



**INFORME DIAGNÓSTICO, ZONIFICACIÓN, BASE PARA LA
METODOLOGÍA DE TRABAJO Y RECOMENDACIONES PARA
LA PRIORIZACIÓN EN LA COMPONENTE DE RECURSOS
HÍDRICOS DEL PROGRAMA IPGARAMSS**

(Febrero 2006)



José María Polo Trujillo.



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial los aportes y apoyo de mis compañeros Cristina Solana, Jesús Barrio, Pilar Montero y Carolina Torrecilla de Geólogos del Mundo, así como a Antonio Arenas, director del SNET, por su colaboración en la creación del marco lógico de parte del análisis.

No puedo dejar de mencionar a Fredy Magaña a Alexander Chávez, técnicos de la OPAMSS, y a Mario Guevara, Adriana Erazo y Ana Deysi López, técnicos y directora del servicio hidrológico nacional de SNET, por su facilitación para el acceso y recopilación de información. En este mismo sentido, he de agradecer también a Silvia de Larios, de PRISMA, y a los técnicos municipales asignados al programa, especialmente a los de Nejapa.

Agradezco también al resto de los técnicos de OPAMSS que dispusieron de su tiempo para facilitar los procesos de recopilación y sistematización de información.

La edición del trabajo estuvo a cargo de Marielos Gallardo Aguirre, a quien también agradezco sus aportes y consejos en este sentido, en colaboración con el resto de los integrantes del equipo del programa IPGARAMSS de Geólogos del Mundo.

Por último, no puedo olvidarme de los aportes que resultaron de la cooperación que nos brindó FORGAES para la realización de foros de capacitación y creación de documentos de sistematización, divulgación y análisis del marco legal general de medio ambiente, sin los cuales no hubiese sido posible la recopilación de parte de la información y en los que se basó parte del marco conceptual en que se inscribe este informe.



ACRÓNIMOS:

AMSS:	Área Metropolitana de San Salvador.
ANDA:	Asociación Nacional De Acueductos y Alcantarillados.
CEPRHI:	Comisión Ejecutiva para la Protección de los Recursos Hídricos
COSUDE:	Cooperación Suiza para el desarrollo.
CYTED:	Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
DIGESTYC:	Dirección General de Estadísticas y Censos.
FUNDE:	Fundación Nacional para el Desarrollo.
FORGAES:	Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador.
IPGARAMSS:	Integración Participativa de la Gestión Ambiental y de Riesgos en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial en el AMSS.
MARN:	Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.
MOP:	Ministerio de Obras Públicas.
ONG's:	Organizaciones No Gubernamentales.
OPAMSS:	Oficina de Planificación del AMSS.
PRISMA:	Programa Salvadoreño de Investigación sobre el Desarrollo y Medio Ambiente.
SNET:	Servicio Nacional de Estudios Territoriales.
UNES:	Unidad Ecológica Salvadoreña.
VMVDU:	Viceministerio de Vivienda y Desarrollo urbano.

ÍNDICES

ÍNDICE DE CAPITULOS.

INTRODUCCIÓN.....	1
“DE LA SITUACIÓN DEL AGUA EN EL SALVADOR Y EN SAN SALVADOR”	1
“DE LOS OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS DEL DIAGNÓSTICO.”	2
“DE LAS LIMITANTES ENCONTRADAS PARA LA ELABORACIÓN DEL DIAGNÓSTICO”	3
“DE LA METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO”	5
ANTECEDENTES	6
“DE LOS DIAGNÓSTICOS PREVIOS”	6
“DE LA EVOLUCIÓN DEL PROGRAMA IPGARAMSS HASTA LA REALIZACIÓN DE ESTE DIAGNÓSTICO”	10
DIAGNÓSTICO	12
SITUACIÓN TERRITORIAL.....	13
<i>Recurso Hídrico Superficial.</i>	15
<i>Recurso Hídrico Subterráneo.</i>	22
<i>Balance Hídrico y Recarga acuífera</i>	35
<i>Vulnerabilidad acuífera.</i>	40
PRESIONES SOBRE EL RECURSO.....	41
<i>Afecciones al volumen de oferta.</i>	45
<i>Afecciones a la calidad de la oferta.</i>	47
<i>Afecciones al volumen de demanda.</i>	51
<i>Afecciones a la calidad de la demanda.</i>	53
CONCLUSIONES.....	55
<i>Conclusiones Generales:</i>	55
<i>Zonificación del Territorio.</i>	62
RECOMENDACIONES.....	66
<i>Recomendaciones generales.</i>	66
<i>Recomendaciones sobre la zonificación.</i>	69
<i>Valoraciones</i>	74
BIBLIOGRAFÍA	77
CARTOGRAFÍA.....	79
BASES DIGITALES UTILIZADAS (PROPORCIONADAS POR OPAMSS)	79
ANEXOS	81
ANEXO I.....	82
MAPAS	82
ANEXO II.....	93
TABLAS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1. PAISAJES NATURALES DE EL SALVADOR	13
TABLA 2. POBLACIÓN MUNICIPIOS DEL AMSS 2005 // FUENTE: DIGESTYC.....	14
TABLA 3. MUNICIPIOS INCLUIDOS EN LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS DEL RÍO LEMPA EN EL AMSS.....	16
TABLA 4. RED DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES DE SNET (RÍO ACELHUATE).....	17
TABLA 5. RED DE CONTROL DE AFORO (CANTIDAD) DEL RÍO ACELHUATE DEL SNET	18
TABLA 6. PROMEDIOS CAUDALES ANUALES EN EL RÍO ACELHUATE (SNET).....	19
TABLA 7. RANGOS DE CALIDAD DE AGUA.	21
TABLA 8. ICA DESPUÉS DE ÉPOCA DE LLUVIAS (FUENTE: SNET)	21
TABLA 9. ICA EN ÉPOCA SECA (FUENTE: SNET)	21
TABLA 10. EXPLOTACIÓN AGUAS ANDA POR REGIONES.	36

TABLA 11. ASPECTOS DE LA PRESIÓN SOBRE EL RECURSO.....	42
TABLA 12. DEMANDA SOCIAL Y EXTRACCIÓN ACTUAL Y PREVISIÓN.....	52
TABLA 13. RELACIONES DE AFECCIÓN DE PROCESOS A ÁMBITOS DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO.....	62
TABLA 14. CUADRO DE ZONIFICACIÓN.	63

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Fig. 1. Plano de situación del AMSS.	13
Fig. 2. Mapa de Recursos de agua superficial.	15
Fig. 3. Cuencas y Subcuencas comprendidas en el AMSS.	15
Fig. 4. Mapa de microcuencas del AMSS.	16
Fig. 5. Red de drenaje superficial natural del AMSS	16
Fig. 6. Puntos de Aforo en el río Acelhuate.	17
Fig. 7. Mapa de variaciones de caudales.	18
Fig. 8. Comparativa de curvas de respuesta frente a lluvias antes de impermeabilizar el suelo y después.	20
Fig. 9. Mapa de escorrentías dominantes de El Salvador.	23
Fig. 10. Mapa Hidrogeológico de El Salvador.	24
Fig. 11. Mapa hidrogeológico sintetizado de El Salvador.	24
Fig. 12. Mapa de Recursos Hídricos Subterráneos Nacional (2002).	24
Fig. 13. Mapa del acuífero de San Salvador.	25
Fig. 14. Acuífero de Guluchapa.	27
Fig. 15. Isopiezas acuífero Nejapa.	28
Fig. 16. Mapa de evolución de las fuentes de suministro del AMSS.	31
Fig. 17. Mapa de cambio de Almacenamiento.	35
Fig. 18. Ocupación Urbana sobre el Acuífero de San Salvador.	37
Fig. 19. Zonificación recarga acuífera.	38
Fig. 20. Mapa de recarga de aguas Subterráneas en el AMSS.	38
Fig. 21. Mapa de vías del AMSS.	44
Fig. 22. Estado AMSS 1998 y proyección 2005 (rojo) y 2015 (azul).	45
Fig. 23. Zonas de Presión urbanística en el AMSS.	47
Fig. 24. Mapa de sismos en el AMSS (1958-2002).	48
Fig. 25. Mapa de usos de Suelo.	50
Fig. 26. Mapa de tendencia de crecimiento de la Región Metropolitana de San Salvador.	53
Fig. 27. Esquema tradicional de ordenamiento territorial en función de cuenca	56
Fig. 28. Mapa de distribución de centros urbanos y densidades de población en El Salvador.	60
Fig. 29. Esquema gráfico Zonificaciones.	65
Foto 1. Vertidos urbanos en cauce de río.	22

INTRODUCCIÓN

I

“De la situación del agua en El Salvador y en San Salvador”

El presente documento forma parte de una serie de diagnósticos temáticos realizados en el marco conceptual del programa IPGARAMSS y el ámbito de trabajo tratado aquí, es el del recurso hídrico en su aspecto territorial y técnico.

Es un hecho innegable que existen problemas en la gestión del recurso hídrico en El Salvador, y el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), no es una excepción.

No conocemos la magnitud, el alcance o la naturaleza exacta de estos problemas, sin embargo, sabemos que existe una crisis que se manifiesta en el AMSS de muchas maneras y afecta directamente a las posibilidades de desarrollo sostenible y a la calidad de vida de las personas.

La degradación cada vez mayor de las aguas disponibles, tanto superficiales como subterráneas; la falta de servicio y la escasa disponibilidad de recurso (al menos de forma regulada), que ha llevado a través de los años a tener que disponer de agua cada vez más lejos de su utilización final y de peor calidad, son las principales evidencias de la existencia de esta crisis y, por tanto, la muestra de una ineficaz política de gestión de los recursos naturales y, en concreto, del recurso Hídrico¹.

Las causas de estos problemas son muy variadas. La casi inexistencia de tratamiento de vertidos de todo tipo (industriales, urbanos, etc.); la proliferación de vertederos incontrolados de desechos sólidos y falta de control sobre los controlados; la inexistencia de mecanismos de control y monitoreo; la falta de regulación de los recursos hídricos; la dificultad para acceder a la información existente (debido a su vez a variadas causas); la desinformación; falta de conciencia sobre los procesos que hacen posible la presencia y uso del agua; la falta de participación social en los mecanismos de gestión; la escasez de estudios especializados; la inoperancia de los organismos e instituciones encargadas de su protección y de su gestión, así como el bajo grado de formación especializada en muchos de los técnicos con responsabilidad en los mencionados procesos de su gestión; la carencia casi total de coordinación institucional para el manejo del territorio; la falta de legislación preventiva; la ineficacia y ambigüedad de muchas de las leyes existentes; la ausencia de

¹ Existe también un serio problema con el mAnexo de las escorrentías, especialmente en las áreas urbanas (a nivel del AMSS). Los problemas en este aspecto se traducen principalmente en inundaciones cada vez más frecuentes y de mayor magnitud. Este problema se enmarca entre la gestión del Recurso Hídrico y la Gestión de Riesgos por Inundación.

Debido a que el programa IPGARAMSS tiene en este problema un eje de trabajo específico, no se ha incluido como uno de los problemas evidentes más, sin embargo, el tratamiento de las escorrentías es un tema que habrá que tener muy presente en los planes de acción para la gestión del recurso hídrico.

recursos y de iniciativas; y la falta de voluntad política, son los principales obstáculos que impiden el correcto desarrollo de una gestión eficiente de un recurso fundamental para la vida y para el desarrollo, como es el caso del agua.

II

“De los objetivos y resultados esperados del diagnóstico.”

Este trabajo se ha realizado en base a los principios rectores de el programa IPGARAMSS y en espera de contribuir, tanto a mejorar el conocimiento de la realidad en torno al recurso hídrico, como a introducir un análisis en su relación con el ordenamiento territorial y la base para una metodología de trabajo en torno a esto.

Objetivo general:

- La finalidad principal de este documento, junto con el resto de diagnósticos temáticos realizados en esta fase del programa, es la facilitación de los procesos de toma de decisiones e implementación de políticas de actuación en pro del equilibrio necesario entre medio-ambiente, sociedad y economía para el desarrollo sostenible, poniendo especial atención en aquellas competencias que recaen mayoritariamente en los gobiernos locales.

Resulta importante señalar que éste no es un documento definitivo y que no se debe tomar como base para la toma de decisiones sin tener en cuenta las temáticas tratadas en el resto de los diagnósticos trabajados para el programa.

Objetivos específicos:

- Cumplir con la planificación realizada para el primer año de trabajo en el marco del programa IPGARAMSS en materia de Gestión del Recurso Hídrico como componente específico de la Gestión Ambiental.

Este objetivo está ligado a la necesidad de contextualizar cualquiera que sea el trabajo a realizar posteriormente.

- Elaborar un documento que de un conocimiento previo general de cual es la situación del territorio en materia del Recurso Hídrico, haciendo especial hincapié en las aguas subterráneas (dado que gran parte de la presión para el abastecimiento en esta área recae sobre ellas). que sirva como base para la elaboración de planes de actuación.

- Evaluar dicha situación conforme a la información conseguida, especialmente en lo que se refiere a las competencias municipales de ordenación del territorio y protección del Recurso Hídrico.
- Llegar a una sectorización preliminar del territorio y determinación de asuntos claves, en función de los datos obtenidos, que nos permitan determinar puntos críticos o de mayor presión.
- Dar recomendaciones en base a la sectorización y priorizar zonas de actuación y actividades a desarrollar.

Resultados:

Se espera llegar a unos resultados acordes con los objetivos específicos:

- Descripción del territorio en función de los principales elementos para la Gestión del recurso hídrico y, especialmente, aquellos aspectos que tienen más relevancia en la ordenación del territorio.
- Evaluación de la situación actual del Recurso Hídrico en el AMSS.
- Zonificación preliminar en función de problemáticas, de distribución en el territorio del recurso hídrico, de la proyección de crecimiento y planes de ordenación territorial.
- Priorización de actuaciones y requerimientos en función de la regionalización y determinación de asuntos clave.

III

“De las limitantes encontradas para la elaboración del diagnóstico”

Para la realización de este informe se han encontrado una serie de limitantes que condicionan significativamente su resultado final. Dichas limitantes son producto de aspectos de toda índole que van, desde la dificultad de acceso a la información hasta la escasa fiabilidad de la información obtenida pasando por las limitaciones que impone la falta de recurso tiempo y humano para realizar las actividades necesarias para el desarrollo del programa IPGARAMSS y que afectan directamente a la dedicación final para este diagnóstico.

A continuación se enumeran las principales limitaciones que se han encontrado para la elaboración de este documento:

- El oscurantismo y el desconocimiento general en torno a la existencia de información.
- El difícil acceso a parte de la información conocida.
- Las dificultades para verificar la información encontrada.
- La baja calidad de la información, especialmente en lo que se refiere a la actualidad de los datos.
- La reducida fiabilidad de los datos de análisis físico-químicos por la inexistencia en el país de laboratorios acreditados por organismos internacionales.
- La aparente falta de información específica. Carencia más notable en materia de aguas subterráneas, y especialmente, a escalas adecuadas para la ordenación y evaluación del territorio a nivel local.

Es importante remarcar aquí, que mucha de la información existente se ha producido a escala nacional, por lo que las apreciaciones locales son muy generales. Este hecho, será muy notable cuando se entre a describir el territorio, en apartados posteriores. Se podrá comprobar además, que la información referente al recurso hídrico subterráneo es aún más general, más escasa y de peor calidad que la del recurso hídrico superficial.

- Falta de apoyo por parte de los técnicos locales, especialmente en lo concerniente a la recopilación y levantamiento de información.
- Imposibilidad de aplazar, ante las anteriores dificultades, la realización del diagnóstico por tiempo indeterminado y necesidad de disponer de éste antes de pasar a la siguiente fase del programa.

Esta limitación es parcial, puesto que no se sacrificará, bajo ningún concepto, una calidad mínima del diagnóstico por cumplir con unos tiempos, ya que de ser así, sólo se conseguiría un documento sin otro uso posible que el meramente ornamental.

- La imposibilidad, hasta ahora, de levantar información nueva para la realización de este diagnóstico (fruto de la falta de recursos y apoyo anteriormente mencionada).

IV

“De la metodología para el diagnóstico”

Para la realización de este diagnóstico se ha realizado un filtrado de información, tanto para la búsqueda como para su utilización. El motivo de realizar este filtrado es, fundamentalmente, ajustarse a los objetivos con que se plantea su desarrollo y facilitar su aplicación en el ámbito de la ordenación del territorio.

Son varias las instituciones que tienen vinculación con el tema de los recursos hídricos, las más significativas en el ámbito del AMSS, como generadoras de información y/o análisis de ésta son:

ANDA	COSUDE	FUNDE
MAG	MARN	ONG´s
PNUD	PRISMA	SNET
UNES		

La información que generan es muy variada, yendo desde la recopilación y análisis de información hasta la generación de estudios técnicos.

