/iesblancoamorculleredo/system/files/reutilizacion-agua.swf>

5.2.5. Infiltración de agua de lluvia en zonas cercanas a puntos críticos.

Como se ha demostrado el crecimiento irregular de las ciudades ocasionan mayores superficies impermeables. El Acuífero Patiño por ser de tipo libre, tiene una fuerte dependencia a la recarga a través de la precipitación. Un gran porcentaje del agua de lluvia, como no tienen suficiente superficie permeable, se convierte en escorrentía, generando inundaciones urbanas. Esta escorrentía no solo es mala para la ciudad en si por el caos que genera, sino que también desvía al agua que era parte del sistema a aguas superficiales como el Río

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño Paraguay, el Lago Ypacarai y los humedales del Ypoa, prolongando el proceso de recarga del Acuífero.

Figura 61: Puntos críticos de la ciudad de Asunción.

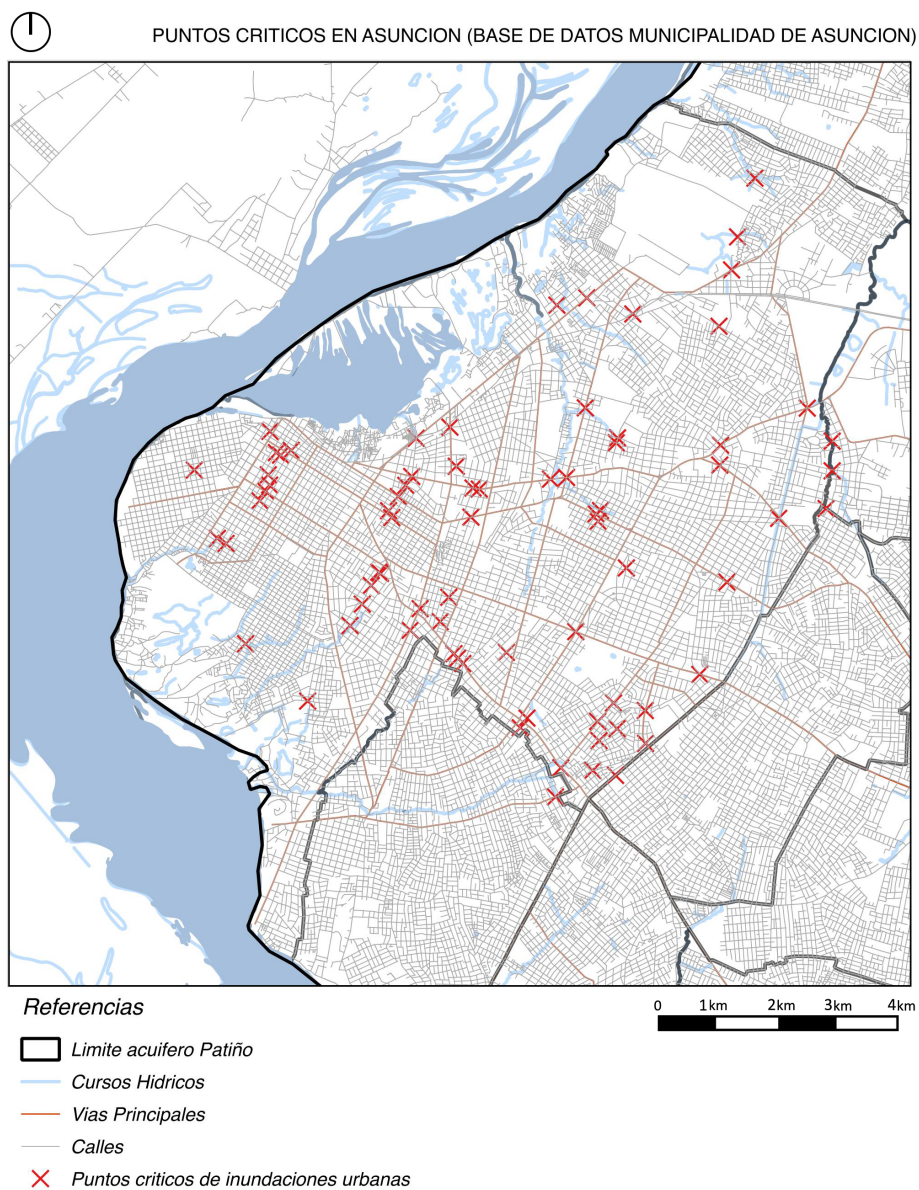


Figura 62: Sub cuencas hídricas y puntos críticos en Asunción.