Es importante remarcar también que se trata de un documento alusivo a la situación territorial de recurso agua, sin entrar directamente en las causas que han llevado a la situación actual o que la mantienen. No se ha entrado por tanto en aspectos legales, institucionales ni de capacidades, oportunidades ni amenazas, tan sólo se ha tratado de hacer una breve descripción del territorio en función del recurso hídrico, su ubicación espacial, su dinámica, su estado, cuales son las presiones que soporta y donde se sitúan geográfica y temporalmente.

Los documentos consultados y utilizados para ese diagnóstico, se han seleccionado por tanto, en base a que su contenido fuera meramente descriptivo de la situación.

Para la descripción de la distribución geográfica, se han utilizado principalmente mapas, mientras que para el análisis del estado de degradación (en calidad y en cantidad) se han utilizado diversos informes y artículos que, a veces, constituían diagnósticos parciales previos.

ANTECEDENTES

I

“De los diagnósticos previos”

Existe bastante literatura en alusión al estado del Recurso Hídrico en El Salvador y en el AMSS. En muchos de los documentos se abarcan temáticas como la coordinación institucional, el marco legal o la participación ciudadana y la necesidad de descentralización. En este caso se hará alusión a algunos de los que se han podido recopilar y que tratan o incluyen la información territorial o del estado de los recursos hídricos y que han resultado más significativos.

No se ha encontrado ningún documento que englobe explícitamente un diagnóstico territorial y de estado de los recursos hídricos en el AMSS; sin embargo se conocen algunos documentos que hacen análisis diagnósticos parciales, especialmente, como ya se ha mencionado, en lo referente al estado del recurso hídrico. También se ha podido contar con algunos documentos de tipo diagnóstico como se podrá ver más adelante, pero la mayoría de éstos se realizaron a escala nacional.

Existen, entre todos los documentos consultados y referenciados, varios documentos básicos a los que hay que hacer referencia en este apartado², para ello se clasificarán en función de si su ámbito de estudio es nacional, regional o local. Además de los referentes básicos, se mencionarán algunos que se han valorado positivamente como antecedentes de este diagnóstico³:

Ámbito Nacional:

- El PNODT (Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial), realizado por EPYPSA e IBERINSA para el MARN y el MOP y presentado en 2003, se basa en un primer diagnóstico territorial, social y económico a escala nacional.

Este estudio se realizó principalmente por la necesidad de ajustarse a las definiciones de la política nacional de medio ambiente, que señala como objetivo estratégico el ordenamiento territorial “ordenar el espacio físico del país en términos ambientales como condición indispensable para lograr una relación de mutuo respeto entre las actividades de desarrollo, los asentamientos humanos y el manejo sostenible de los recursos naturales”.

² En ningún momento la intención es hacer aquí una bibliografía, sino tan sólo una breve referencia de los documentos más significativos.

³ Entendiendo diagnóstico como una fotografía del momento actual, los documentos diagnósticos meramente territoriales se basan básicamente en la cartografía, por lo que muchos de los mapas que se irán presentando y que se incluyen en los Anexos podrían considerarse diagnósticos territoriales.

Para la realización de este primer diagnóstico general, se analizó una serie de datos territoriales (mapas y estadísticas) que, si bien no sirven para la realización de un diagnóstico de mayor detalle, sirvieron para tener una idea general de la situación territorial a escala nacional y para definir los lineamientos de las políticas de crecimiento y apoyo al desarrollo.

- Entre los antecedentes oficiales encontramos también El informe de evaluación del “Estado de los Recursos Hídricos” de El Salvador, actualizado a marzo de 2001 y publicado por el CYTED, como parte del Acuerdo Marco Interinstitucional y de Ámbito Iberoamericano. Este informe enumera cinco asuntos clave para el desarrollo sostenible de los Recursos Hídricos y los desarrolla brevemente para el ámbito de El Salvador.
- El estudio “Evaluación de Recursos de Agua de la República de El Salvador”, realizado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, publicado en Octubre de 1998, presenta un breve diagnóstico de los Recursos Hídricos, tanto superficiales como subterráneos, en el contexto nacional y da una idea clara de cuales son los principales factores que influyen en la degradación del recurso, tanto a nivel territorial, como legislativo, institucional y político.

Los objetivos principales de este trabajo fueron:

- Proveer a los planificadores militares de los Estados Unidos con información exacta para la planificación de variados ejercicios de asistencia conjunta de entrenamiento militar y de asistencia humanitaria civil tales como las series de “New Horizons” (Nuevos Horizontes).
- Proveer un análisis de los recursos acuáticos existentes en El Salvador e identificar algunas oportunidades disponibles para que el gobierno de El Salvador maximice el uso de estos recursos.
- El PLAMDARH (Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos - 1978/1982-), realizado por el PNUD en colaboración con el gobierno de El Salvador, presenta lo que puede ser el estudio más completo del Recurso Hídrico a escala nacional, sin embargo el informe data de los primeros años de la década de los ochenta (existen tomos con fechas que van desde 1981 hasta 1985), por lo que muchos de los datos que aporta están obsoletos.

El objetivo de este plan fue, sin duda, proveer a El Salvador de una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en pro del uso sostenible de los recursos hídrico y posibilitar así el desarrollo sostenible.

Ámbito regional (AMSS):

- El referente más significativo, dada la orientación del programa hacia la ordenación del territorio, es el diagnóstico incluido en el PLAMADUR AMSSA (Plan Maestro de Desarrollo Urbano del AMSS Ampliada) –Junio 2002- en el que se incluyen, entre otros:
 - Síntesis del diagnóstico general del AMSSA.
 - El POA (Plan de Ordenamiento Ambiental) Agosto 1997 de PLAMADUR.
 - Diagnóstico del estado de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Este plan surge como necesidad de ordenar el fuerte crecimiento que sufre el AMSS como resultado de los procesos de desarrollo económico, la migración desde otros puntos del país al Área Metropolitana y la ineficacia y desactualización de los planes de ordenamiento territorial anterior.

- Aunque no abarcan la totalidad del AMSS, se pueden considerar de ámbito regional, algunos estudios y tesis sobre regiones específicas, que por su extensión, incluyen varios municipios del Área Metropolitana:
 - “Estudio hidrogeológico del acuífero de Guluchapa”. Tesis para optar al grado de magíster scientiae, Universidad Rodrigo Facio (Costa Rica), por el ingeniero José Roberto Duarte Saldaña -1998-.
 - “Actualización del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero metropolitano (San Salvador)”. Tesis para graduación en la facultad de ingeniería y arquitectura de la UCA de Ricardo Dennis Arévalo Romero Baldomero José Vásquez Naranjo -Mayo 2005-.

Estos documentos de tesis suelen venir acompañados del interés de ANDA en tener un mejor conocimiento de los recursos explotables y la mejor localización de captaciones.

- Existen también una serie de documentos de recopilación de información y análisis de la misma que, si bien no siempre se presentan estrictamente como diagnósticos, sí presentan una fotografía del estado actual del Recurso Hídrico o de un ámbito de éste.

Aunque son difícilmente enumerables, existen multitud de informes de tipo diagnóstico incluidos en los boletines de PRISMA. Se incluye aquí, por su especial relevancia y por ser de los pocos que se centran en una zonas del AMSS de forma específica (normalmente los boletines y estudios publicados son de ámbito nacional), como antecedente de diagnóstico y a modo de ejemplo, el boletín “El Acuífero de San Salvador (PRISMA, Septiembre 1994)”, aunque sin duda, muchos otros boletines y artículos han aportado datos relevantes para la realización de este diagnóstico.

Ámbito Local:

Se nombran aquí los estudios locales más relevantes encontrados. Se citan específicamente sólo estudios de Nejapa debido a que este municipio ha tenido un gran interés en conocer sus recursos y tratar de manejarlos de forma sostenible, de forma que es el único que dispone de estudios completos del municipio. Además, Nejapa se sitúa sobre uno de los acuíferos incluidos en el AMSS, por lo que estos estudios son de gran interés para el diagnóstico.

- “Estudio territorial de Nejapa”, realizado por la municipalidad en 2005. Incluye Mapa de Actividades Industriales; Mapa de Urbanizaciones.
- Estudio Hidrogeológico incluido en “Caracterización de los Riesgos Geológicos y Dimensionamiento de los recursos Hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa”, realizado por Geólogos del Mundo -2003-.
- Estudio territorial de Nejapa realizado por UCA-POT en 2002. Incluye Mapa de Zonas de Protección Ambiental; mapa Geológico; Estudio Socioeconómico; planos catastrales.
- “Caracterización de los recursos hídricos del municipio de Nejapa” (por Francesc Bellaubí), incluido en el informe “Ordenamiento territorial de Nejapa” compendio de estudios Farell, Noviembre de 2001. Realizado por Arturo Escalante, Lidia Salamanca, William Marroquín, Saúl Carrillo, Mario Lungo, Carlos Cañas, Francesc Bellaubí, Patricia Fuentes, con apoyo del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- Se conoce la existencia de algunos estudios hidrogeológicos zonales dentro de algunos municipios pero, además de ser muy específicos para el ámbito en el que se enmarca este diagnóstico, no se ha podido disponer de ellos hasta el momento.

No se han mencionado en estos antecedentes algunos diagnósticos relacionados con la protección del recurso hídrico por no constituir esencialmente un diagnóstico territorial o de situación del

recurso, aunque sin duda, están fuertemente ligados y son de gran importancia e interés para arrojar luz sobre las políticas de gestión de los Recursos Hídricos.

II

“De la evolución del programa IPGARAMSS hasta la realización de este diagnóstico”

El día 3 de febrero de 2005 da comienzo oficialmente el proyecto IPGARAMSS. En su primera fase se realizaron todas las actividades necesarias para darle a validación necesaria para su implementación. Dicha validación se realiza por separado en cada una de las catorce municipalidades del AMSS y en la OPAMSS por ser las instituciones que constituyen la contraparte.

Una vez alcanzado un acuerdo de cooperación y seguimiento por parte de la contraparte, durante el mes de julio y las dos últimas semanas de agosto, se comienzan a proyectar una serie de actividades, previamente planificadas, para la puesta en acción del programa.

Como primer paso se impone la necesidad de realizar unas sesiones de formación y talleres que servirían; para que los técnicos asignados se involucren en el programa y crear las empatías necesarias que faciliten la realización de los trabajos conjuntos entre todos los actores involucrados; para asegurar un nivel de conocimiento técnico mínimo (necesario para la implementación del resto del programa.); para conocer cual es la información previa disponible en las alcaldías, necesaria para la realización de los trabajos previstos; y para conseguir de los técnicos una visión global de las dinámicas y les permita identificar aquellos puntos o aspectos de la gestión, en los que se puede actuar bajo los términos de sus competencias institucionales. El resultado fue además, la creación de un plan de acción preliminar, que incluía todas aquellas actividades necesarias para crear los insumos que permitieran la inclusión de la gestión de Recurso Hídrico en los planes de Ordenación Territorial, con el fin de contribuir a la sostenibilidad del Recurso Hídrico a través del correcto uso del territorio, y contribuyendo así, a su vez, al desarrollo sostenible.

La primera actividad consensuada, después de la realización del ya mencionado plan de acción preliminar, es la realización de un diagnóstico de recursos y capacidades de las alcaldías.

Dentro de la planificación técnica, como primer paso, se impuso la necesidad de realizar un diagnóstico territorial que permita sectorizar el territorio según sus características hidrológicas (superficiales y subterráneas), urbanísticas y socioculturales así como según las necesidades de actuación.

Es un hecho que el fin último de la planificación es alcanzar un objetivo. El diagnóstico territorial servirá también para realizar el análisis de necesidades y determinar así cuales son las principales problemáticas que se deben afrontar para alcanzar ese objetivo.

Como consecuencia tanto de la realización del diagnóstico interno de las municipalidades, como de las limitaciones de recursos que *Geólogos del Mundo* tiene para la realización de actividades, se reconoce la necesidad de realizar, en el diagnóstico territorial, una priorización que optimice el esfuerzo invertido y favorezca la consecución de los objetivos principales planteados en el ámbito del programa IPGARAMSS.

Todo proceso necesita de unos indicadores que nos sirvan de control. Es necesario incluir, en algún momento del proceso de planificación estos indicadores, que variarán también en función de los objetivos planteados y que deberán ser útiles para evaluar el avance conseguido.

DIAGNÓSTICO

El diagnóstico previo se ha realizado conforme a la información obtenida en diversos medios y previo a la realización de trabajos técnicos específicos. No existe por tanto, la posibilidad de presentar información nueva generada, sin embargo, sí se ha podido recopilar diversa documentación en base a cartografías y otros estudios realizados a los que se ha podido acceder. También se han elaborado algunos cálculos sencillos, en base a la información disponible, con el fin de poder ofrecer datos que faciliten la interpretación.

En el ámbito del marco legal, se ha podido realizar una consultoría de diagnóstico que, junto con el diagnóstico institucional, serán de gran ayuda tanto a la hora de establecer el plan de acción coherente, como lo será también a la hora de priorizar y coordinar las actividades de éste.

Existen cuatro ejes de trabajo propuestos en base a los cuales se considera imprescindible coordinar esfuerzos para que los objetivos del programa sean alcanzables en un futuro.

- Fortalecimiento técnico.
- Marco legal.
- Coordinación institucional.
- Participación social.

Este diagnóstico se encuadra en el marco del eje de fortalecimiento técnico, aunque tendrá en cuenta, inevitablemente, los otros ejes.

Este documento, por tanto, no debe ser utilizado en la toma de decisiones sin tomar en cuenta y valorar el resto de los diagnósticos, puesto que las decisiones de actuación que se tomen basadas en el conocimiento técnico deben ser compatibles con el marco legal y las capacidades institucionales para asegurar su viabilidad.

En el aspecto técnico se han de tener en cuanto los otros diagnósticos que forman parte de esta fase del programa, especialmente en lo referido a los riesgos por inundaciones, ya que existe una inevitable conexión entre la correcta gestión de los recursos hídricos y este fenómeno.

SITUACIÓN TERRITORIAL

El AMSS se encuentra situado en la zona central de El Salvador, ligeramente al Oeste (entre las coordenadas Lambert Y: 310.838 – 268.849 y X: 497.403 – 456.804)⁴ comprendida a grandes rasgos dentro de los paisajes naturales de la depresión central, una pequeña parte de la cadena volcánica reciente e invadiendo parte de la cadena costera, todos ellos definidos en el Plan Nacional de Ordenamiento Territorial, PNOT (Ver tabla 1).

Paisaje Natural	Porcentaje del territorio nacional	Características GEO-morfológicas
Cordillera fronteriza o Norte	25%	Forma una barrera bastante continua, que es interrumpida por los valles del Lempa y Corola. Tiene paisajes de abruptas serranías, laderas escarpadas y valles estrechos.
Fosa interior	5%	Es la más pequeña y es atravesada por el Lempa y el Desagüe
Cadena interior	26%	En el occidente separa las fosas central e interior. Comprende volcanes inactivos como Guazapa, Siguatepe y Cacahuatique. Se une con la cordillera Norte en las zonas paracentral y oriental.
Fosa central	20%	Atraviesa el país de poniente a oriente en forma de mesetas bajas diseccionadas y valles bastante planos. Está bastante vinculada con la cadena volcánica. Limita al norte con la cadena interior y al sur con la cadena costera; en ambos costados esta limitada por sendos farallones.
Cadena costera	12%	Conforma un grupo de montañas paralelas a la costa. Es un bloque que termina en el mar o debajo de la planicie costera. Tiene 4 plegamientos: Paz/Sierra Tacaba-Apaneca / Sonsonate - Izalco; Sonsonete-Izalco/Cordillera El Bálsamo/Sur de Jayaque; Valle de Jibia/Volcán de San Vicente; y Volcán de San Vicente-Cadena Tecapa.
Llanura costera	12%	Está formada por áreas bastante planas localizadas a orillas del mar. Consta de 4 segmentos: Bocana del Paz-Barra del Maguey, Puerto de La Libertad-Playas de El Espino, El Cuco-Playa de Tamarindo y Golfo de Fonseca.

Tabla 1. Paisajes Naturales de El Salvador

En el ciclo hidrológico, el agua contenida en la tierra es de origen pluvial, lo que quiere decir que la forma de precipitación tiene una fuerte influencia en la forma en la que se encuentra el agua y cuales son sus dinámicas. Así, para las descripciones y análisis que se realiza en los apartados posteriores, se tendrá muy en cuenta que el régimen de lluvias de todo el área de América Central se divide en dos estaciones: Lluviosa (mayo-octubre), con un periodo seco intermedio llamado canícula, que normalmente se da entre Julio y Agosto, y seca (Noviembre - Abril), con periodos cortos de transición entre ambas. En la época de lluvias se produce el 95% de la precipitación anual. Actualmente la precipitación promedio anual oscila entre los 1.300 y los 2.400 mm. Anuales, siendo en la zona del AMSS de unos 1.800 mm. De promedio (Ver Anexo I Mapa de precipitación promedio anual 1971-2001).

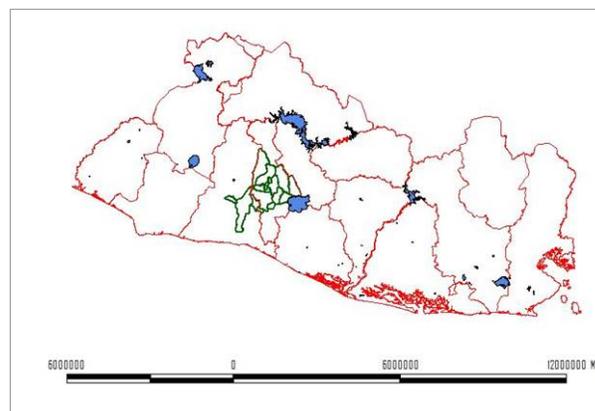


Fig.1. Plano de situación del AMSS

⁴ Coordenadas sacadas del SIG de OPAMSS

Los 14 municipios que lo comprenden (Antiguo Cuscatlán; Apopa; Ayutuxtepeque; Ciudad Delgado; Cuscatancingo; Ilopango; Mejicanos; Nejapa; San Marcos; San Martín; San Salvador; Santa Tecla; Soyapango y Tonacatepeque), abarcan una extensión total de 610,86 Km², una población de 2.272.416 habitantes, en 2005, según datos del DIGESTYC (densidad 3720.02 hab./Km²) y se encuentran distribuidos entre los departamentos de San Salvador y La Libertad, perteneciendo a éste último los municipios de Santa Tecla y Antiguo Cuscatlán (Ver fig.1.).

La población comprendida en esta área y su distribución, será un dato abordado más detenidamente en el apartado dedicado a las presiones sobre el recurso, pero cabe destacar, desde este momento, que esta población no está distribuida de forma homogénea, sino que existe un desequilibrio significativo entre los 14 municipios que la integran en sus densidades poblacionales. La distribución actual de la población diferenciada por municipios, se puede ver en la tabla 2.

MUNICIPIO	POBLACIÓN 2005	SUPERFICIE Km ²	DENSIDAD DEMOGRÁFICA Hab./Km ²
TOTAL	2.272.416	610,86	3720,02
ANTIGUO CUSCATLAN	61.090	19,41	3.147,35
APOPA	211.715	51,84	4.084,01
AYUTUXTEPEQUE	49.034	8,41	5.830,44
CUSCATANCINGO	114.077	5,4	21.125,37
CIUDAD DELGADO	172.570	33,42	5.163,67
ILOPANGO	155.957	34,63	4.503,52
MEJICANOS	209.708	22,12	9.480,47
NEJAPA	35.601	83,36	427,08
SANTA TECLA	192.132	112,2	1.712,41
SAN MARCOS	75.326	14,71	5.120,73
SAN MARTIN	139.463	55,84	2.497,55
SAN SALVADOR	510.367	72,25	7.063,90
SOYAPANGO	297.183	29,72	9.999,43
TONACATEPEQUE	48.193	67,55	713,44

Tabla 2. Población Municipios del AMSS 2005 // Fuente: DIGESTYC

Se abordará a continuación, una descripción de la ubicación de las distintas aguas disponibles en el AMSS, así como de las áreas en función de la recarga acuífera y vulnerabilidad ya que interfieren directamente en la dinámica y evolución de aguas superficiales y subterráneas.

Recurso Hídrico Superficial.

Descripción.

El Salvador presenta una red de drenaje de aguas superficiales y una dinámica de las mismas, muy condicionado por su geología y con una fuerte interrelación con la geomorfología. En el mapa de recursos de agua superficial de escala nacional (ver Fig. 2. y Anexo I), se puede observar que las zonas de las cordilleras los cauces tienden a ser rápidos y con caudales bajos a moderados, muchas veces estacionales, mientras que en las zonas de depresión se sitúan los cauces permanentes y de mayores caudales. Resulta significativo, además, que en el Área de diagnóstico existen grandes cantidades de aguas salobres o salinas por la presencia del lago de Ilopango y cauces, como el del río las cañas, que presentan caudales muy altos durante los periodos de lluvias, motivado por la confluencia de una gran cantidad de afluentes de funcionamiento estacionario, pero que en los meses con menos lluvias pierden gran parte de su caudal.

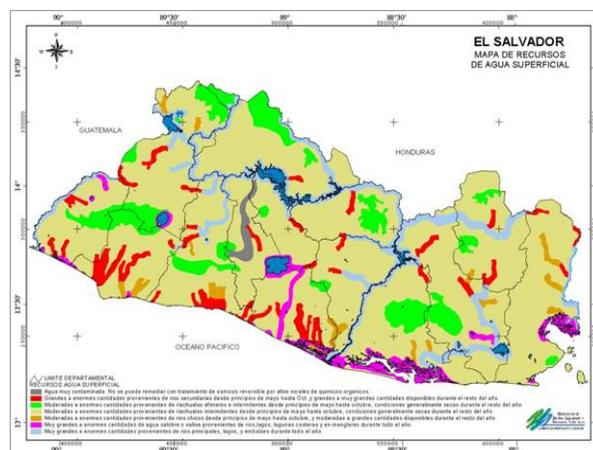


Fig.2. Mapa de Recursos de agua superficial // Fuente: SNET

Los límites administrativos del AMSS, se encuentran situados dentro de varias cuencas (ver Fig.3.). La cuenca que mayor superficie abarca dentro del área metropolitana es la del río Lempa, concretamente Las subcuencas del río Acelhuate, la más importante (415,64 Km² de ésta), del río Sucio (39,77 Km² de ésta) y del río Quezalapa (17,36 Km² de ésta). Además incluye parte de la cuenca del río Jiboa-lago de Ilopango (40,85 Km² de ésta); cuenca del río Bocana Toluca (13,45 Km² de ésta);cuenca del río El Jute (5,09 Km² de ésta); cuenca del río Chilama (50,10 Km² de ésta);

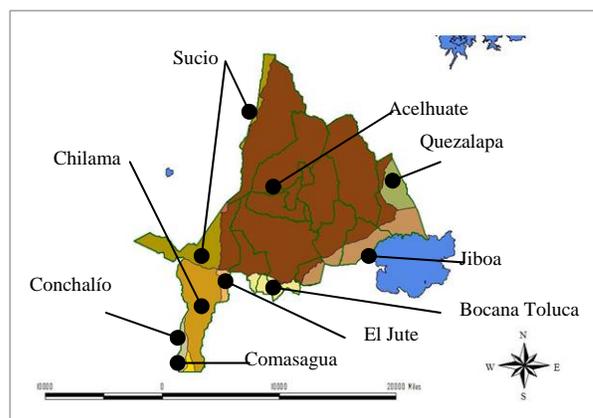


Fig.3. Cuencas y Subcuencas comprendidas en el AMSS

Cuenca del río Comasagua (6,13 Km² de ésta) y cuenca del río Conchalío (2,31 Km² de ésta)⁵.

Los municipios se sitúan dentro de las cuencas según se muestra en la tabla 3.

Cuenca	Municipios
Río Sucio (Lempa)	Nejapa / Santa Tecla
Río Acelhuate (Lempa)	Nejapa / Apopa / Tonacatepeque / San Martín / Ilopango / Soyapango / San Marcos / San Salvador / Antiguo Cuscatlan / Santa Tecla / Mejicanos / Ciudad Delgado / Ayutuxtepeque / Cuscatancingo.
Río Quezalapa (Lempa)	San Martín
Río Jiboa	San Martín / Ilopango / Soyapango / San Marcos.
Río Bocana Toluca	Antiguo Cuscatlan / San Marcos / San Salvador
Río El Jute	Santa Tecla
Río Chilama	Santa Tecla
Río Conchalío	Santa Tecla
Río Comasagua	Santa Tecla

Tabla 3. Municipios incluidos en las cuencas y subcuencas del río Lempa en el AMSS

No se considera necesario llevar esta descripción territorial a nivel de microcuenca, ya que a la escala a la que estamos trabajando resulta demasiado detallada. En cualquier caso, existe la información hasta este nivel y se cabe señalar que hay 82 microcuencas⁶ comprendidas total o parcialmente en el territorio del Área Metropolitana, las cuales se pueden observar en la Fig.4.

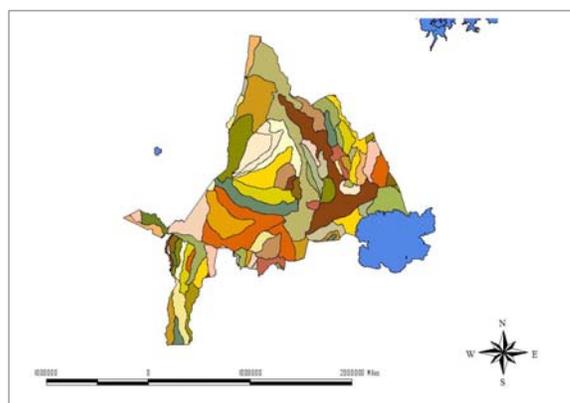


Fig.4. Mapa de microcuencas del AMSS

La red natural de drenaje de aguas superficiales, es de alta densidad debido a que la región se sitúa en las cabeceras de todas las cuencas anteriormente mencionadas (ver Fig.5.).

En las imágenes de las figuras 4 y 5, se puede distinguir más nítidamente, una primera sectorización en función de la densidad de la red de drenaje y la dirección dominante de ésta. Así, se puede apreciar que la parte centro y norte del territorio, drena sus aguas hacia el Norte, mientras que la región Sur lo hace en sentido contrario. Además, como cabe esperar, existe una red mucho más densa, y de

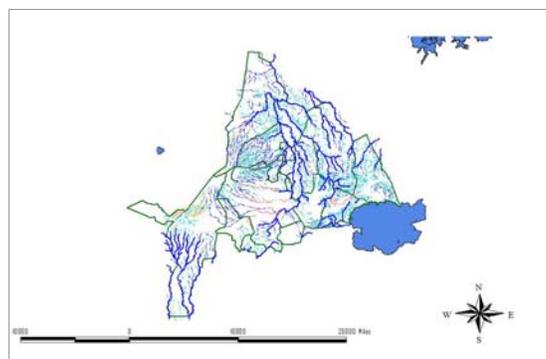


Fig.5. Red de drenaje superficial natural del AMSS

⁵ Datos sacados de los planos digitales de OPAMSS y SNET

⁶ Dato extraído de los planos del PLAMADUR

direcciones radiales, en el área del Volcán (al Oeste) y, de forma menos marcada, en todas aquellas zonas pertenecientes a elevaciones del terreno (principalmente la zona de cordillera volcánica además del mencionado volcán).

La mayoría de los cauces torrenciales y/o estacionales se dan en zonas de altas pendientes, como las laderas del volcán. Son cauces muy rápidos que no tienen puntas de crecida demasiado grandes. Al llegar a zonas más llanas, estos cauces se van uniendo en otros de mayor envergadura (o rango) que tienden a ser más lentos y con puntas de crecida mayores, aunque hay que tener en cuenta las variaciones en la dinámica de aguas superficiales que se introducen al urbanizar el territorio (aumento de volumen y velocidad de la escorrentía). El análisis de comportamiento de la cuenca en su conjunto, es un requerimiento obligatorio en los análisis de amenaza por inundación y se tratará en los documentos de la componente de riesgos geológicos e hidrometeorológicos.

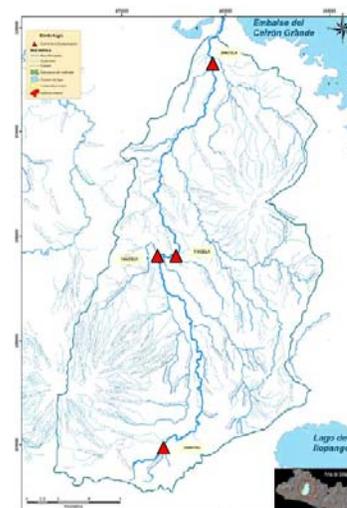


Fig 6. Puntos de Aforo en el río Acelhuate.
Fuente: SNET

Existen, en los cauces permanentes, algunas estaciones de aforo y de control de calidad de aguas. El seguimiento de la calidad del agua se realiza permanentemente en los puntos indicados en la tabla 4. y en la figura 6, pero existen también otros puntos de modelaje de calidad utilizados momentáneamente para la realización de algunos estudios ocasionales. Las referencias de estos puntos no se han incluido en las tablas por no encontrarse en las referencias bibliográficas con datos disponibles.

CODIGO	UBICACIÓN
01 MATAL	Antes de confluencia con Río El Garrobo, contiguo a Parque Saburo Hirao
14 ACELH	Antes de confluencia con Río San Antonio en Apopa
17 ACELH	Antes de confluencia con Río Guaycume en Apopa
25 ACELH	Carretera Troncal del Norte, Puente El Tule

Tabla 4. Red de control de calidad de aguas superficiales de SNET (Río Acelhuate)

Los puntos de control de aforo que tienen seguimiento en la actualidad están indicados en la tabla 5 (ver también la figura 6. y el Anexo I). Se puede apreciar que actualmente sólo existe un punto de control pero su situación es significativa por encontrarse justo a la salida de río Acelhuate del Área Metropolitana.

No.	CODIGO	RIO	ESTACION	UBICACION		TIPO DE ESTACION	SISTEMA DE
				Lat. N.	Long. O.		
17	46-06-02	Acelhuate	Guazapa	13° 53' 0.8"	89° 11' 47.8"	Automática	NO
26	38-01-01	Jiboa	Puente Viejo	13°30'57.4"	88°59'17.4"	Telemétrica	RIO JIBOA

Tabla 5. Red de control de aforo (cantidad) del río Acelhuate del SNET

El punto de control del río Jiboa, se marca en color gris por estar alejado y situado fuera de los límites de AMSS, tan sólo se ha señalado por ser el único punto de control conocido en esta cuenca con cabecera en el Área Metropolitana.

Los datos de crecidas y caudales punta, no se abordarán aquí por considerarse parte del estudio específico de inundaciones.

El Monitoreo es llevado a cabo por parte del SNET de forma continua desde 2002, es decir, prácticamente desde su creación en Octubre de 2001, pero existen datos históricos a los que también se puede acceder a través de esta institución por estar recolectados y analizados en ella para la elaboración de estudios técnicos.

Estado.

Para definir el estado de las aguas superficiales se dividirá el diagnóstico en los componentes de Cantidad y Calidad.

Cantidad.

El SNET realiza un seguimiento de los niveles de agua de los principales cauces y cuerpos de agua, a escala nacional, a través de mediciones en puntos de aforo. En el AMSS, los puntos de control se reducen a tan sólo uno en el río Acelhuate, tal y como ya se pudo ver en la tabla 5

Los datos recogidos en esta estación arrojan un dato, “a priori”, sorprendente. El caudal base del río Acelhuate es el único de los cauces nacionales controlados, que ha aumentado su caudal (en casi un 30%). tal y como se puede observar en la fig 7 y en el Anexo I (en color verde se marcan los cauces que han aumentado su caudal entre 0 y 35% en las últimas dos décadas).

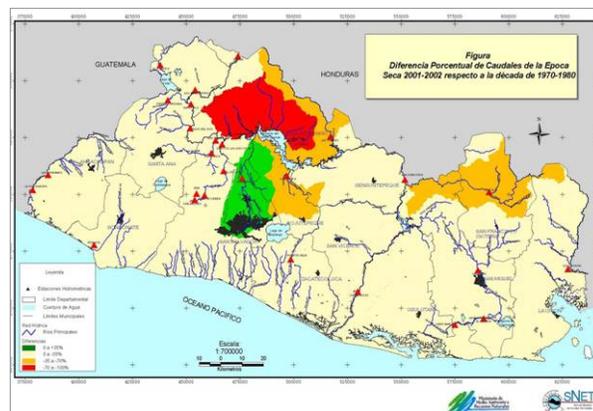


Fig.7. Mapa de variaciones de caudales.

En la tabla 6. Se dan los promedios de los caudales anuales tomados en la estación de Guazapa para la época de lluvias, la época seca y anual. Resulta significativo que el caudal promedio en época de lluvias es casi un 250% mayor que la de la época seca, ya que la diferencia entre ambos caudales implica un bajo poder de regulación natural del cauce y, por lo general, una baja conexión con los sistemas de aguas subterráneas (parte importante de la regulación natural de escorrentías en periodos anuales).