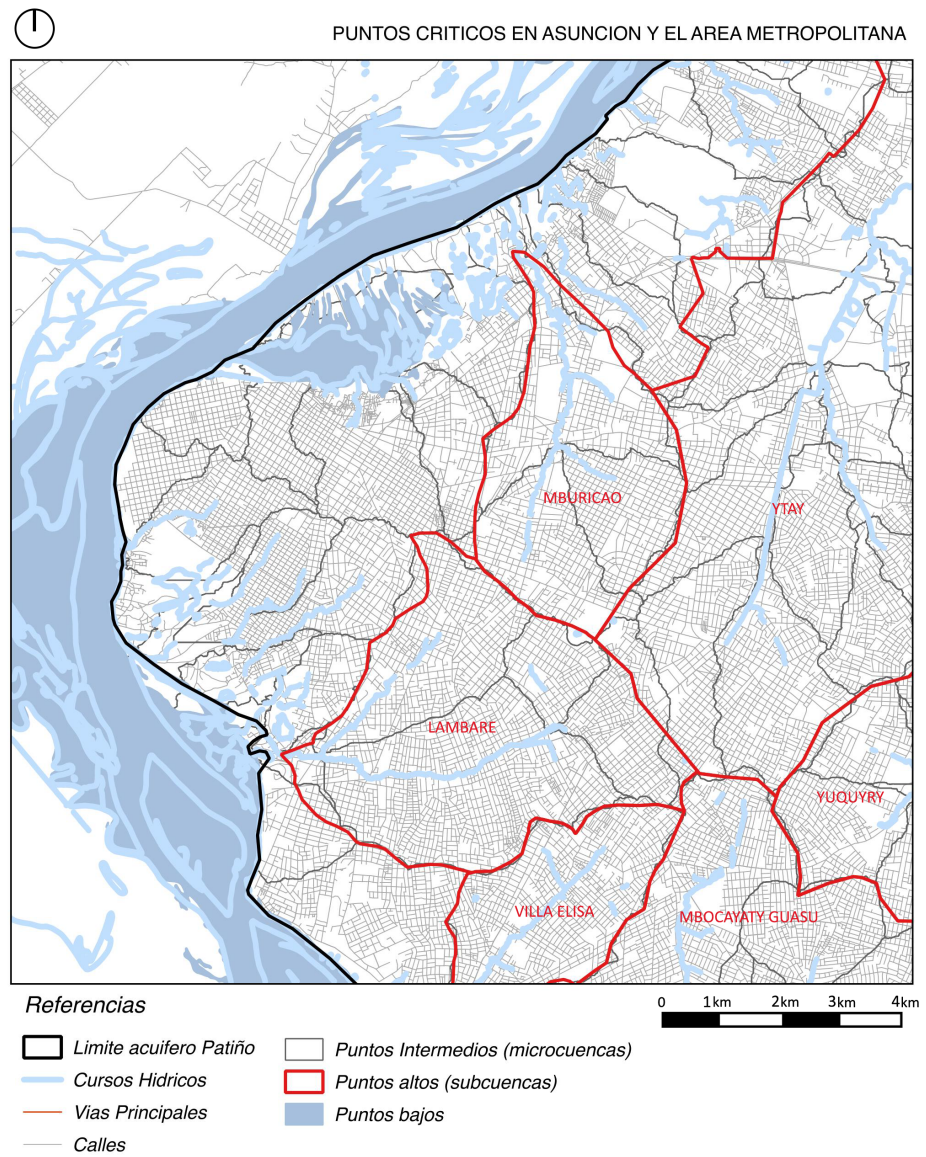
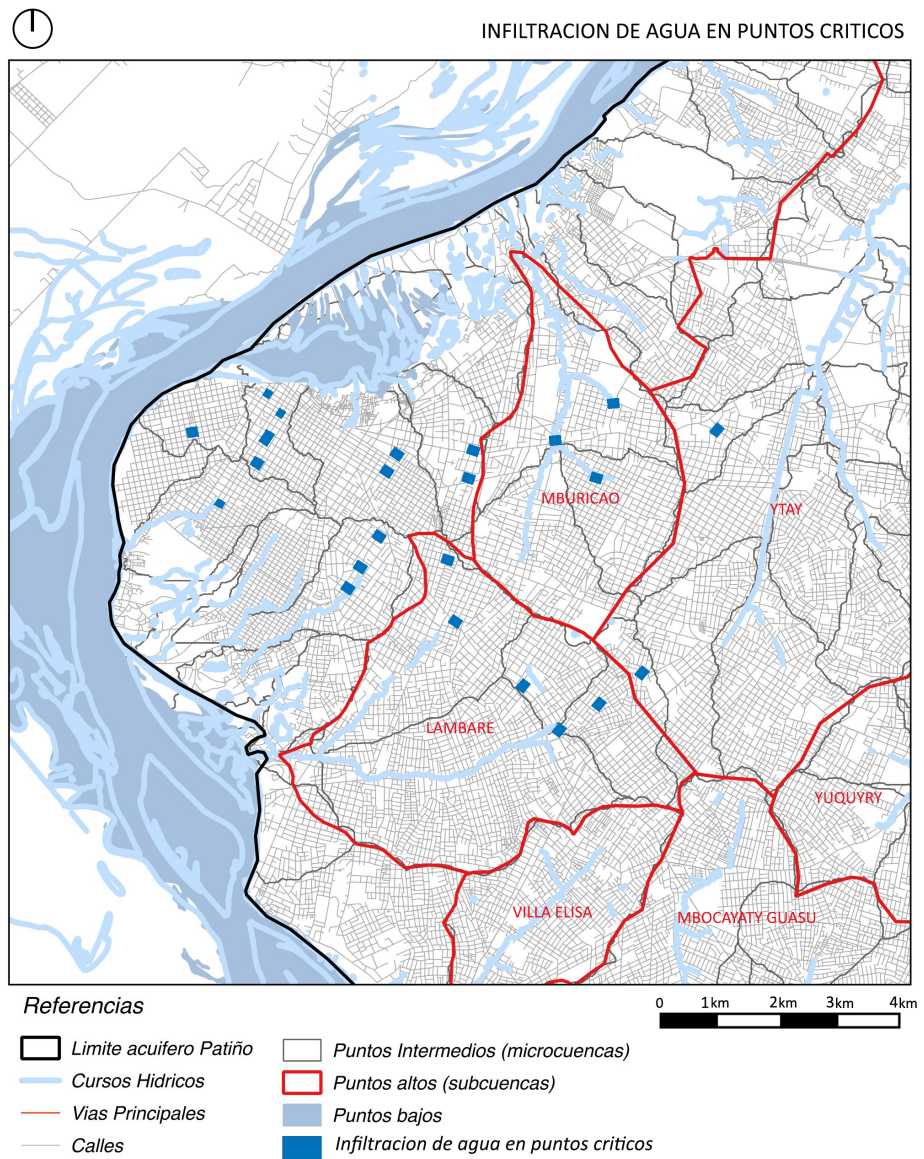
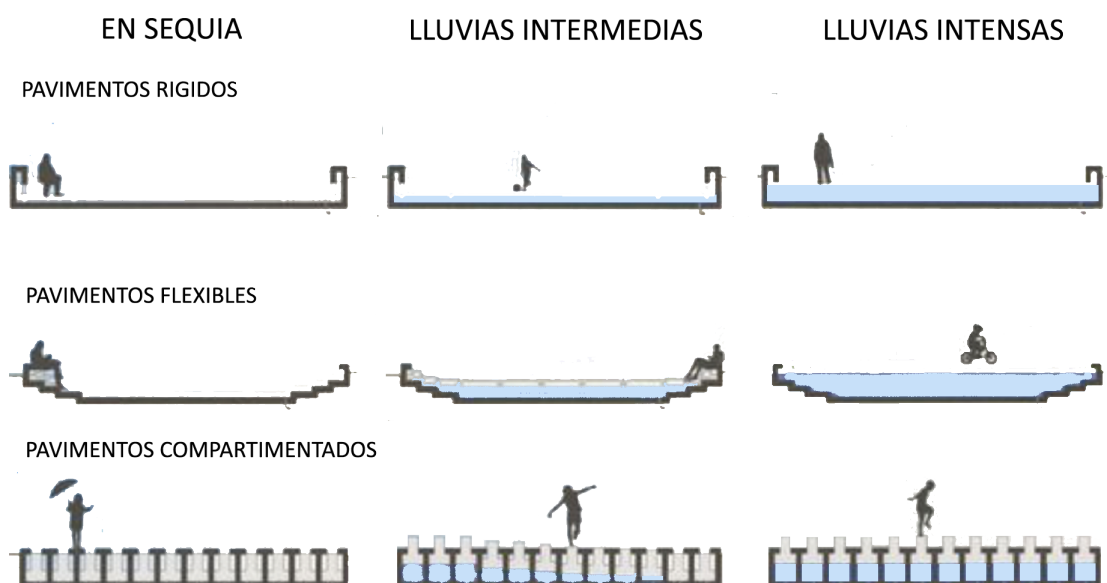


Figura 63: Infiltración de agua de lluvia por medio de plazas inundables en puntos críticos.



La idea de infiltrar el agua de lluvia en los puntos críticos viene de no remover a esta agua del sistema de la cuenca del Patiño. Se ha detectado en el análisis que la lluvia es un factor muy importante en la zona de estudio. A falta de alcantarillado sanitario, un gran porcentaje de esa agua es “desviada” del sistema de agua subterránea tardando mas tiempo en retornar. La infiltración se puede dar por medio de plazas verdes o de plazas inundables, en donde las misma se adapten a las situaciones de sequia y de lluvias intensas.

Figura 64: Infiltración de agua de lluvia por medio de plazas inundables en puntos críticos.



Fuente: Elaboración Propia

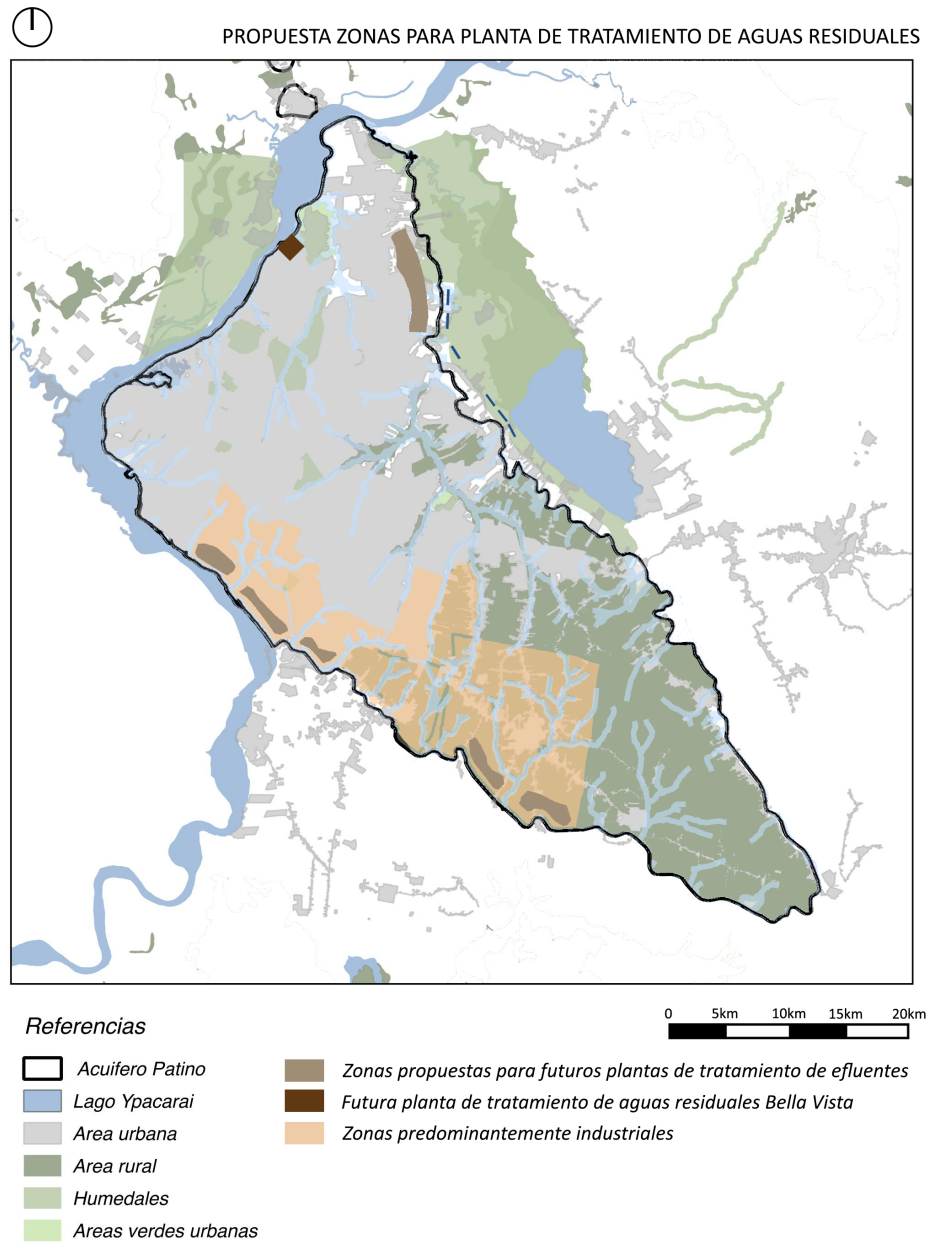
5.2.6 Plantas de tratamientos de efluentes

Se propone la ubicación de plantas de tratamiento de efluentes en las cotas mas bajas dentro del área del acuífero patino. De esta manera las aguas negras podrían direccionarse allí aprovechando el desnivel existente del territorio. Las plantas de tratamiento de efluentes serian algo positivo para el Sistema Acuífero Patiño ya que mucha de la recarga que recibe el acuífero hoy en día es por medio de perdidas de pozos ciegos. Lo negativo es que el agua que entra no se encuentra tratada, por ende contamina al agua subterránea.

Por lo tanto se plantean dos escalas de tratamientos de efluentes:

- a nivel mas urbano, en donde las aguas provenientes de la red cloacal pasen por un tratamiento antes de ser devuelta al sistema
- exigir a las viviendas e industrias que no poseen red de desagüe cloacal a realizar una depuración de las aguas negras antes de que penetren al acuífero.

Figura 65: Mapa de plantas de tratamiento de efluentes propuesta.



5.2.7 Parque lineales de protección de fuentes.

Cuando hablábamos de rendimiento sostenible, queda claro el hecho que no podemos mantener la sostenibilidad del acuífero por solo disminuir la descarga, ya que es un proceso de retroalimentación. Como mencionado en el capítulo 2.4.2, las descargas naturales no solo suceden en las nacientes, sino también a lo largo del curso hídrico. A través de la

Por tal motivo, se sugiere que en tanto en las zonas urbanas como rurales, la Ley 3239/2007 de los recursos hídricos se aplique, específicamente como zona de protección de fuentes de agua, determina un ancho de 100 metros a ambos márgenes de los cursos. Esto ayudaría a aumentar las superficies de recarga, ya que por ser del tipo libre es recargable en toda la superficie, y al mismo tiempo proteger las descargas naturales.

Figura 66: Parques lineales a lo largo de los cursos hídricos en la ciudad. Generando espacios públicos.



Fuente: Sasaki Asociados. Masterplan "Forest City" para la ciudad de Iskandar, Malasia.