ÉPOCA	CAUDAL PROMEDIO
SECA	3,42 m ³ /sg.
LLUVIAS	8,40 m ³ /sg.
ANUAL	5,44 m ³ /sg.

Tabla 6. Promedios caudales anuales en el río Acelhuate (SNET)

La alta producción de aguas fecales, químicas y radioactivas que de forma cruda con cero tratamiento es lanzado por ANDA e industrias a los Ríos en todo el Territorio Nacional, de las cuales, Según algunas fuentes, el AMSS produce 130 millones de metros cúbicos anuales que son lanzados al río Acelhuate. De otro lado, si se asume que la práctica totalidad del agua de consumo doméstico acaba en las redes de saneamiento, un consumo de 125 litros por habitante y día⁷, y una población de unos 2.300.000 habitantes., el resultado es de unos 105 millones de metros cúbicos anuales. Calculando un mínimo del 80% de retorno a la red de saneamiento (por pérdidas de Evapotranspiración en riego de jardines, entre otros motivos), el volumen sería de 84 millones de metros cúbicos, a los que habría que añadir algunos vertidos industriales con dotaciones no consideradas en las estimaciones de consumo urbano.

Por otro lado, según los datos manejados por ANDA, se estima que el caudal total con el que se llega a suministrar al AMSS es de unos 4,5 m³/sg.⁸, lo que implicaría un volumen total anual de casi 142 millones de metros cúbicos anuales. Aplicando una reducción del 20%, que pueda no llegar a las redes de alcantarillado y saneamiento, significaría un total de unos 113.500.000 m³ anuales.

El hecho de que las alteraciones producidas al medio natural en el AMSS sean detonantes del efecto contrario (deforestación e impermeabilización de la superficie del terreno principalmente), unido a la falta de otra posible explicación alternativa, señalan que el volumen de vertidos es la única explicación, y prácticamente segura, de dicho incremento de caudal base.

Atendiendo a los datos de caudal medio anual del Acelhuate, mencionados en la tabla 6., el volumen total de agua que drena el dicho río a su paso por la estación de Guazapa, es de unos 171,5

⁷ Dotación muy baja para un área metropolitana. El valor lógico sería en torno a unos 250 l/hab./día (que es el manejado por ANDA).

⁸ Datos de 2002.// Fuente: Ponencia "Potencial para el abastecimiento de agua de la cuenca del río Sucio" por WESA-2002-

millones de metros cúbicos, lo que supondría que entre el 76% y el 49% del aforo pertenece a vertidos al cauce. Por otra parte, atendiendo al dato de caudal medio en época seca, se obtienen unos 105 millones de metros cúbicos anuales por lo que, en esta época y según estos datos, el agua transportada por el río Acelhuate, a su paso por el AMSS, es únicamente debido a los vertidos de aguas servidas o, en el mejor de los casos, el 80% de ésta.

A pesar de que sólo en el mejor de los casos, los datos arrojan la posibilidad de que exista algo de caudal base de origen natural, es probable que así sea, pues se tiene constancia del aporte de manantiales al río San Antonio, en Nejapa, el cual, desemboca en el Acelhuate antes de la estación de Guazapa. Las pérdidas de caudal por evaporación directa no se han podido calcular.

Según el dato que tomemos, la diferencia entre el volumen supuesto de vertidos y el medido para la época seca, puede resultar incluso negativa (menor cauce que vertidos). Esto puede deberse a varios factores como son, el mal dimensionamiento de volumen de vertidos y/o de caudal, o la evaporación e infiltración de una parte del agua transportada por el río.

El volumen de agua no perteneciente a los vertidos puede venir de la conexión con acuíferos⁹, o por escorrentía subsuperficial de las pérdidas en las redes de abastecimiento de ANDA.

El efecto más notable de la impermeabilización de la superficie del terreno en el AMSS, en cuanto al estado del régimen de flujo de los cauces superficiales, se manifiesta viendo la evolución de las curvas de caudal ante eventos lluviosos (fig. 8). Se aprecia que la respuesta es mucho más rápida y la crecida mucho mayor. La deforestación tiene el mismo efecto por perderse el poder de retención de agua del conjunto suelo-vegetación y por el efecto impermeabilizante que tiene el apelmazamiento de los suelos sin cobertura vegetal.

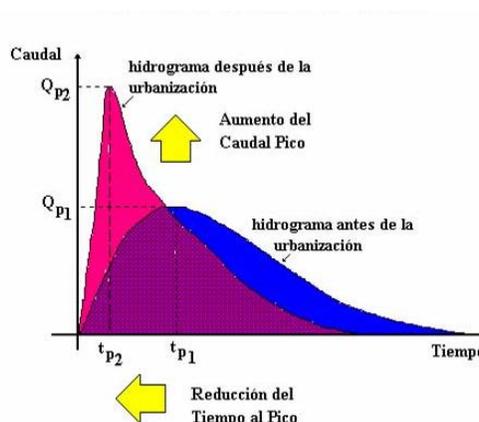


Fig. 8. Comparativa de curvas de respuesta frente a lluvias antes de impermeabilizar el suelo y después. Fuente SNET

La deforestación de suelos naturales (principalmente por el cambio de uso de suelo y la consiguiente pavimentación de zonas urbanas) y la impermeabilización, tienen efectos sobre todos los procesos implicados en el ciclo hidrológico, afectando a la calidad y cantidad de aguas superficiales y

⁹ Sería en poca cantidad dado que en la mayoría de los puntos la profundidad del nivel piezométrico lo impediría y dado que el acuífero se clasifica como semiconfinado en casi toda su extensión, las conexiones serían muy difíciles y los volúmenes de aguas cedidos muy pequeños.

subterráneas. Es por este motivo por lo que se valoran como factores de presión sobre el recurso y será tratado más detenidamente en el apartado dedicado a presiones sobre el recurso.

Calidad.

La calidad de los cauces es monitoreada también por el SNET en los puntos ya especificados en la tabla 4. La valoración de la calidad del agua se hace conforme a los criterios ICA (Índice de Calidad de Agua), que toma en cuenta los siguientes parámetros: Oxígeno disuelto; coniformes fecales; pH; demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días; nitrógeno de nitratos; fósforo de fosfatos; incremento de la temperatura; turbidez y sólidos totales.

El resultado es un valor entre cero y cien y se expresa según se presenta en la tabla 7.

Calidad de agua	Valor
Excelente	91 a 100
Buena	71 a 90
Regular	51 a 70
Mala	26 a 50
Pésima	0 a 25

Tabla 7. Rangos de calidad de agua.

Se debe tener en cuenta que este índice de calidad no toma en cuenta parámetros como metales pesados, hidrocarburos, pesticidas ni otros tipos de compuestos contaminantes resultado, principalmente, de las actividades agrícolas e industriales, por lo que se muestra sólo como un indicador muy general y de fácil manejo.

Los últimos resultados obtenidos a partir de los análisis de los parámetros que definen el ICA, muestran una calidad del agua pésima en todos los puntos de control tal y como se puede observar en las tablas 8 y 9.

AÑO	Río Matalapa (Nacimiento)	Río Acelhuate (Apopa)	Río Acelhuate (Delante de Apopa)	Río Acelhuate (desembocadura)
2002	7	7	7	9
2003	43	38	38	39
2004	20	20	30	28

Tabla 8. ICA después de época de lluvias (Fuente: SNET)

AÑO	Río Matalapa (Nacimiento)	Río Acelhuate (Apopa)	Río Acelhuate (Delante de Apopa)	Río Acelhuate (desembocadura)
2002	7	7	7	7
2003	10	12	12	12
2004	30	26	30	30
2005	12	11	5	6

Tabla 9. ICA en época seca (Fuente: SNET)

A pesar de la existencia de algunas mejoras momentáneas en la calidad del agua, algunas debidas al aumento de caudal consecuencia de las lluvias y otras de las que no se tiene explicación comprobada, el índice ICA no supera valores malos en ningún momento, estando en la mayoría de los casos en valores bajos dentro del rango de calidad pésima.

El principal motivo que ha llevado a este estado de degradación de la calidad de las aguas subterráneas es, sin duda, el enorme volumen de vertidos sin tratamiento que van directamente a los cauces o quebradas del Área Metropolitana y que provienen principalmente de la actividad doméstica (aguas servidas) e industrial desarrollada en este entorno urbano. También toman mucha importancia en la degradación de la calidad del agua la proliferación de botaderos incontrolados en sus cauces o márgenes y los vertidos de zonas industriales.

Los millones de metros cúbicos de vertidos de aguas servidas en el AMSS, van a parar al Rió Acelhuate, después al río Lempa y finalmente al Mar de forma indebida, de forma que el problema de la contaminación vertida al Acelhuate tiene sus efectos a una escala mucho mayor que estrictamente la del Área Metropolitana, contaminando las aguas a gran escala, las cuales también son la causa principal del incremento de las enfermedades gastrointestinales.



Foto 1. Vertidos urbanos en cauce de río

Aunque no se dispone de otros datos oficiales de calidad de aguas superficiales en otros cauces, en visitas realizadas al campo, así como en la consulta bibliográfica, se ha podido comprobar que el estado de limpieza de los cauces es deplorable, lo que también influye directamente en la imposibilidad de tener aguas con un buen índice de calidad.

Recurso Hídrico Subterráneo.

Tal y como se ha especificado en el apartado dedicado a las limitaciones para la realización de este diagnóstico incluido en la introducción, la información disponible sobre aguas subterráneas es muy reducida y muy poco precisa, tanto por las escalas trabajadas como por la fiabilidad de la información disponible¹⁰. A este dato, se debe añadir el hecho de que gran parte de la información existente está restringida a la consulta pública, siendo ANDA la principal institución implicada en este problema. Actualmente se llevan a cabo, desde diferentes instituciones, esfuerzos en pro de abrir

¹⁰ Ensayos de bombeo de muy corta duración; análisis de resultados muy someros, columnas litoestratigráficas mal levantadas e imposibles de verificar, etc.

el acceso a esta información, pero hasta el momento, todos estos esfuerzos han resultado infructuosos, por lo que no se han podido incluir estos datos para la realización de este diagnóstico.

De cualquier forma, se sabe que el recurso hídrico subterráneo está mucho peor caracterizado que el superficial. Existen varios motivos por los que esto es así, pero cabe destacar entre ellos: La dificultad técnica de acceder al recurso hídrico subterráneo; la falta de claridad que existe en las leyes sobre las competencias en torno al control y protección de las aguas subterráneas así como la falta de reglamentos para su ejecución; la falta de recursos tanto económicos como técnicos y logísticos para la realización de campañas de seguimiento y monitoreo; y la inoperatividad de algunos organismos de control.

Descripción.

La descripción posible, basándose en la información bibliográfica y cartográfica disponible, es muy general. Las escalas de trabajo encontradas son en su mayoría muy pequeñas por estar orientadas a nivel nacional además, la información incluida también muy imprecisa y, en ocasiones, de dudosa fiabilidad. Existen algunas cartografías realizadas a escalas algo más grandes y sobre zonas hidrogeológicamente diferenciadas, pero en cualquier caso, estos estudios siguen conteniendo información muy general, las escalas aún son muy pequeñas para su aplicación en la ordenación territorial municipal y no cubren la totalidad del territorio del AMSS.

La primera gran diferenciación realizada a escala nacional es la de zonas de escorrentía de componente superficial dominante y la de escorrentías principalmente subterráneas (ver Fig.9.).

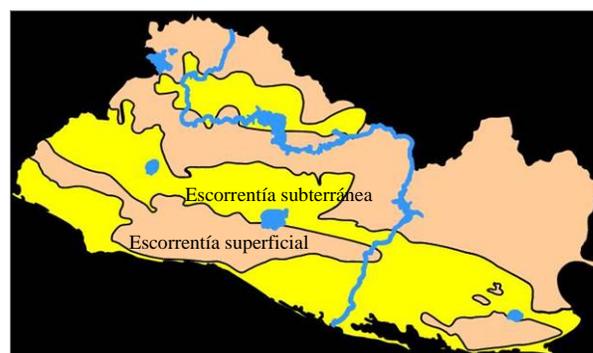


Fig. 9. Mapa de escorrentías dominantes de El Salvador
Fuente: PRISMA, Boletín 44 (2001)

En esta primera aproximación ya se pueden diferenciar dos grandes zonas dentro del AMSS:

La zona Sur, donde la escorrentía dominante es la superficial (y subsuperficial) debido a la impermeabilidad de los materiales que se dan; y la zona Norte, donde la escorrentía subterránea es mucho más importante, es decir, donde se sitúan los principales cuerpos acuíferos.

Las zonas de escorrentía superficial dominante se corresponden generalmente con los materiales volcánicos más antiguos de la formación Bálsamo (tomados generalmente como impermeables)

El mapa hasta ahora analizado es una simplificación de un mapa hidrogeológico nacional, de principales zonas de acuíferos, de 1974 basado en OEA (Fig.10. y Anexo I), donde se pueden distinguir 4 zonas siendo; la más clara, zonas de baja permeabilidad constituidas por materiales volcánicos terciarios (coincidente con las zonas de escorrentía superficial dominante); la anaranjada, zonas que presentan acuíferos en materiales piroclásticos; la marrón, presenta acuíferos en materiales aluviales; y la marrón oscuro, representa zonas con acuíferos en materiales volcánicos cuaternarios. Las tres últimas zonas descritas se corresponderían con la zona de la figura 9., en donde la escorrentía subterránea es la dominante.

Existen otros mapas hidrogeológicos realizados posteriormente que actualizan o incrementan la información de este primer mapa presentado. Así por ejemplo, el MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) dispone de un mapa hidrogeológico que sintetiza tres tipos de acuíferos y una zona de recarga acuífera (zonas en color marrón), del que no se conoce la fecha de creación. Este mapa es una sintetización del anterior (Ver fig 11 y Anexo I), mas impreciso si cabe, pero que introduce el término de “áreas de recarga”, en él, que se puede apreciar que el AMSS se encuentra situado sobre una gran zona clasificada como de recarga, que se extiende ligeramente hacia el Norte, y sobre materiales clasificados como acuíferos piroclásticos.

El mapa hidrogeológico nacional más reciente es el realizado por el Cuerpo de

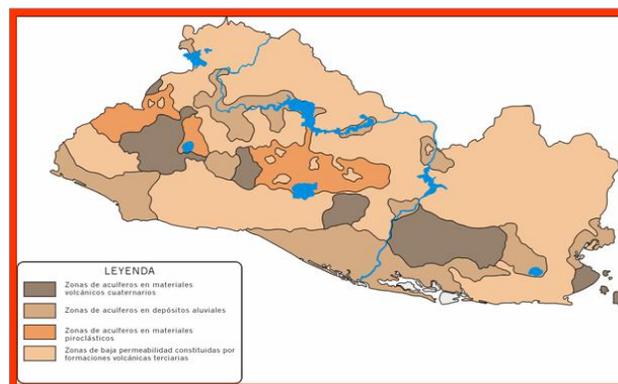


Fig. 10. Mapa Hidrogeológico de El Salvador.// Fuente: PRISMA Boletín 44 (2001)

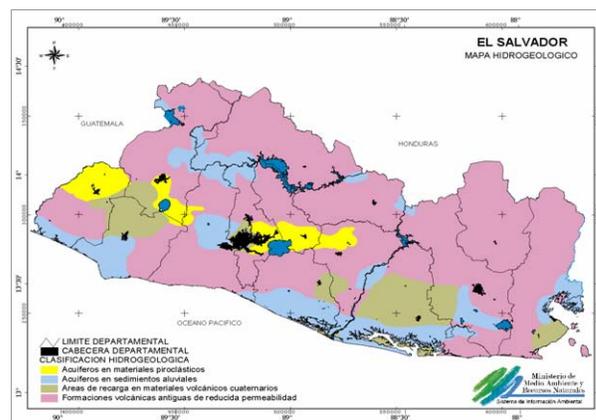


Fig.11. Mapahidrogeológico sintetizado de El Salvador FUENTE: SNET

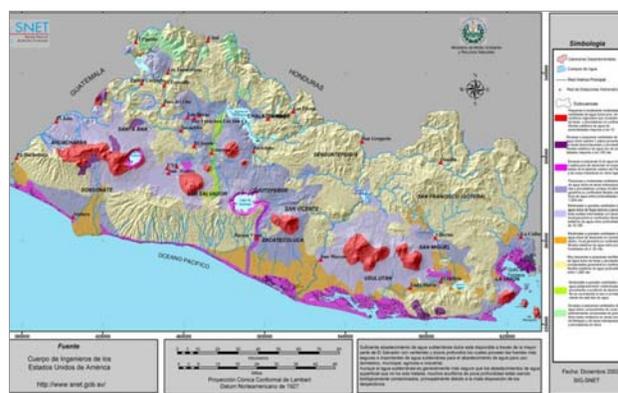


Fig.12. Mapa de Recursos Hídricos Subterráneos Nacional (2002) FUENTE: SNET

Ingenieros de Estados Unidos de América en 2002 para el MARN a través del SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). Este mapa define un poco mejor cuales son las zonas acuíferas, la profundidad media a la que se encuentran y una aproximación cualitativa de los caudales obtenibles (Ver fig 12. y Anexo I).

De estos mapas parece extraerse que los cuerpos acuíferos en el AMSS se encuentran en materiales piroclásticos, sin embargo, la información que se tiene de algunos estudios realizados en la zona, se deduce que son los materiales efusivos (generados por lavas) los que mayor potencial de explotación tienen. Es bastante probable que el acuífero que ocupa el área Metropolitana se configure como un acuífero multicapa formado por la alternancia de niveles efusivos, permeables por fisuración, y niveles piroclásticos con distintos grados de permeabilidad y que en muchas ocasiones constituyen acuitardos.

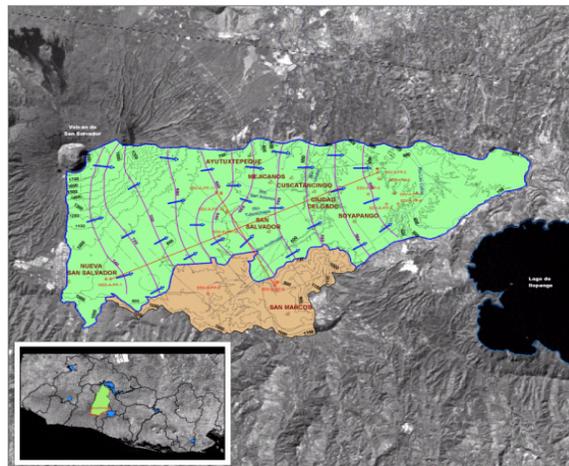


Fig.13. Mapa del acuífero de San Salvador // FUENTE: José Roberto Duarte Saldaña

Estudios más detallados como el del proyecto UCA-FIAS-ANDA-COSUDE, que se puede consultar como la tesis “Actualización del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero metropolitano -San Salvador-” (de Ricardo Dennis Arévalo Romero Baldomero José Vásquez Naranjo -Mayo 2005-), estudian mas detalladamente lo que hoy es definido como el acuífero de San Salvador-Ayutuxtepeque, conocido comúnmente como el acuífero de San Salvador (Ver fig.13 y Anexo I).

Los límites definidos para este acuífero son:

- Al Norte, las elevaciones del Horst El Carmen-Milingo y Mariona, constituidos por rocas pliocénicas que separan el valle de San Salvador de la planicie de El Ángel-Apopa y que forman una barrera geológica negativa por su reducida permeabilidad.
- Al Sur, la cordillera del Bálsamo y el Cerro San Jacinto, también constituido por rocas pliocénicas formando otra barrera geológica negativa por su reducida permeabilidad.
- Al Este el límite oriental de la subcuenca del río Acelhuate y sus afluentes principales.

- Al Oeste el complejo volcánico de San Salvador considerado la principal zona de recarga del acuífero en estudio y coincidente con la divisoria de la cuenca del río Acelhuate y el río Sucio.

Aunque el mapa presentado es extremadamente general y se trabajó a escala 1:100.000, indica una dirección de flujo dominante Oeste-Este, en sentido Este, y no conectado con los principales cursos de agua superficial.

La extensión que este acuífero ocupa es de 184,45 Km² y su dinámica de recarga será comentada más adelante, en el apartado reservado a las áreas de recarga.

El estudio no especifica las zonas en las que el acuífero es confinado, semiconfinado o libre, aunque se estima, por los datos de coeficiente de almacenamiento, que es semiconfinado en gran parte de su extensión. Tampoco es muy fiable la relación que establece con sus márgenes, ya que, en el contacto con la zona clasificada como no acuífera (color salmón), se concluyen las isopiezas como límite impermeable o permeable, sin un criterio aparentemente técnico. De hecho, si se analiza el documento de tesis completo, se puede deducir que posiblemente existe una cesión de agua desde estos materiales de baja permeabilidad por porosidad primaria, hacia el acuífero de San Salvador. Tampoco es preciso en el cierre de isopiezas en la zona Norte ni en el margen oriental de la cartografía, dejando sin solucionar cuales son las salidas naturales que tienen las aguas subterráneas de este acuífero, es decir, si existe conexión con aguas superficiales.

Cuando se compara el área estudiada para evaluar el acuífero de San Salvador con el mapa de recursos hídricos nacional, se observa, que la superficie valorada en el mapa nacional como acuífera es muy superior a la que ocupa el acuífero de San Salvador. Existen pues otras áreas acuíferas en el área metropolitana. Son otros dos los acuíferos que se tienen identificados en el AMSS; el acuífero de Chalchuapa y el de Nejapa-Apopa.

El acuífero de Chalchuapa se sitúa entre el Cerro de San Jacinto y el Lago de Ilopango, lindando al Norte con el acuífero de San Salvador y al Sur con la divisoria de aguas de la subcuenca del río Comalapa (ver fig.14.). Actualmente, este acuífero se encuentra en estudio. La temática principal de este estudio es la posible contaminación inducida por los bombeos intensivos en el acuífero y la consiguiente intrusión de las aguas del lago altamente contaminado. Como se puede observar en la fig.14., este acuífero drena sus aguas hacia el lago de Ilopango, en sentido Este, aunque hay que tener en cuenta que, tal y como plantea la hipótesis de contaminación planteada, es posible que la explotación intensiva de este acuífero esté modificando esta tendencia. Además, de la posición en la

que se han representado las isopiezas, se deduce que el cerro de San Jacinto supone un área de recarga de este acuífero, posiblemente a través de la cesión de aguas subterráneas provenientes de acuíferos someros producidos por fracturación y alteración superficial de los materiales situados en dicho cerro. Dada la representación d las isopiezas, se puede deducir además que no existe cesión a los ríos del área de influencia de acuífero.

En cualquier caso, cabe mencionar que los cierres de isopiezas en los márgenes del acuífero vuelven a ser cuestionables por no estar definidas exactamente como divisoria de aguas ni como límite impermeable en toda su extensión, dejando la duda de cual es la relación existente entre este acuífero y los materiales de sus límites u otros acuíferos colindantes.

Se definieron Transmisividades en cuatro puntos por los métodos de Jacob y Theis y se obtuvieron datos de entre 1024 y 2016 m²/día (valores altos). Los coeficientes de almacenamiento también se calcularon en los mismos puntos y arrojaron valores del orden de 10⁻³ y 10⁻⁴, pertenecientes a estados de semiconfinamiento¹¹.

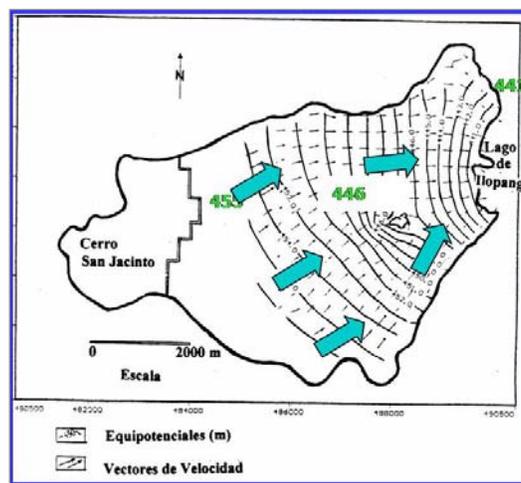


Fig.14. Acuífero de Guluchapa // FUENTE: Tesis Acuífero Guluchapa

El acuífero de Nejapa-Apopa, es el menos estudiado de los acuíferos contenidos en el AMSS (al menos en su totalidad) a pesar de que, una buena parte de población de la región se abastece directamente de éste (en torno al 20% de la población total de Área Metropolitana que se encuentra en los municipios de Apopa, Nejapa y Santa Tecla los cuales son abastecidos, junto con parte de San Salvador, por este acuífero según el artículo “Gestión Ambiental Desde el Municipio: Hacia la definición de un marco legal e institucional. El caso del Municipio de Nejapa” FUNDE, 1996) y de que existe un gran número de explotaciones en este sector.

En el mencionado informe sobre recursos hídricos del municipio de Nejapa, se aprecia que el volcán supone una de las principales áreas de recarga y que el sentido de flujo es coherente con el del acuífero de San salvador, es decir, el volcán actúa como zona de recarga y desde ahí se distribuyen las aguas subterráneas hacia el Norte-Noreste (ver fig.15.). Es de esperar que, a medida que se acerque al

¹¹ FUENTE: Tesis “ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL ACUIFERO DE GULUCHAPA, SAN SALVADOR” de José Roberto Duarte Saldaña -1998-

límite colindante con el acuífero de San Salvador, esta dirección se vaya adecuando a la de este otro acuífero, dejando como límite entre ambos las elevaciones del Horst El Carmen-Milingo y Mariona, constituidos por rocas pliocénicas y que separan el valle de San Salvador de la planicie de El Ángel-Apopa por formar una barrera geológica negativa por su reducida permeabilidad.

No se conoce la relación exacta entre estos dos acuíferos, si bien, es posible que sus límites estén definidos por vertientes de aguas en aquellas zonas donde las formaciones de baja permeabilidad mencionadas en el párrafo anterior, no los separen. Si esta conexión existe, los límites deberían tener cierto dinamismo producido por las variaciones de los niveles freáticos, producidos como consecuencia de las épocas del año y los regímenes de explotación.

Otro dato a tener en cuenta es que, en caso de darse esta conexión, el acuífero de Nejapa podría estar cediendo agua al acuífero de San Salvador o viceversa.

Es importante señalar que ninguno de los estudios consultados del acuífero de Nejapa abarca la totalidad del acuífero, sino que en su mayoría se refieren sólo al entorno del municipio de Nejapa.

El estudio realizado por Geólogos del Mundo sobre los recursos hídricos de Nejapa, como el resto de estudios, y más concretamente en la parte de la hidrogeología, no sólo no constituye un estudio del acuífero completo, sino que, incluso la zona Norte del municipio, por presentar unas características diferentes a las del resto de la zona estudiada, quedó sin concretar correctamente, posibilitando la existencia de un acuífero diferenciado del anterior. Como hipótesis se puede plantear que existe un límite del acuífero en la esta zona, por encontrarse con formaciones de baja permeabilidad, que sólo tienen una limitada capacidad acuífera en zonas fracturadas y alteradas superficialmente. Además, este límite es coincidente con el de la cuenca del río San Antonio, el cual también constituye un posible límite por vertientes.

Por otro lado, los estudios consultados señalan la existencia de dos niveles acuíferos diferenciados, uno más superficial (perteneciente a la formación San Salvador) y otro profundo (de la formación Cuscatlán), de los que no se conocen bien las relaciones entre ambos. Tan sólo es bien

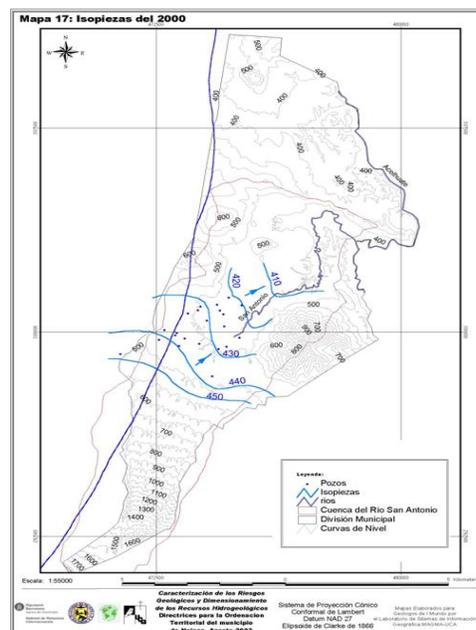


Fig.15. Isopiezas acuífero Nejapa // FUENTE: Geólogos del Mundo (2003)

conocido que la proliferación de pozos de producción, que no hacen diferenciación entre ambos niveles y los ponen en contacto, existiendo una posible pérdida de agua del acuífero superior en pro del inferior.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, el informe resume que Los valores de transmisividad obtenidos no son muy altos en estos pozos. Esto puede deberse a que el espesor del acuífero explotado es bajo, la permeabilidad hidráulica es baja o una mezcla de las dos. Según los datos de bibliografía existen pozos en la zona con valores de transmisividad de 1500 m²/día o más, valor elevado que correspondería a zonas acuíferas de lava fracturada o estratos muy permeables de material piroclástico. Por otro lado, los coeficientes de almacenamiento corresponden, en general, a acuíferos semiconfinados, pero hay que tener en cuenta que el dato es sacado de pozos de producción que explotan los dos niveles acuíferos, por lo que es muy probable que el acuífero superior sea libre en realidad.

Estado.

Al igual que en el apartado dedicado a la descripción del estado de las aguas superficiales, este apartado se dividirá en los campos o apartados de cantidad y calidad.

Cantidad.

La complejidad de los acuíferos multicapa, unida a las grandes variaciones que pueden presentar los acuíferos en materiales volcánicos, por su heterogeneidad, hacen muy difícil la realización incluso de una aproximación del volumen real de almacenamiento de los acuíferos del AMSS. Esto, se une a un importante grado de desconocimiento de la geometría del acuífero en profundidad. La ya varias veces mencionada escasez de datos y fiabilidad de los mismos, constituyen sin duda otra de las grandes limitaciones para esta cuantificación.

Frente a estos inconvenientes y puesto que el principio básico de la sostenibilidad de los recursos hídricos subterráneos es la no extracción de más agua de la que se recarga, existen algunos estudios que tratan de cuantificar la recarga natural¹² que se produce en los sistemas acuíferos. La descripción del territorio en función de sus zonas de recarga se tratará mas adelante en un apartado dedicado exclusivamente a este proceso dada la gran importancia que tiene tanto para la planificación territorial como para el aprovechamiento sostenible del recurso.

¹² Se refiere sólo a la natural por no haber sistemas de recarga artificial o inducida y no incluir los retornos al sistema.

Aún sin conocer la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, el monitoreo de sus niveles arrojan datos significativos sobre su estado.

Según datos referidos en diversos informes, el acuífero del AMSS sufría un descenso promedio de 1 m., aproximadamente, desde 1972 hasta 1992¹³. En 1972 el PNUD, tomó los datos de niveles estáticos para un inventario de puntos (38 pozos en el área metropolitana de San Salvador). En 1992 Coto-Salamanca et. al. Retomar la medidas en 32 de los pozos anteriores y en dos más. De la comparación de datos se extrae que las variaciones entre ambas medidas se mueven en un rango de 0.05 m/año y 1.35 m/año, siendo las zonas de mayores descensos Soyapango y Antiguo Cuscatlán, pero no se puede ver la evolución que han tenido estos descensos (ver Anexo II). La causa de estos descensos es producto de varios factores que vienen a alterar la relación oferta/demanda (aumentando la demanda y disminuyendo la oferta), y que terminan por romper así el principio de sustentabilidad por el que la demanda no puede superar a la oferta.

Los procesos que desembocan en un aumento de la demanda son principalmente, en este caso, el crecimiento poblacional y el aumento de la actividad industrial (especialmente de industrias mojadas¹⁴), mientras que la oferta se ve disminuida por la progresiva disminución de la recarga acuífera fruto de la impermeabilización del suelo, producto de los procesos de urbanización, y consecuencia, a su vez, del aumento de población. En qué medida afecta cada uno de los factores expuestos, sería el resultado de un estudio más exhaustivo, en el que además, habría que investigar el volumen de extracción no conocido por la proliferación de pozos particulares no controlados.

El actual seguimiento de los niveles del acuífero de San Salvador, presentado por el proyecto FIAS para el mapeo hidrogeológico este acuífero, nos indica que esta evolución se ha mitigado e incluso detenido en algunos puntos en los últimos años, llegando a haber zonas donde parece existir cierta recuperación. La explicación más sencilla y más probable para este hecho es la recarga inducida al acuífero a través de las pérdidas de la red de distribución que, según datos de ANDA, se estiman en valores de entre 2 y 3 m³/s. Cabe destacar que entre las zonas donde siguen disminuyendo los niveles piezométricos, la más afectada sigue siendo Soyapango.