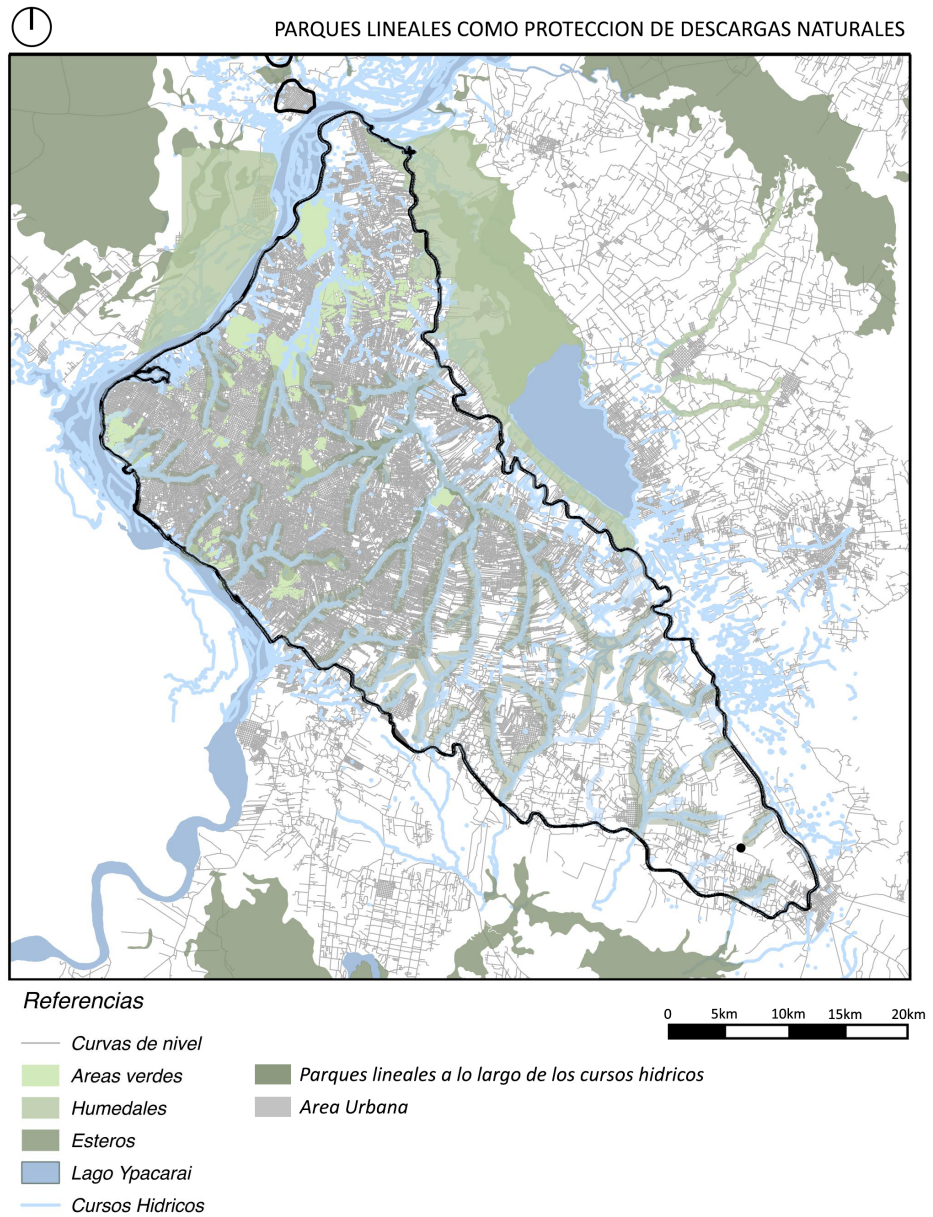


Fuente: Sasaki Asociados. Masterplan "Forest City" para la ciudad de Iskandar, Malasia.



Fuente: Sasaki Asociados. Masterplan "Forest City" para la ciudad de Iskandar, Malasia.

Figura 67: Mapa de parques lineales paralelos a los cursos hídricos.



Por otro lado las cotas altas favorecen la recarga del acuífero, como mencionado anteriormente. Al mismo tiempo la captación de agua de lluvia en estos niveles, también favorece a la distribución del agua, ya que por medio de gravedad puede abastecer a los distintos programas.

Se propone utilizar un sistema de captación de agua similar al de “Warka Water”. En esta propuesta, la torre trabaja a través de la recolección de lluvia, niebla y rocío a través de una malla de bambú.

Figura 68: Torre “Warka Water”, en donde se capta agua de lluvia, rocios y niebla, se almacena en un tanque inferior. Esa agua puede ser infiltrada o utilizada para consumo humano.

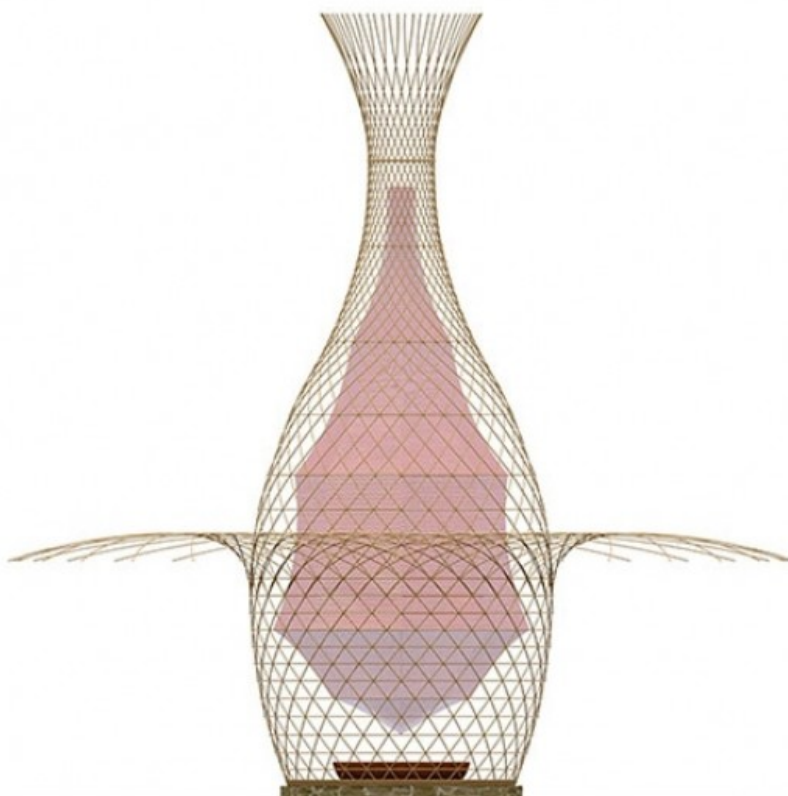
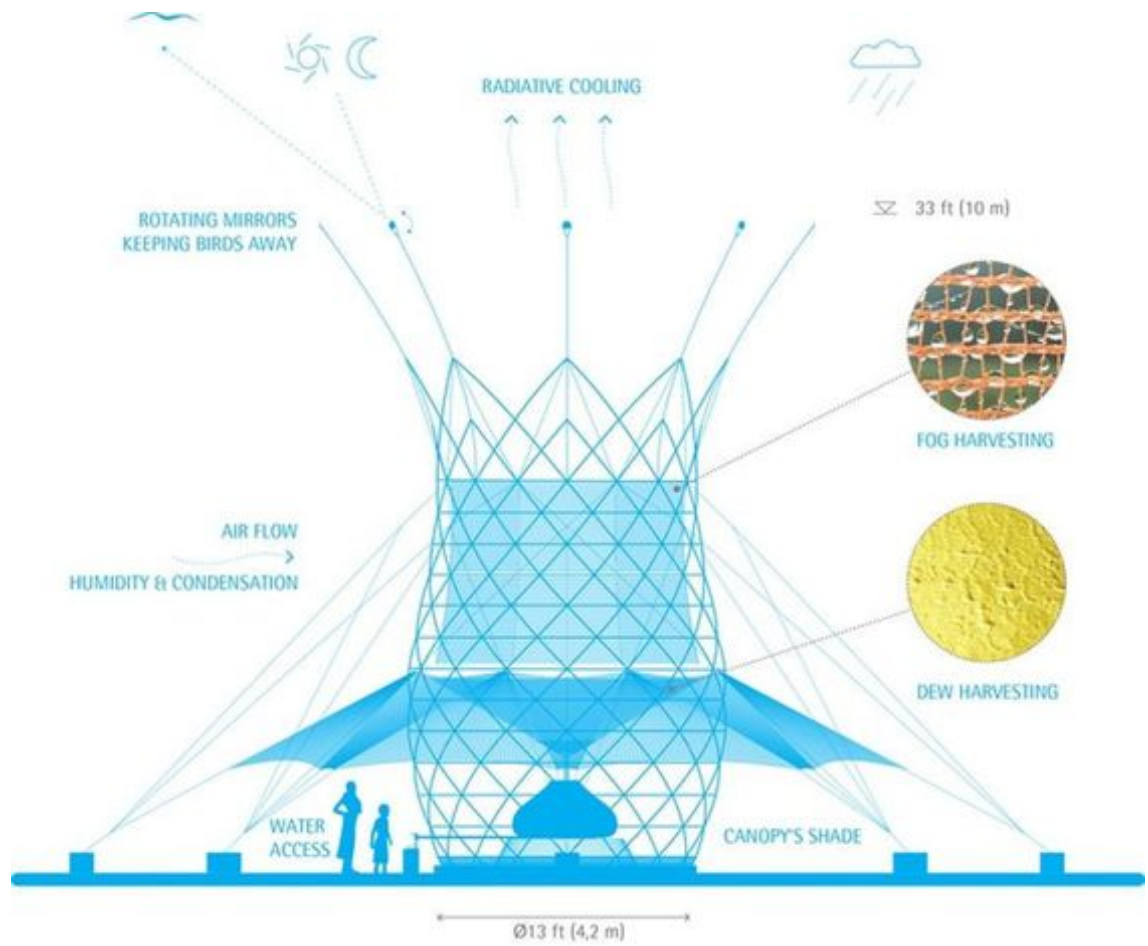