El acuífero de Guluchapa sufre fuertes variaciones en función de la época del año, llegando a tener variaciones de entre 2,2 y 6,8 m., pero no se conoce que se produzcan descensos continuados,

¹³ "El acuífero de San Salvador, PRISMA -1994-

¹⁴ Industrias cuyo consumo de agua es muy elevado, generalmente porque el agua es parte de su producto final, es decir es materia prima y no se utiliza sólo para procesos industriales como la refrigeración o el lavado.

aunque, como ya se ha mencionado, actualmente se está estudiando esta posibilidad y la de que el lago este cediendo agua al acuífero (lo que podría estabilizar los descensos).

En lo que al acuífero de Nejapa-Apopa se refiere, del estudio realizado en 2003 por geólogos del Mundo en la zona de Nejapa, se desprende que el acuífero está teniendo descensos continuados desde 1972, y según el balance de masas la explotación es superior a la recarga, por lo que se estaría en régimen de sobreexplotación.

No se conoce la relación existente entre este acuífero y el de San Salvador, situado inmediatamente al Sur y separados, en parte, por una barrera de baja permeabilidad como ya se ha mencionado con anterioridad.

En cualquier caso, es un hecho que, debido al fuerte crecimiento de la demanda en el AMSS y el mencionado descenso de niveles, la institución encargada del abastecimiento (ANDA), se ha visto obligada a ir cada vez más lejos a extraer el agua que ha de servir en el área metropolitana. En la figura 16., se puede observar que durante los años 70, el abastecimiento se mantenía casi exclusivamente con la explotación de pozos en el acuífero de San Salvador. El crecimiento de población y de la demanda, sin incremento de la oferta, obligó a que en los años 80 se empezara a abastecer el Área Metropolitana desde el acuífero de Opico y ya en los años 90 incluso hubo que llegar hasta el río Lempa.

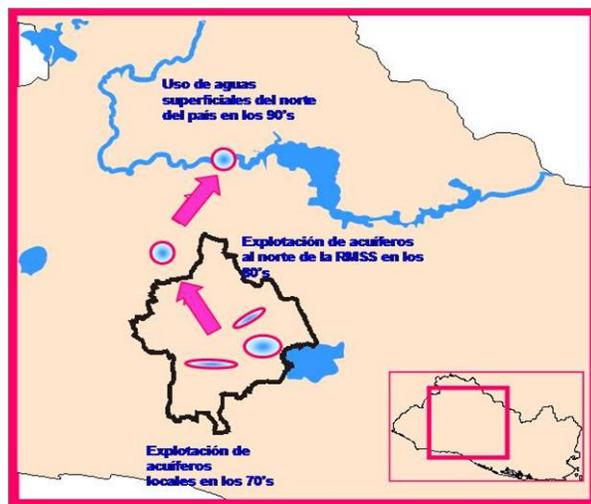


Fig. 16. Mapa de evolución de las fuentes de suministro del AMSS.
FUENTE: PRISMA Boletín 44 (2001)

Actualmente, el SNET ha comenzado una campaña de monitoreo de niveles que, de mantenerse durante los próximos años, arrojará luz sobre la evolución del nivel freático, ya que la sobreexplotación de acuíferos, o cualquier otro tipo de evolución (también la recuperación) ha de determinarse a partir de una secuencia de medidas que marquen una clara tendencia sin influencia de factores, como puede ser el clima y sus ciclos, que la varíen momentáneamente.

Calidad.

La información de calidad de aguas subterráneas presenta multitud de problemas, especialmente en lo que se refiere a la calidad de éstas o a la contaminación. En el caso de las aguas subterráneas del AMSS, nos encontramos una vez más con los problemas de acceso a la información, pero en este caso, no sólo es un problema mayor por ser información con un especial estado de confidencialidad, sino que hay que sumarle la escasísima información existente a este respecto, ya que el seguimiento del estado de contaminación, es muy reciente y, que se sepa, no cubre todos los parámetros necesarios.

Otra consideración a tener en cuenta, es que la información sobre contaminación de aguas subterráneas no siempre es representativa de todas las aguas del acuífero como tal, ya que el agua que se recoge en una captación representa un porcentaje ínfimo de todo el acuífero.

Es por esto, que cuando se habla de contaminación de aguas subterráneas, se puede observar desde dos puntos de vista. Por una parte, la contaminación de origen difuso, es decir, que se da en grandes áreas a la vez (por ejemplo contaminación por fertilizantes en áreas de uso agrícola o por infiltración de aguas negras en núcleos urbanos), en cuyo caso los estudios de contaminación de las aguas subterráneas si son representativos y afectan a grandes áreas del acuífero, y por otra parte, la contaminación de origen puntual (vertidos o inyecciones puntuales de contaminantes al acuífero), en cuyo caso, la contaminación no se produce en todo el acuífero, por lo que no es representativa del estado del acuífero y en un monitoreo ordinario de calidad de aguas subterráneas (en pozos existentes y repartidos en grandes áreas) es difícil de detectar, aunque puede ser de gran importancia por poder producir serias afecciones sobre captaciones de abastecimiento¹⁵.

Es sabido que ANDA, MSPAS y MAG, entre otras instituciones, han llevado a cabo monitoreo en algunos puntos sin embargo, no se ha podido acceder a ellos hasta el momento y se desconoce la continuidad de dicho monitoreo, los puntos en los que se ha llevado a cabo y los análisis realizados.

El SNET empezó en 2005 una campaña de monitoreo de aguas subterráneas proyectada a dos años, pero su finalidad no es definir el estado de contaminación o calidad el agua, sino caracterizar químicamente las aguas, por lo que aún no analiza contaminantes específicos y no dispone aún de datos propios de calidad de aguas subterráneas.

Se ha podido disponer, a través del SNET, de algunos datos dispersos de parámetros para la calidad de aguas subterráneas tomados en 47 pozos del AMSS durante los años setenta y ochenta.

¹⁵ Hay que tener en cuenta además, que existen muchas captaciones privadas o particulares que no son controladas por los organismos de control.

Entre estos análisis se analizó: Color real; Color aparente; pH; Turbiedad; Temperatura; Nitritos; Nitratos; Cloruros; Sulfatos; Boro; Fluoruros; Calcio; Magnesio; Hierro sol; Hierro total; Manganeso sol; Manganeso Total; Dureza Total; Dureza Carbonatos; Alcalinidad; Anhídrido Carbónico; Oxígeno disuelto; Anhídrido Su; Arsénico; DBO 5 20; Nitrógeno total; Sílice total; Sólidos totales; Sólidos disueltos; Volátiles; Coliformes; Conductividad; Cloro res; Sodio; y Potasio.

Los datos registrados no están sistematizados ni tratados bajo un Índice de Calidad de Aguas Subterráneas similar al ICA utilizado para aguas superficiales. Además, los análisis son incompletos, faltos de continuidad, y no cubren, en su mayoría, gran parte del espectro de parámetros mencionados, lo que condiciona mucho las valoraciones posibles, si bien son, al menos, una referencia a tener en cuenta para estudios posteriores.

En cualquier caso, cabe destacar que existen pozos contaminados por coliformes y con valores de nitratos significativos, lo que apunta a que existía ya una incipiente contaminación por pérdidas en los sistemas sanitarios. Existen también algunos pozos con conductividades excesivamente altas, combinadas generalmente con valores de pH ligeramente bajos, que pudieran ser el resultado de infiltración de los lixiviados de botaderos incontrolados.

Los resultados de estos análisis tendrían que ser estudiados con más detalle y sobre su localización en el terreno para su análisis, pero no se conoce la existencia de dicho tipo de estudios integrales.

Es importante recordar que en el entorno de los botaderos, la alta actividad bacteriológica es muy alta y puede acabar con el oxígeno existente en el medio variando las condiciones de alcalinidad y, por tanto, puede aumentar la movilidad de algunos compuestos. Además, algunos procesos anaerobios y algunos compuestos encontrados en los botaderos pueden acidificar el medio y contribuir también a la movilidad de elementos que normalmente no se moverían por estar precipitados.

Existe un estudio de calidad de aguas subterráneas entorno al relleno sanitario de Nejapa¹⁶. Para la determinación de calidad de agua subterránea se realizaron mediciones en 17 pozos de Nejapa y Apopa (de ANDA, comunales y privados). Los parámetros analizados fueron: Coliformes fecales, Coliformes totales, Temperatura, pH, Cloruros, Nitrógeno TKN, Nitrógeno amoniacal, Nitrato, Nitrito, Cromo VI, Cadmio, Plomo, Cobre, Aluminio, Zinc, Níquel, Bario, Cianuro, Sólidos Totales,

¹⁶ “Calidad de los Recursos Hídricos de las cuencas hidrográficas: sucio, acelhuate y cuaya” UCA. 1999

Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales , Sulfatos, Turbidez, Calcio, Hierro, Manganeso, Fluoruros y Boro.

Este informe es el único de que se dispone que presente datos sistematizados, tratados estadísticamente y analizados. El informe obtenido señala:

- Todos los pozos presentan contaminación por bacterias coliformes fecales. Por lo que se califica que el agua cruda no es apta para beber.
- Con respecto al contenido de Hierro, el 100 % de las muestras tampoco es apta para beber debido a que la concentración de hierro es superior a 0.3 mg/L. EL 29% de las muestras excedió el límite para Manganeso.
- Con respecto al contenido de metales pesados, se determinó: el 35 % de las muestras resultaron con valores de Plomo superiores a 0.05 mg/l, el 88 % de las muestras presenta concentraciones de Cadmio mayores a 0.005 mg/l y el 12 % de las muestras tiene concentraciones de Aluminio mayores a 0.2 mg/l.
- El 29% de las muestras de pozo excedieron el valor aceptable para Nitrato. Las concentraciones de Nitrato en los pozos del acuífero Nejapa son mayores a 10 mg/l. Se atribuye a contaminación por fertilizantes nitrogenados o contaminación por materia orgánica, naturaleza séptica.
- Un 23% de las muestras presentó pH menor a 5.0. Los valores de pH correspondientes a los pozos alrededor del relleno sanitario de Nejapa, al sur, cantón Suchinanguito, fueron extremadamente bajos. Los lugareños entrevistados reportaron que el agua les daba comezón y salpullido en la piel. Los valores bajos de pH indican que existe contaminación en el acuífero por los lixiviados del mencionado basurero.

En el documento de Tesis de recurso hídrico subterráneo del municipio de Nejapa, se encuentra una valoración de la calidad de agua en pozos de dicho municipio. En él se concluye, que la calidad hidroquímica encontrada es aceptable en todos los pozos observados, excepto en los pozos superficiales del entorno del botadero, situado en el NE del municipio. Cabe destacar que el informe también indica que los datos hidroquímicos analizados son incompletos y, por tanto, las valoraciones posibles son limitadas. Por otro lado, se señala que la contaminación de origen orgánico es generalizada en toda la zona.

Balance Hídrico y Recarga acuífera

Se han reunido en este apartado ambos aspectos por las peculiaridades del Balance Hídrico presentado por SNET en 2005 ya que, como se verá, el resultado es prácticamente un volumen de recarga.

Balance Hídrico

El balance hídrico, es la principal herramienta para la gestión sostenible del recurso hídrico. El resultado que nos aporta cuando no se dispone de las demandas, es básicamente un dato de recarga de las reservas de agua (en el caso del AMSS, de los acuíferos, por no disponer de embalses).

Ya se ha comentado en varias ocasiones, que la norma básica de aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, es no aumentar la demanda por encima de la oferta y para eso, es preciso conocer cual es esta oferta natural de agua. Una vez obtenido este parámetro debería discriminarse en función de las propiedades físico-químicas y bacteriológicas, con el fin de poder diferenciar la disponibilidad real y hacerlo en función de su uso potencial.

En diciembre de 2005, SNET presenta el balance hídrico nacional de aguas disponibles. Aunque aún no se incluyen parámetros de calidad que definan que cantidad del agua existente es realmente disponible, este balance constituye una primera aproximación, después de más de 20 años.

Según se puede ver en el mapa de cambio de almacenamiento anual (sin demandas), realizado por SNET hasta el año 2005 (ver fig 17 y Anexo I), el AMSS se encuentra en una zona con variación positiva en el almacenamiento, que va desde los 300 mm. Hasta los 600 mm. Dado que el Balance se ha realizado a escala nacional no se puede precisar cual es la oferta total que presenta en Área Metropolitana, pero de forma aproximada, la media aritmética¹⁷ de variación en el almacenamiento es de entre 450 y 400 mm., lo que supone, por los 610,86 Km² de superficie, que hay un total aproximado de entre 274.877.000 y 244.000.000 m³/año

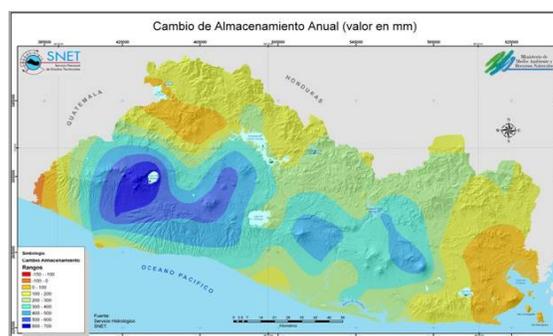


Fig17. Mapa de cambio de Almacenamiento // Fuente: SNET (2005)

¹⁷ Este es el más sencillo e inexacto de los métodos, pues no pondera por la superficie de cada zona, pero, para una primera aproximación y viendo la distribución de zonas presentadas en el mapa, resulta suficiente. Fuente: Ponencia "La Gestión de Agua en El Salvador: Riesgos y Sostenibilidad" de José Roberto Duarte Saldaña, M. Sc.

de oferta de agua anual. Sin embargo, según datos de ANDA, el volumen de aguas subterráneas anual extraído en el AMSS es de 75,3 millones de m³ (ver tabla 10.).

Río Lempa (superficial)	64.3 mill m3/año
Zona Norte (Subt.)	36.9 mill m3/año
AMSS (Subt.)	75.3 mill m3/año
Región Central	45.6 mill m3/año
Región Oriental	31.1 mill m3/año
Región Occidental	52.9 mill m3/año

Tabla 10. Explotación Aguas ANDA por regiones.

La representación gráfica del cambio de almacenamiento no coincide con las zonas en las que se sitúan los acuíferos sin embargo, Hemos de tener en cuenta que el Balance hídrico ya tiene en cuenta las pérdidas posibles (Escorrentía y Evapotranspiración) por lo que se ha de suponer que esta agua acaba almacenándose en los acuíferos a través de la escorrentía subsuperficial¹⁸.

Según los datos vistos hasta aquí, en el apartado del estado cuantitativo del recurso se detectó una posible sobreexplotación del acuífero de San Salvador, detenida o paliada por los retornos debidos a las pérdidas en las conducciones de aguas de Área Metropolitana. Sin embargo, a la luz de la información obtenida del balance hídrico realizado por el SNET, y teniendo en cuenta que la gran mayoría del cambio en el volumen de almacenamiento sólo puede producirse, básicamente, en los acuíferos, parece existir un gran volumen de agua que no es extraída y está almacenándose en los acuíferos de este territorio. Para tratar de explicar esta aparente contradicción hay que señalar varios aspectos:

- Los volúmenes de extracción aportados por ANDA no abarcan nada más que los que esta institución lleva cabo, es decir, no tiene en cuenta los volúmenes extraídos por pozos de industrias (como EMBOSALVA S.A.), ni las de los pozos particulares en general (comunales, privados, etc.).
- El Balance Hídrico realizado por SNET se ha realizado a través de medidas de campo que poseen un error de método relativamente alto, que se acumula con cada factor que interviene en el balance, por lo existe un grado de incertidumbre considerable en los resultados obtenidos. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos están siempre en rangos posibles y coherentes.

¹⁸ Este dato es importante a tener en cuenta, especialmente cuando se aborde la recarga acuífera, puesto que en este mapa, el valor específico y relativo del volcán es muy importante en lo que se refiere a la posible recarga acuífera.

- Es importante señalar aquí también el problema que supone la escala de trabajo utilizada, ya que pasa por alto muchas variaciones locales, lo que podría modificar sensiblemente las curvas de cambio de almacenamiento.
- Los estudios de aguas subterráneas realizados específicamente en el Territorio que nos ocupa son de carácter local o regional y en ningún caso abarcan la totalidad del área de estudio (el Área Metropolitana), existiendo grandes lagunas de información, por lo que los datos se pueden ver significativamente alterados en ciertas áreas, como es el caso del acuífero de San Salvador, donde la mayoría de su extensión en superficie ha sido urbanizada y parcialmente impermeabilizada (ver fig 18).

De estas apreciaciones se deduce la necesidad de conocer mejor las demandas y trabajar a escalas más locales este mismo balance. También se requiere de ensayos de campo que permitan comprobar aquellos datos que han sido resultado de cálculos basados en observaciones de campo pero que no son tomados directamente (p. e. Infiltración). Por último, cabría mejorar los mecanismos de levantamiento de datos base con el fin de minimizar los errores de método (creación de estaciones de aforo, lisímetros, etc.).

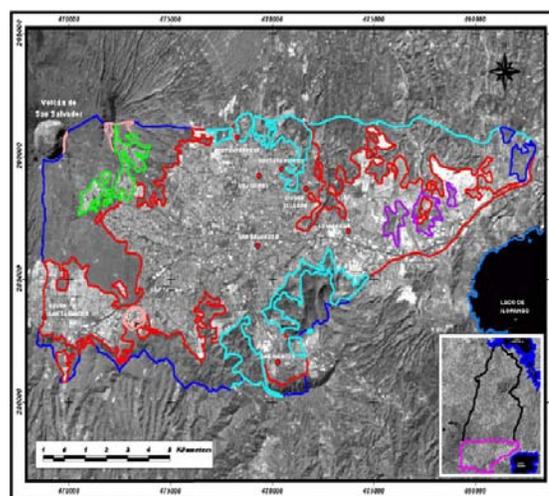


Fig. 18. Ocupación Urbana sobre el Acuífero de San Salvador.

Recarga Acuifera

En el apartado anterior se ha visto que la variación en el almacenamiento se da sobre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Teniendo en cuenta que no hay embalses en el Área Metropolitana, los acuíferos suponen la principal reserva de agua dentro del territorio. Debido a esto, hablar de recarga acuifera en el AMSS es casi lo mismo que hablar de recurso disponible o de variaciones en el almacenamiento, aunque siempre hay que tener en cuenta que a la recarga acuifera habría que restarle el agua que se cede a los cursos de agua superficial, siendo ésta otra forma de acercarse al balance hídrico de aguas disponibles.

Sobre capacidad de recarga acuífera se han realizado varios estudios, pero la mayoría de ellos son poco precisos en la zonificación y se han realizado con metodologías de dudoso resultado. En cualquier caso, todos ellos señalaban el volcán de San Salvador, la zona de la Finca del Espino, el Cerro de San Jacinto y la zona centro de Nejapa y Apopa (estas dos últimas zonas con algo menos de potencial para la recarga), como principales áreas de recarga de los acuíferos del Área Metropolitana (ver fig 19.), sin embargo, es con la realización del mapa de recarga de aguas subterráneas

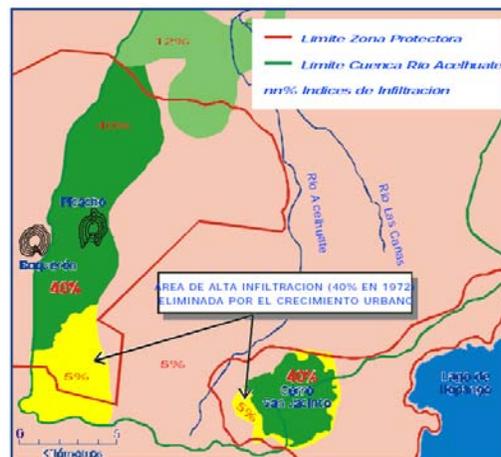


Fig. 19. Zonificación recarga acuífera. Fuente: PRISMA 1994

(RAS), por parte de FORGAES y presentado en Diciembre de 2005, cuando se cuenta por primera vez con una aproximación cuantitativa y diferenciada por zonas de la capacidad del territorio para recargar los mantos acuíferos.

En la figura 20. (Anexo I), se puede apreciar dicha zonificación y ver de forma general como se distribuye este factor del balance hídrico. Es de destacar que la zonificación está fuertemente marcada por los materiales geológicos, disminuyendo considerablemente la recarga potencial sobre aquellos materiales de baja permeabilidad. (Por ser un mapa orientado a la ordenación del territorio, las zonas verdes y azules son las de menor recarga y las amarillas y rojas las de mayor).

Es de destacar, que existe una gran mancha verde, correspondiente a recargas anuales de entre 200 y 249 mm. Que se corresponde con el área urbanizada. Podría pensarse que la recarga tendría que ser próximo a cero o bien, que se corresponde con la recarga producida por las pérdidas en las conducciones de aguas propias del sector urbano, sin embargo, no es así. La recarga acuífera potencial está calculada sobre procesos naturales, por lo que no tiene relación con los retornos producidos por las pérdidas en las conducciones. Dicha recarga es debida a que en el área urbanizada la impermeabilización no es completa debido, principalmente, a la existencia de áreas verdes, donde la infiltración de agua hasta los niveles acuíferos se hace posible.



Fig.20. Mapa de recarga de aguas Subterráneas en el AMSS. FUENTE: FORGAES (2005)

Respecto al mapa de zonas de recarga planteado con anterioridad al presentado por FORGAES-MARN, se aprecia que, tanto el cerro de San Jacinto como el volcán de San Salvador tienen un valor de recarga mucho menor. Ambas diferencias se analizan a continuación:

- En el caso del cerro de San Jacinto, es debido a que los materiales que lo forman presentan baja permeabilidad, sin embargo, hay que tener en cuenta, que el cerro tiene un alto grado de fracturación y, posiblemente, de alteración superficial.
- El hecho de que esté constituido por materiales de baja permeabilidad incide negativamente en la recarga acuífera por no constituir un acuífero propiamente dicho, pero el alto grado de fracturación¹⁹ desarrollada incide en que pueda constituir un pequeño acuífero superficial o un área de infiltración y escorrentía subsuperficial que acabe cediendo agua (por sus vertientes Norte y Oeste principalmente), al acuífero de San Salvador y al de Guluchapa.
- El hecho de que el Volcán de San Salvador presente una recarga menor de la esperada, observando las zonas de recarga del mapa de 1994, puede deberse al grado de deforestación y al desarrollo de un urbanismo informal que se ha ido produciendo a lo largo de los últimos años. Tanto la deforestación como la urbanización del territorio, son procesos que disminuyen significativamente la posibilidad de que se produzca recarga de aguas subterráneas.

Es importante señalar que la parte baja de la ladera del volcán aún se presenta con un potencial de recarga muy significativo, con valores estimados de hasta 600 mm. De recarga anual.

La zona central de Apopa y la centro y Norte de Nejapa, siguen presentando valores de recarga altos, pero el valor relativo de estas zonas es ahora mayor, puesto que el resto de las áreas marcadas tradicionalmente como de máxima recarga, hoy no se presentan con una importancia y valor relativo tan grande, aunque su valor específico sigue siendo muy alto.

La recarga total calculada para todo el AMSS se estima según este mapa en unos 190 millones de m³. Si hacemos el cálculo aproximado de recarga sobre la superficie del acuífero de San Salvador, el dato que se nos presenta es de tan sólo unos 45 millones de m³ anuales.

¹⁹ La alteración superficial también es un elemento a tener en cuenta. Dependiendo del tipo de alteración puede aumentar la permeabilidad (si las arcillas resultantes de la alteración son lavadas) o pueden disminuir la permeabilidad (si las arcillas de alteración rellenan las fracturas, impidiendo así la circulación de agua)

Vulnerabilidad acuífera.

La Vulnerabilidad acuífera o vulnerabilidad intrínseca, se define en base a la facilidad hidráulica que tiene un compuesto para acceder al acuífero y contaminarlo. Se hace referencia a vulnerabilidad intrínseca porque no se calcula en función del tipo de compuesto, sino que se basa en dos características propias del entorno. Estos dos parámetros son:

- Inaccesibilidad hidráulica.
- Capacidad de atenuación.

Obviamente, ambos parámetros son variables en función de cual sea el tipo de contaminante, sin embargo se da por supuesto, de forma general, que ante cualquier contaminante móvil (de no tener movilidad no podría contaminar un acuífero), ambos parámetros funcionan como condicionantes o limitantes de la contaminación.

Existen diferentes métodos de cuantificación de la vulnerabilidad. Éstos tratan de evaluar los dos parámetros señalados a través de diferentes factores. La diferencia básica entre los distintos métodos radica precisamente en cuales son los factores que toman en cuenta. Existen así, métodos muy complejos que utilizan multitud de elementos, como por ejemplo el DRASTIC, hasta los más sencillos y más utilizables ante la falta de información como es el caso del método GOD.²⁰

No se conoce la existencia de ningún estudio de vulnerabilidad acuífera realizado hasta el momento en el AMSS, tan sólo algunos informes que contienen algún apartado referido a la vulnerabilidad, pero se refieren únicamente a estados de calidad del recurso hídrico subterráneo y a los posibles orígenes de la contaminación detectada.

En la actualidad existen varias iniciativas para la zonificación del territorio en función de la vulnerabilidad acuífera, siempre bajo la metodología GOD, que valora:

- Profundidad del agua.
- Tipo de acuífero.
- Tipo de material de la cobertura.

El método Mexicano ha sido utilizado para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos en la cuenca alta del río Sucio, situándose parte del estudio justo en el límite del AMSS en la zona de Nejapa, en

²⁰ El nombre de los métodos suele ser un acrónimo en el que cada letra es un factor con el que trabaja el método, así, a simple vista, se reconoce que el método DRASTIC utiliza siete factores para la cuantificación de la vulnerabilidad, mientras que el GOD utiliza sólo tres.

su límite Occidental limítrofe con Quezaltepeque. Dicho método expresa la vulnerabilidad en términos del período relativo de atraso para el acceso de contaminantes, de su capacidad de reacción físico-química y de retención con respecto a contaminantes menos móviles y el potencial de dilución del medio hidrogeológico.

Debido a la falta de información al respecto, no se pueden hacer valoraciones ni una descripción de territorio en función de la vulnerabilidad. Tan sólo se tiene la noción, a partir de datos recogidos en distintos eventos, de que los acuíferos del AMSS se encuentran semiconfinados en gran parte de su extensión y, en muchas ocasiones, a profundidades mayores de 20 metros, por lo que las zonas de vulnerabilidad mayor que la valorada como “media” deberían ser relativamente escasas. Se debe tener en cuenta que existen algunas valoraciones del acuífero de Nejapa, donde el acuífero es tomado como libre y las profundidades no son muy altas, es decir, que en estas zonas, es posible que se den valores de vulnerabilidad acuífera más altos.²¹

Hay que considerar también, que los sistemas de fallas pueden incrementar localmente la accesibilidad hidráulica y modificar las valoraciones generales de vulnerabilidad.

Los pozos son puntos donde la vulnerabilidad cambia radicalmente por variarse las condiciones naturales de inaccesibilidad y capacidad de atenuación, es por esto que estos puntos se tratan de forma distinta y precisan de medidas especiales de protección que hoy no se dan en casi ningún lugar del territorio nacional.

Aunque no se trate de vulnerabilidad acuífera en sentido estricto, sino más bien de peligro de contaminación, hay que considerar que existen posibles focos de contaminación que no se sitúan en superficie (depósitos enterrados, pozos de inyección, etc.) variando en cierto modo las apreciaciones que se hacen sobre la vulnerabilidad de forma puntual.

PRESIONES SOBRE EL RECURSO.

El tema de las presiones sobre el recurso hídrico es un tema difícil de abordar por el hecho de que se le pueden dar varios enfoques. En esta ocasión se tratará de analizar desde el enfrentamiento de las principales dinámicas que se dan sobre el territorio con los aspectos básicos de gestión del recurso hídrico (oferta y demanda tanto en calidad como en cantidad) y, en cierta manera, sobre el ciclo

²¹ Se debe tener en cuenta también la ya mencionada escasa fiabilidad de los datos existentes, pues los datos que apoyan el semiconfinamiento son exclusivamente sacados de ensayos de bombeo normalmente realizados muy deficientemente y que no tienen en cuenta las litologías o la posible existencia de dos niveles acuíferos diferenciados

hidrológico. Para hacer esto y para una mejor comprensión de lo que se pretende, se ha realizado un cuadro de los distintos aspectos a tratar (ver tabla 11).

Las presiones sobre el recurso, se entenderán como aquellas afecciones que incidan potencialmente de forma negativa a la relación entre oferta demanda. Es decir, disminución de la oferta y/o incremento de la demanda. Se podría hacer una diferenciación entre zonas de presión y zonas o puntos críticos atendiendo al tiempo en el que se dan (La presión se entendería como futuro, es decir, como donde está la proyección de crecimiento o de cambio en el territorio, y el punto crítico como presente, como una presión ya existente sobre el recurso, producida por una actividad actual), pero en este caso se englobarán ambas en un único concepto de presión.

La oferta se define, en términos de recurso hídrico, desarrollo y sostenibilidad, como aquella agua disponible para uno o varios usos sin menoscabo en las reservas, de forma que el agua que no se puede reponer, bien sea natural o artificialmente, o aquella de la que no se puede disponer, no se considerará como parte de la oferta.

	OFERTA		DEMANDA	
	CANTIDAD	CALIDAD	CANTIDAD	CALIDAD
Dinámica de crecimiento poblacional (urbano)	UOC	UOL	UDC	UDM
Dinámica productiva (económica)	EOC	EOL	EDC	EDL
Dinámica Ambiental-Climática	AOC	AOL	ADC	ADL

Tabla 11. Aspectos de la presión sobre el recurso

Algunos de los aspectos que resultan de este cruce, serán tratados muy ligeramente por no tener una relación directa con las dinámicas del AMSS o por ser de un ámbito mucho mayor, tal es el caso de la dinámica ambiental-climática.

Resulta clave remarcar aquí que todas las dinámicas referidas tienen relación entre sí, como es lógico, puesto que todas forman parte de un mismo sistema.

Existen también otros procesos que se pueden producir, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad del hombre en la naturaleza, que no se enmarcan en una sola de las dinámicas referidas, pero que es importante mencionar como parte de las dinámicas que ejercen presión sobre el recurso a nivel global. Es por esto que se van a describir brevemente antes de entrar a la descripción diferenciada por cada uno de los aspectos de oferta u demanda referidos.

Los procesos más significativos a los que se está haciendo referencia son los incendios y la deforestación. Aunque los incendios se producen también de forma natural, la actividad humana produce un incremento en la frecuencia con que se producen.

Los efectos de ambos procesos son similares en muchos aspectos, y en particular en la presión que producen sobre el recurso hídrico.

La pérdida de masa forestal produce:

- Aumento de la erosionabilidad del suelo, lo que se traduce en un incremento de sólidos en suspensión de las aguas superficiales y aumento de la turbidez y, por tanto, disminución de la calidad, lo que afecta tanto a sus posibilidades de consumo humano, como a su uso para la producción de energía²² u otros usos productivos.

Indirectamente también puede verse afectada la calidad de las aguas superficiales, puesto que los suelos, que se pierden con este proceso, constituyen un filtro natural a la contaminación.

- Disminución de la capacidad de retención de agua y regulación de escorrentía, lo que disminuye el tiempo de crecida, aumenta la punta de caudal y disminuye el caudal base de los ríos, afectando negativamente a la cantidad de agua superficial disponible, a la vez que aumenta el riesgo por inundación.
- Se produce apelmazamiento de los terrenos, disminuyendo la capacidad de infiltración y, por tanto, de recarga acuífera, lo que disminuye la capacidad de recuperación de los acuíferos (es decir, disminuye la oferta).
- De forma más indirecta, la pérdida de grandes masas forestales modifican el clima (primero localmente y luego globalmente), disminuyendo las precipitaciones y favoreciendo que ésta se produzca de forma más torrencial, lo que repercute nuevamente tanto en la merma de la oferta como en el riesgo por inundación.

Antes de pasar a describir los posibles efectos en las dinámicas sobre los factores de gestión del recurso hídrico se harán unas breves consideraciones sobre cada uno de las tres dinámicas señaladas:

Dinámica Ambiental-Climática.

Los fenómenos de la dinámica ambiental que ejercen presión sobre el recurso hídrico se pueden dividir en dos tipos; los eventos (puntuales) y los procesos (continuos).

²² Los sólidos en suspensión, por una parte aumentan la viscosidad y disminuyen la fluidez, disminuyendo la capacidad de generación de energía y, por otra parte aumenta el poder de erosión, disminuyendo la rentabilidad y eficacia de las paletas de las turbinas generadoras de energía

Eventos.

Como fenómenos puntuales se puede hablar fundamentalmente de sismos, erupciones volcánicas, y tormentas tropicales (y/o huracanes). Normalmente representan más una amenaza sobre el recurso que una presión al sistema como tal.

En cualquier caso, se presentarán aquellas afecciones que puedan ser duraderas a pesar de provenir de un fenómeno puntual o aquellas que pueden ser especialmente representativas.

Procesos.