Figura 69: Corte de Torre “Warka Water” y su relacionamiento con el entorno.



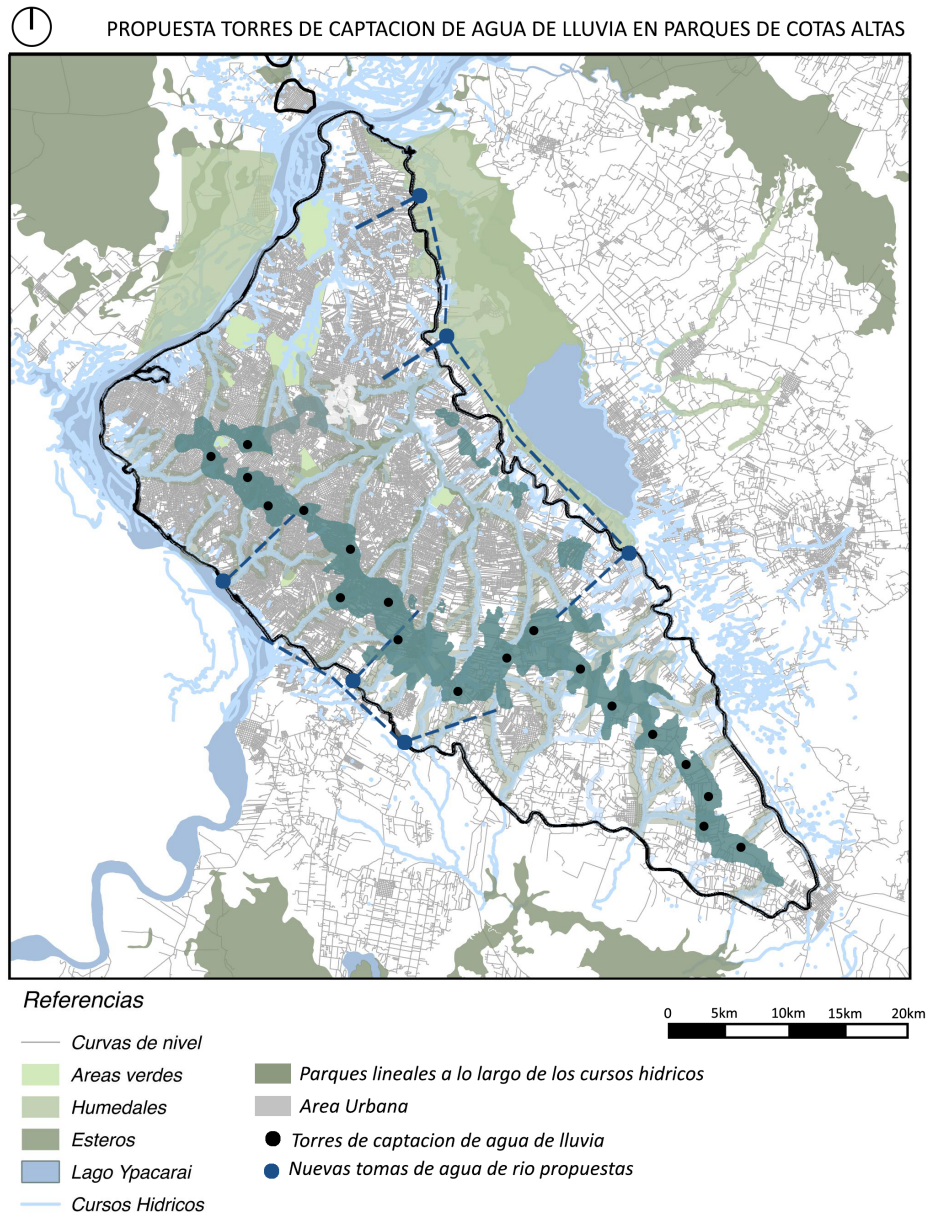
La malla capta las gotas de agua y son llevadas a un tanque de almacenaje. Esta torre tiene la capacidad de almacenar 100 litros de agua por día, haciendo que la infiltración al acuífero aproveche hasta la última gota de agua en el sistema.

Figura 70: Malla de captura de agua a través de una malla de bambú.



También se propone utilizar el sistema de captación de agua de lluvia a través de infraestructura más pesada, como torres de agua. Estas torres no solo pueden captar el agua sino que se pueden convertir en hitos dentro del parque de protección.

Figura 71: Mapa de protección de áreas de captura de la fuente. Infiltración de agua en cotas altas por medio de torres de captación de agua.



5.3 Sugerencias para la reducción del consumo de agua en el sector industrial y de servicios.

Se propone como medida de reducción de agua subterránea para el sector industrial a las nuevas tomas de Rio mencionadas en el Capítulo 5.2.1. La gran demanda de agua en el rubro industrial, justificaría la inversión a realizar en la planta de agua de toma de rio. Por otro lado existen también factores que forman parte de los procesos industriales en si que ayudarían a efectivizar el uso del agua en las industrias.

5.3.1 Equilibrio entre el consumo y la infiltración en los predios industriales.

Hemos hablado de la posibilidad de implementar un cargo por las aguas residuales tanto de las viviendas como de las industrias, pero también creemos importante que las industrias existentes paguen por la impermeabilización de los terrenos. Los predios industriales normalmente ocupan grandes superficies del territorio impidiendo la recarga del agua al acuífero. Se propone que a través de estas grandes cubiertas se capte el agua de lluvia y se infiltre al suelo como medio de compensación de las descargas hechas y así evitar la tasa impositiva por impermeabilización de suelos.

5.3.2 Reciclaje del agua por medio de conocimiento de procesos industriales.

Parte del análisis realizado para el consumo fue por medio de visitas realizadas en distintos predios industriales y de servicios. En muchos de estos casos, los mismos encargados de las plantas conocían en detalle el funcionamiento, y así sugerían sectores de donde podrían reutilizar el agua. La falta de implementación de estos sistemas probablemente se da por falta de incentivo, ya que son procesos simples de efectuar.

A continuación una breve descripción de tres casos en donde el agua podría haber sido reutilizada dentro del procedimiento industrial, disminuyendo el consumo del recurso.

- Mataderos

El proceso de faenamiento de animales incluye varias etapas de “lavado” del animal. En el primer paso, el animal llega “sucio del campo,” en donde para poder proceder a todos los pasos al cual debe estar sometido se le hace un enjuague con agua potable. En este paso, perfectamente el agua puede ser agua reutilizada, ya que es solo un enjuague se realiza al animal. Es también una planta en donde se podrías reutilizar las aguas grises para la limpieza del predio.

- Embotelladoras de gaseosas y agua mineral:

En el procedimiento de embotellamiento y producción de gaseosas, existen sistemas de refrigeración a través de torres de enfriamiento y condensadores. Los mismos consumen mucha agua, ya que cuando se elaboran las gaseosas se deben mezclar en bajas temperaturas ya que el gas carbónico es soluble en frío. Por otro lado, la producción de envases PET, pasa por un procedimiento en donde se moldean las botellas. Este molde debe ser frío para que las botellas generadas no se derritan. La utilización del agua para la refrigeración perfectamente puede ser reciclada, ya que no posee contaminantes ni químicos que puedan afectar al proceso. Existe también un enjuague que se realiza a las botellas por medio de un *rinses*, el agua que se utiliza en este proceso es agua potable, y se podría reciclar o reutilizar para la limpieza del predio industrial, potenciando la efectividad de la planta también a través del consumo de agua sin desperdiciarla.

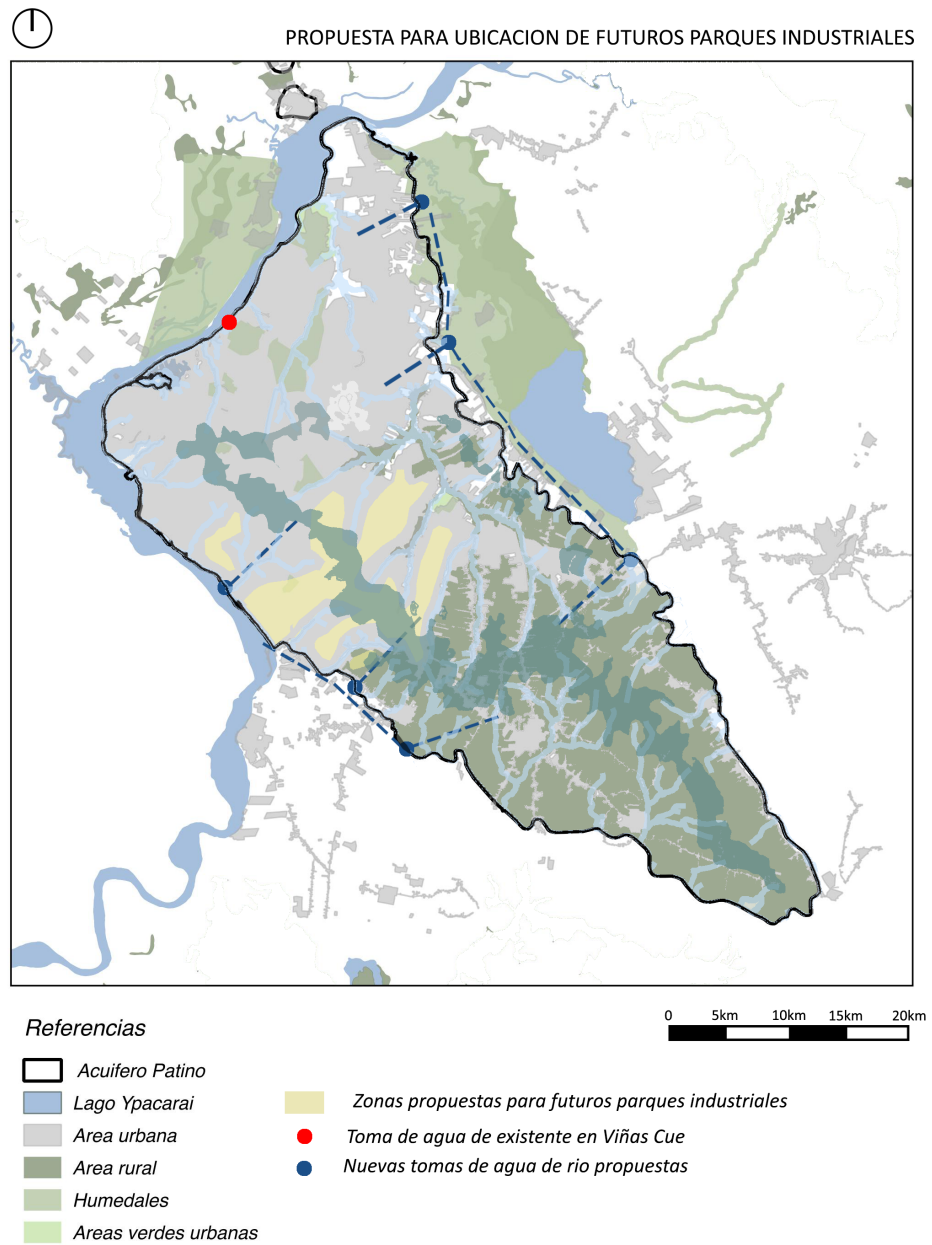
- En faenamiento de aves y producción de pollos:

Normalmente el agua utilizada durante en este proceso termina siendo agua que ha estado en contacto con material orgánico. Es difícil hacerla potable, sin embargo, el reciclaje de esta agua puede ser aprovechada para la limpieza del predio o bien la recarga del acuífero una vez depurada.

5.3.3 Parques industriales de infraestructura compartida en zonas abastecidas por tomas de Río.

Parte de la sostenibilidad del acuífero también implica limitar las actividades en las áreas de protección, como mencionábamos anteriormente. Por lo tanto, se debería determinar que las áreas para nuevas industrias se encuentren cercanas a las nuevas tomas de agua de Río, fuera de las zonas de protección. Los parques industriales traen muchos beneficios para aquellas empresas que forman parte de él, ya que comparten una serie de servicios comunes. Entre estos servicios tienen abastecimiento de energía eléctrica, seguridad, portería, abastecimiento de agua con distintos tipos de tratamiento según la función, tratamiento de aguas servidas. Al formar parte del parque industrial, en cierta forma también se le compromete a la industria a seguir con las normativas de efluentes así como también se puede controlar la provisión de agua potable a ellas.

Figura 72: Mapa de ubicación de parques industriales cercanos a las tomas de agua de río.



5.4 Sugerencias para la reducción del consumo de agua en el sector de agricultura y ganadería.

5.4.1 Reducir el consumo de agua agrícola a través de la utilización de sistemas de riego mas eficientes.

Existe un alto porcentaje de pérdida de agua utilizada en el rubro de la agricultura ocasionado por el Sistema de riego utilizado. El mas común en la zona es a través del “manguereo⁴⁰” en donde la eficiencia del mismo es solamente del 60%.

Otra de las problemáticas existentes es la falta de información sobre los horarios de riego por parte de los agricultores. Realizar el riego en horas donde el sol es intenso, incrementa el porcentaje de evaporación del agua.

Se recomienda que a través de capacitaciones a los agricultores, se informe de cuales son los horarios ideales para el riego en donde la pérdida del agua no es tan grande, como por ejemplo de tarde, ya que el sol no es tan fuerte y la evaporación no es tanta.

Se propone una transición, al sistema de riego por goteo, en donde la eficiencia es del 80%, ya que es un riego mas puntual. Es factible generar planes de financiación para que los agricultores accedan a este sistema de riego, no solo aumentando la efectividad y reduciendo el consumo de agua subterránea sino que también disminuyendo las horas de mano de obra del con la automatización del riego.

5.4.2. Promover la agro forestación en zonas rurales.

La agro forestación⁴¹, a diferencia de los horticultivos o monocultivos, trae muchos beneficios para el medioambiente y en especial al sistema hídrico. Por un lado, al reestablecer la cobertura arbórea, incrementa la fertilidad del suelo, ya favorece la retención de la humedad aumentando la efectividad de la evapotranspiración. Los arboles estabilizan los suelos disminuyendo la erosión

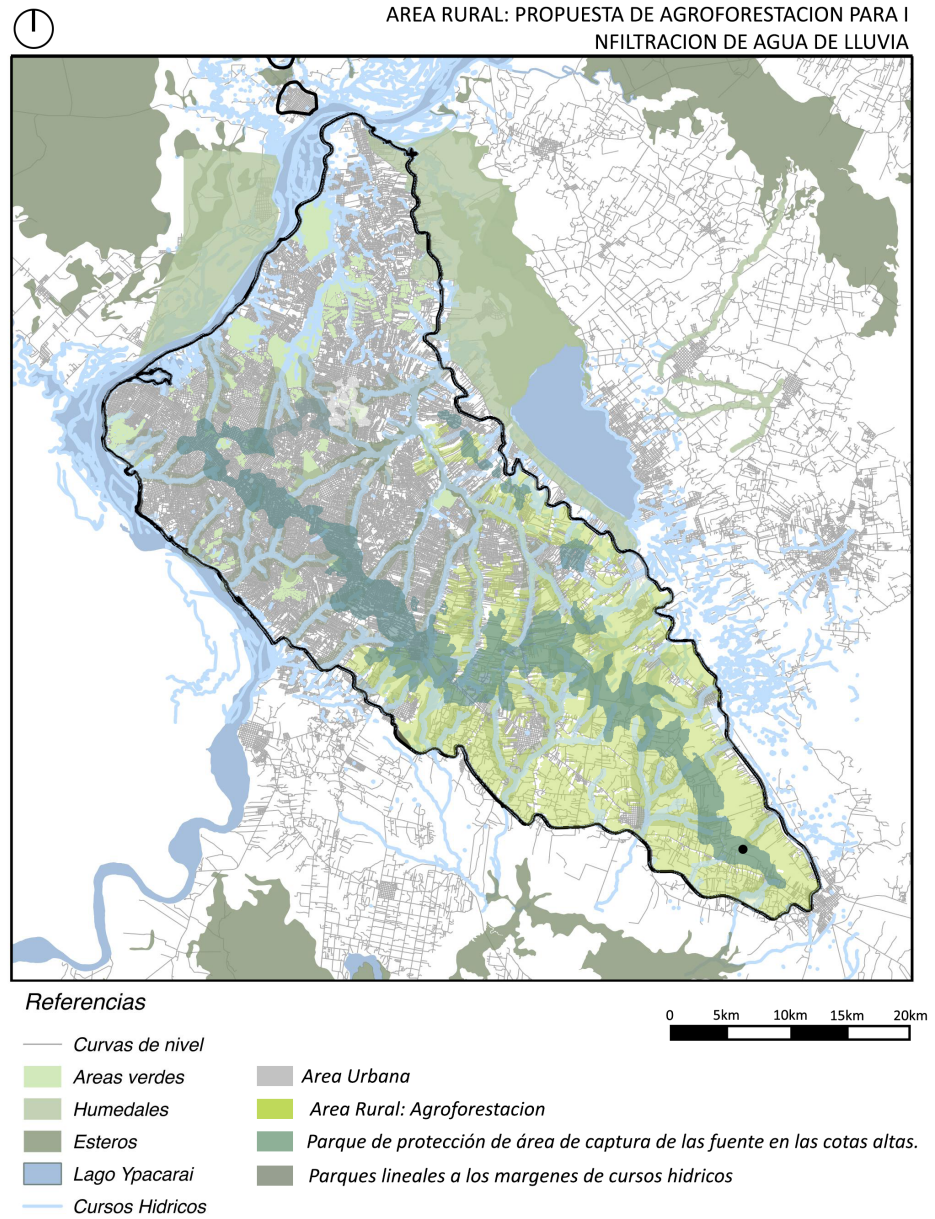
⁴⁰ Manguereo: riego por medio de mangueras. Sistema muy utilizado ya que es el mas económico.

⁴¹ Agroforestería: es un sistema productivo que integra arboles, ganado y pastos o follaje en una misma unidad productiva. El sistema esta orientado a mejorar la productividad de las tierras y ser ecológicamente sustentable. Trae beneficios como protección física del suelo, efectos sobre el microclima, reciclaje de nutrientes, diversificación de la producción.

Lineamientos para el manejo sostenible de la descarga del Acuífero Patiño y el flujo rápido de las aguas de lluvia, mejorando la infiltración del agua al suelo, aumentando la calidad del agua y aumentando el caudal de las descargas naturales.

A través de programas de capacitación y charlas informativas se puede demostrar como estos sistemas de agro forestación no solo trae beneficios medioambientales, sino que trae mejoras en la producción y prolonga la vida útil de la tierra cultivada.

Figura 73: Propuesta de agro forestación en las zonas rurales.



CAPITULO VI: Conclusión

Esta investigación nace a través de una preocupación por el desarrollo y crecimiento desordenado del área metropolitana de Asunción. En búsqueda de la comprensión de los distintos sistemas que forman parte de esta compleja urbanización, nos encontramos con uno de los principales intercambios que existen entre las ciudades y el ambiente: el agua. Utilizamos la palabra “intercambio” porque a todo sistema de retroalimentación, como comprobamos que es el Acuífero Patiño, tiene entradas y salidas. Sin embargo, hoy en día este intercambio es más bien desfavorable para el acuífero, y así también para las ciudades del futuro.

A través de distintos análisis sobre los usos, hemos comprendido como las actividades con mayor influencia en la descarga del acuífero son las actividades industriales. En lo que compete al consumo doméstico, hemos comprobado que con los años el consumo de agua subterránea ha aumentado, influyendo negativamente en los niveles de las napas freáticas, ya que este crecimiento ha causado no solo mayor consumo sino que también menos superficie de recarga de agua. Al mismo tiempo, el acuífero corre riesgo de intrusión. Por último, el consumo de agua en el sector agrícola, si bien es el menor de todos, es importante ya que son superficies aun rurales que podrían aplicar sistemas de cultivos que favorezcan la infiltración del agua. La suma de los tres consumos, ha impactado no solo en el descenso de niveles freáticos sino también en los riesgos de intrusión salina ya existentes en ciertos pozos, así también en riesgos de contaminación causada por distintas actividades que impactan a las aguas subterráneas.

Para poder favorecer la descarga sostenible del acuífero Patiño se propone la implementación del rendimiento sostenible, que implica no solo el monitoreo de cantidad de agua capturada sino fomenta:

- infiltrar la recarga rechazada por el modelo de ciudad existente,
- propiciar la recarga artificial limpia,
- reducir la descarga artificial y

Cuando hablamos de sostenibilidad, se refiere a recursos renovables por consiguiente, la sostenibilidad implica la capacidad de renovación del recurso para que pueda perdurar con el tiempo. A nivel urbanístico, ya en las zonas mencionadas anteriormente, de protección, se plantean áreas verdes en las cotas altas, zonas que son consideradas ideales para la recarga del acuífero. Por otro lado, se fomenta el reciclaje del agua en las viviendas e industrias a través de la captación de agua de lluvia para actividades que no requieren del uso de agua potable. Así también, se plantea un medidor de desagüe cloacal y pluvial en donde el usuario debe abonar un monto por metro cubico desagotado. De esta manera se incentiva a las personas a efectivizar el uso del agua.

Muchas de las estrategias planteadas necesitan del acompañamiento de alguna entidad gubernamental que ayude a implementar no solo las leyes existentes sino también que sean capaces de compaginar los intereses de los distintos actores involucrados y que favorezcan la sostenibilidad de este recurso hídrico tan importante para el futuro de las ciudades dentro del área metropolitana.

Analizar las relaciones entre los recursos hídricos y la ciudad, resalta la importancia que cumple el rol del arquitecto hoy en día como conciliador entre las urbanizaciones y la naturales. Es fundamental aportar el punto de vista urbanístico y arquitectónico en los procesos de planificación de manera que las soluciones propuestas logren resolver las problemáticas integrando las perspectivas de distintas disciplinas involucradas.

Bibliografía

- “ESTUDIO DE POLÍTICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE ASUNCIÓN.” (ACUÍFERO PATIÑO). Roger Monte Domecq – Julián Báez. Cooperación técnica ATN/JC 8228 – PR – SENASA – BID. 2007.
- “Mapeo de la Vulnerabilidad y Riesgo de Contaminación del Agua subterránea del Gran Asunción”. Facultad Politécnica. Universidad Nacional de Asunción. Liz Báez L. Cynthia Villalba. Juan Pablo Nogues. 2014.
- Mapa geológico del Paraguay esc 1:000:000. Gobernación de la República de Paraguay. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Cooperación internacional del Japón (JICA). ASUNCIÓN – 2005.
- Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Banco Mundial. 1995.
- EARTH'S DYNAMIC SYSTEMS. W. Kenneth Hamblin – Eric H.Christiansen. 2001.
- URBAN WATER CYCLE PROCESSES AND INTERACTIONS. Jiri Marsalek, Blanca Jiménez Cisneros, Mohammad Karamouz, Per arne Malmquist, Joel Goldenfum, Bernard Chocat. UNESCO. 2008.
- Introducción a la Hidrología. Pedrazzi. Aumento de la Oferta Hídrica.
- El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) y el Centro para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos en los Estados Insulares del Caribe (CEHICA) M.Sc. Carlos Gutiérrez Ojeda.
- Perlman, Howard. "The World's Watwe." USGS. Science for a Changing World. 02 May 2016. Web. 6 May 2016. <<http://water.usgs.gov/edu/>>.
- Sanchez San Roman, Javier. "Conceptos Fundamentales De Hidrogeología." Universidad De Salamanca, Sept.-Oct. 2013. PDF.

- Monte Domecq, Roger. Usos Y Gobernabilidad Del Agua En El Paraguay. Asuncion: PNUD, 2006. Print.

Anexo

Tabla 6.

Tabla 11: Consumo consuntivo de agua en cultivos – Área del Patiño

Item	Rubro	Superficie (ha)	Producción (Ton)	Ciclo del cultivo	Consumo en el ciclo (1)	
					mm	Hm3
1	Ajo	2.00				
2	Algodón	1850.00		160 días - 6 meses	700	12.95
3	Arroz con riego	540.00	1600	150 días - 5 meses	700	3.78
4	Arveja	190.00	190			0
5	Batata	1100.00	7820			0
6	Caña de Azúcar	4230.00	200.000	365 días - 1 año	1500	63.45
7	Frutilla	120.00	1254			0
8	Locote	100.00	1800			0
9	Maíz	2180.00	2200	140 días - 4 meses	800	17.44
10	Poroto	1430.00	1000	120 días - 4 meses	500	7.15
11	Tomate	280.00	1360	140 días - 4 meses	600	1.68
12	Banano	100.00	700	1 año	1500	1.5
13	Limonero	100.00	1800	1 año	1200	1.2
14	Mandarina	260.00	1400	1 año	1200	3.12
15	Naranja	160.00	1460	1 año	1200	1.92
	Total	12642.00			9900	114.19
					asumiendo f 1,3*	148.447
					** con F=1,5	222.6705

(1) IAN Mag

F= coeficiente de mayoración del consumo por sub registros la superficie cultivada, 126,42 Km², corresponde a menos del 11 % de la superficie total del Patiño.

* ajuste para cultivos sin datos del ciclo vegetativo

** Factor de subregistro = aumentar 50% = 1,5

Tabla 7.

Tabla 10: Superficie cultivada en el área del Patiño

Ítem	Rubro	Superficie (ha)	Producción (Ton)
1	Ajo	2	
2	Algodón	1850	1400
3	Arroz con riego	540	1600
4	Arveja	190	190
5	Batata	1100	7820
6	Caña de Azúcar	4230	200.000
7	Frutilla	120	1254
8	Locote	100	1800
9	Maíz	2180	2200
10	Poroto	1430	1000
11	Tomate	280	1360
12	Banano	100	700
13	Limonero	100	1800
14	Mandarina	260	1400
15	Naranja	160	1460

Fuente: Datos de superficie cultivada y producción en Toneladas en el Dpto. Central. Dirección de Censos y Estadísticas Agropecuarias del MAG, censo 2004-2005

Tabla 8
2.3.2 SUPERFICIE DE CULTIVOS TEMPORALES (hectáreas), SEGÚN AÑO Y DEPARTAMENTO. PERIODO 2000-2007

Departamento	Cultivos Temporales									
	Ajo	Algodón	Arroz con riego	Arroz seco	Arveja	Batata	Caña de azúcar	Cebolla de cabeza	Frutilla	Girasol
AÑO 2000	514	194.760	26.252	4.948	3.569	10.926	59.450	2.164	186	70.800
Concepción	2	10.000	-	70	30	2.400	1.700	70	2	350
San Pedro	10	31.503	-	-	220	825	3.000	90	1	8.500
Cordillera	3	650	950	7	520	80	4.900	9	22	-
Guairá	15	6.700	72	30	150	250	22.000	45	2	2.500
Caaguazú	37	44.680	400	200	500	1.500	7.000	600	15	4.120
Caazapá	81	16.826	5.500	290	350	510	2.800	590	10	4.830
Itapúa	300	28.036	7.500	700	800	720	850	360	9	15.000
Misiones	9	5.800	9.500	60	120	162	1.000	31	4	-
Paraguarí	6	9.062	1.750	13	217	1.064	6.000	110	20	-
Alto Paraná	7	18.000	-	578	210	310	900	112	10	25.000
Central	2	950	400	-	220	404	5.000	5	80	-
Ñeembucú	23	4.800	-	-	80	1.000	200	57	-	-
Amambay	3	193	100	1.000	70	250	900	25	3	4.000
Canindeyú	15	13.260	80	2.000	80	600	2.100	50	1	6.500
Pdte. Hayes	-	1.500	-	-	-	700	1.100	5	7	-
Boquerón	1	1.800	-	-	2	150	-	5	-	-
Alto Paraguay	-	1.000	-	-	-	1	-	-	-	-