El cambio climático es el principal proceso de la dinámica ambiental que ejerce una presión sobre el recurso. Ya hemos visto que algunos factores (como la deforestación) representan cambios climáticos regionales, pero hemos de tomar en cuenta también el cambio climático como dinámica global.

Dicho proceso de cambio climático está produciendo sequías y lluvias torrenciales cada vez más frecuentes. Ambos factores disminuyen la capacidad de regeneración del recurso hídrico, disminuyendo la disponibilidad.

Dinámica Productiva (económica).

Por dinámicas productivas se hace referencia a varios tipos de actividad; la de producción de energía; la industrial y de servicios; y la agrícola, como fuentes potenciales de crecimiento económico y/o de productos para necesidades básicas.

Dentro de las actividades aquí comprendidas, la industrial es la de principal desarrollo en el AMSS.

La distribución espacial proyectiva de este tipo de actividades se recoge en el PLAMADUR AMMSA y se da especialmente en torno al futuro anillo periférico (ver fig.21 y el Plano de proyección urbanística del PLAMADUR incluida en el Anexo I)²³.

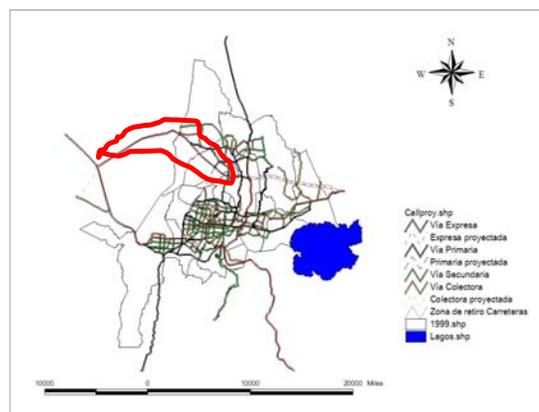


Fig. 21 Mapa de vías del AMSS // FUENTE: OPAMSS

²³ Ver también el PNOT

Dinámica Poblacional (crecimiento urbano).

Junto con la presión por industrialización, el crecimiento poblacional, es el principal factor de presión sobre el recurso hídrico reconocido en el AMSS. Como se verá a continuación, el aumento de demanda y, la impermeabilización del terreno, son los principales factores influyentes.

Con una población actual de unos 2.300.000 habitantes y una tasa de crecimiento en torno al 1,8%²⁴ la previsión de población para el año 2010 y 2020 sería de unos 2.470.000 y 2.950.000 habitantes respectivamente, lo que significan 170.000 y 650.000 personas ejerciendo una presión sobre el territorio en su totalidad, aunque cabe esperar que esta tasa de crecimiento no se mantenga, o que las políticas de crecimiento potencien otros centros urbanos del país.

En el caso de las dinámicas ambientales la afección principal se producirá sobre la mayoría del territorio, en cambio, para las dinámicas productivas y las de crecimiento poblacional, la presión, se darán principalmente como consecuencia de la proyección de ocupación del territorio. Dicho proceso de ocupación se dará principalmente sobre la zona Norte del Área Metropolitana tal y como se muestra en la secuencia de imágenes de la figura 22. Prevista en PLAMADUR

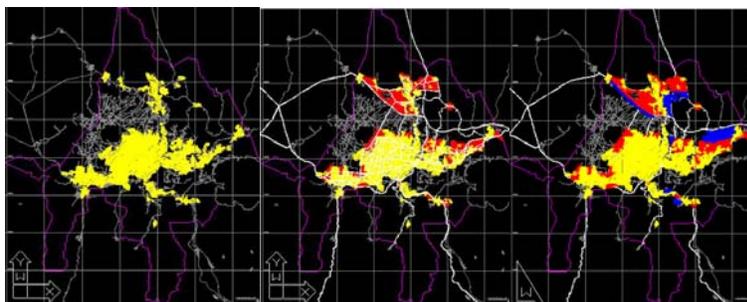


Fig. 22. Estado AMSS 1998 y proyección 2005 (rojo) y 2015 (azul) //Fuente: OPAMSS

Afecciones al volumen de oferta.

Presiones ambientales a la oferta en cantidad (AOC):

Las afecciones que pueden darse como consecuencia de un sismo o un terremoto suelen ser notables sobre la accesibilidad al recurso (pérdida de manantiales y pozos), pero, salvo roturas en sistemas de regulación (embalses fundamentalmente), no han de repercutir en la cantidad de agua disponible, tanto de aguas superficiales como subterráneas, si bien se han registrado grandes descensos en los niveles piezométricos de algunas áreas tras la ocurrencia de algún evento de esta naturaleza.

²⁴ Estimación DIGESTYC

Las erupciones volcánicas pueden suponer grandes pérdidas tanto de cantidad de agua (por evaporación) como de volúmenes de almacenamiento (intrusión de los materiales de la erupción en áreas de reserva, principalmente de aguas superficiales).

Si bien, las inundaciones producidas por lluvias de régimen torrencial pueden incrementar la recarga acuífera puntualmente, en el caso de el AMSS, dichas inundaciones no quedan estancadas en grandes áreas permeables, por lo que, a falta de infraestructuras capaces de regular este tipo de lluvias, la oferta final no se ve incrementada significativamente.

La disminución de agua en los volúmenes de agua de los acuíferos (bien sea por procesos naturales o inducida), disminuye también los caudales en agua superficiales, ya que los ríos y lagos suelen constituir la salida natural del exceso de agua en los acuíferos.

Presiones productivas a la oferta en cantidad (EOC):

La industrialización del territorio implica la impermeabilización del suelo, es decir, una disminución de la recarga acuífera y, por tanto, una merma en la oferta de aguas subterráneas. Al mismo tiempo, las variaciones en la dinámica de la escorrentía merman la disponibilidad en las aguas superficiales.

La distribución espacial en el territorio de este tipo de presión, es función, además de la ubicación de la industria ya implantada, de la proyección de crecimiento de las zonas industriales. Actualmente, esta proyección está focalizada principalmente en torno al anillo periférico como consecuencia del incremento en la agilidad prevista para los trasportes como parte de la logística necesaria para la actividad industrial²⁵.

La actividad agrícola no tiene un efecto bien definido sobre la cantidad de la oferta ya que se debe comparar con el estado previo del terreno. Por una parte, los cultivos suponen una evapotranspiración que ha de compararse con la del terreno natural y que es muy variable en función del tipo de cultivo y el estado vegetativo, por otra parte, la removilización del suelo favorece la infiltración del agua hacia los mantos acuíferos, si bien hay que tener en cuenta la permeabilidad del terreno. Es debido a esta ambigüedad por lo que habría que hacer estudios para cada caso.

²⁵ Ver PLAMADUR AMSSA y plano en Anexo I.

Presiones urbanísticas sobre la oferta en cantidad (UOC):

La urbanización lleva consigo la impermeabilización de gran parte del territorio ocupado con este fin, este hecho, unido a que el crecimiento urbano en El Salvador se da horizontalmente (casas unifamiliares generalmente de una altura), abarcando así grandes extensiones de terreno, disminuyendo muy significativamente la oferta.

Como ya se ha determinado anteriormente, la mayor presión de urbanización del terreno, está hoy en la zona Norte, en las áreas circundantes al anillo periférico proyectado, especialmente en los municipios de Nejapa y Apopa, debido a la merma que se producirá en la recarga acuífera.

Es importante tener en cuenta que también existe esta presión sobre las faldas del volcán de San Salvador y Finca del Espino, una zona de Ciudad Delgado (entre Soyapango y Apopa), y el Bulevar Orden de Malta (ver fig 23.).

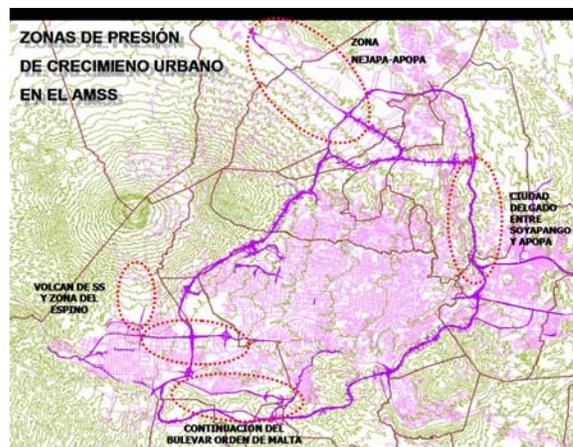


Fig. 23. Zonas de Presión urbanística en el AMSS
Fuente: OPAMSS

Afecciones a la calidad de la oferta.

Presiones ambientales a la oferta en calidad (AOL):

Las erupciones volcánicas son los eventos naturales que más pueden afectar a la calidad del recurso hídrico debido principalmente a la contaminación que generan los gases y los fluidos magmáticos al mezclarse con las aguas (superficiales y subterráneas). Las alteraciones así producidas varían tanto la composición y propiedades químicas del agua (pH, contenido en Azufre; oxígeno disuelto; metales pesados, etc.) como a las propiedades físicas (temperatura, sólidos en suspensión, etc.). La emisión de cenizas volcánicas constituye la principal amenaza a la calidad de aguas superficiales.

Por otra parte, las expulsiones a la atmósfera pueden acidificar la lluvia en caso de que se produzca, contaminando áreas mucho mayores a la afectada directamente por la propia erupción.

Las inundaciones producidas por lluvias torrenciales (producto de tormentas tropicales u otro evento similar), producen arrastres de todo tipo de materiales y sustancias que disminuyen mucho la

calidad del agua por el aumento de la turbidez, de los materiales en suspensión y de la mezcla con todo tipo de sustancias contaminantes (aguas fecales, disolventes, hidrocarburos, etc.).

Por otro lado, el estancamiento de esta agua en zonas de inundación y la consiguiente infiltración, junto con la intrusión directa del agua en pozos y sondeos, contamina también los mantos acuíferos.

Las afecciones que pueden producir los sismos sobre la calidad de la oferta, son básicamente producto de la combinación con las actividades y estructuras creadas por el hombre para cubrir sus necesidades. Así, se pueden producir roturas en las conducciones de aguas servidas a la par que grietas en el terreno que facilitan la intrusión de esta agua en los mantos acuíferos, disminuyendo así la calidad del recurso.

Cabe la posibilidad de derrumbes o deslizamientos en botaderos u otras acumulaciones de materiales potencialmente contaminantes, que lleguen a alcanzar los cursos de aguas superficiales. Por otra parte, también pueden romperse las capas impermeables que se sitúan en la base de los vertederos, balsas de oxidación etc., con lo que los lixiviados u otros fluidos (altamente contaminantes) se infiltrarían hasta alcanzar los mantos acuíferos.

La distribución de los sismos en el AMSS se puede ver en la figura 24.

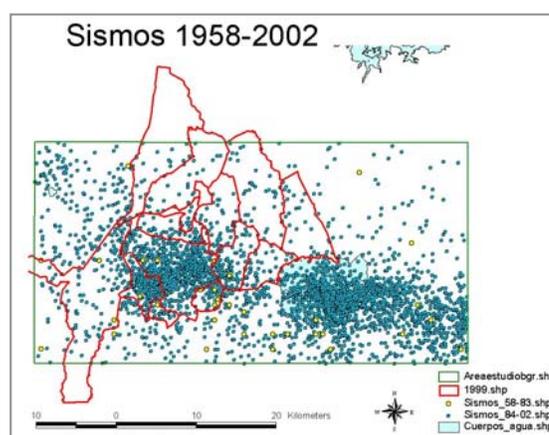


Fig. 24. Mapa de sismos en el AMSS (1958-2002)
Fuente: BGR

Existe un tipo más de presión de origen natural sobre la calidad del recurso, especialmente en el ámbito de las aguas subterráneas. Los procesos de contaminación natural. El agua, en su lento movimiento subterráneo va incorporando por disolución algunos elementos contenidos en los minerales de los materiales que atraviesa. En el caso de El Salvador, esto se hace especialmente notable, ya que los materiales volcánicos son especialmente problemáticos en este sentido. La contaminación natural más notable y perjudicial para la salud detectada en el AMSS, es la de Arsénico, siendo en el lago de Ilopango especialmente notable²⁶.

²⁶ En aguas subterráneas no se dispone de datos concretos en este sentido

Presiones productivas sobre la calidad de la oferta (EOL):

Aunque, como se ha comentado anteriormente, la cantidad de infiltración que se produce en el AMSS debido a estos eventos no debe de ser muy grande, la carga contaminante que puede contener es muy importante, ya que pequeñas cantidades de disolventes, hidrocarburos u otras sustancias, pueden contaminar grandes volúmenes de agua.

La actividad industrial existente, supone una fuerte presión sobre la calidad del recurso hídrico en su totalidad ya que tan sólo un cuarto de los vertidos industriales son tratados antes de ser vertidos a los cauces directamente, pero además, los sistemas de tratamiento y tecnologías son en su mayoría rudimentarios²⁷. Este hecho puede ser tomado como una presión actual sobre el recurso, o bien como puntos críticos a solucionar, siempre que se localice sobre las actividades en concreto.

Existen algunas actividades de servicio que incluyen almacenamiento de productos peligrosos. El caso más significativo, por ser la actividad que más casos de contaminación produce a nivel mundial, es el de las gasolineras y se incluyen en este apartado por considerarse parte culminante de la industria petrolera y no estar restringida su actividad al entorno urbano, aunque bien podría incluirse en el crecimiento urbano por considerarse también un servicio incluido en este entorno.

Las pérdidas en los sistemas de almacenamiento, tanto para actividades de servicios como en industriales, son muy frecuentes y, en muchas ocasiones, altamente contaminantes (disolventes, aceites, aguas residuales de alta toxicidad, etc.).

La modificación en las propiedades naturales del agua, en el caso de los usos industriales, incluyen también el incremento de la temperatura, ya que muchas veces se utiliza este recurso para la refrigeración y no entra en un ciclo cerrado sino que se desecha todo el agua utilizada para este fin.

La distribución espacial de las actividades productivas no se conoce con exactitud por no estar sistematizada en unos casos o por no haberse podido acceder a ella en otros.

La presión que pueden ejercer las actividades de este tipo que ya están proyectadas son las mismas que se han descrito hasta ahora.

La actividad agrícola supone una presión importante tanto para las aguas superficiales como para las subterráneas. En el caso de las aguas subterráneas, se da principalmente por infiltración de fertilizantes y plaguicidas a los mantos acuíferos. El hecho de que las zonas agrícolas tengan grandes

²⁷ Boletín PRISMA 43 "La contaminación del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales" (2001).

extensiones las convierten en fuentes de contaminación difusa y, el hecho de que sean una realidad pero no se conozca proyección de nuevas zonas en el AMSS, las convierten en zonas críticas más que de presión.

Sobre las aguas superficiales los mecanismos por lo que la actividad agrícola merma la calidad son diferentes. Por una parte, el arrastre de los mismos fertilizantes y plaguicidas por las aguas de escorrentía, lleva a la contaminación de los cauces, pero también el aumento de erosión del suelo y el consiguiente arrastre de sedimentos contribuye al deterioro de estas aguas.

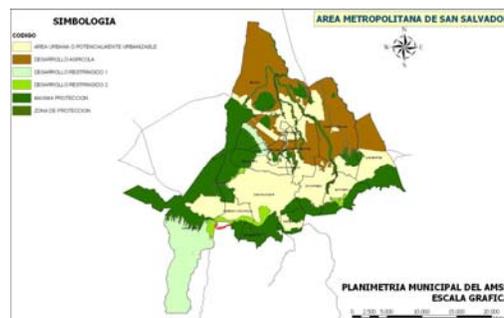


Fig. 25. Mapa de usos de Suelo.
FUENTE: OPAMSS.

Las zonas agrícolas existentes actualmente en el AMSS se pueden consultar en el Anexo I y en la figura 25, dándose principalmente café, en la zona centro y Sur, y caña en la zona Norte, Nejapa y Apopa principalmente, incluida la zona Norte del anillo periférico.

Resulta que la proyección del anillo periférico pasa precisamente por los campos actuales de cultivo de la zona Norte.

Presiones urbanísticas sobre la calidad de la oferta (UOL):

Las zonas actualmente urbanizadas son zonas críticas difusas que ejercen una presión sobre la calidad del agua, tanto sobre los acuíferos como sobre los ríos arroyos y quebradas.

En El Salvador, sólo entre el 2 y el 3% de las aguas residuales de procedencia urbana reciben tratamiento antes de ser vertidas a los cauces naturales²⁸. El resultado es de millones de metros cúbicos de aguas de calidad pésima que degradan de forma alarmante la calidad de las aguas superficiales.

No se dispone de mapas de puntos de vertidos que puedan servir para tener una imagen visual de cuales son las zonas más problemáticas.

Por otro lado, las conducciones de alcantarillados presentan un estado pésimo, plagado de roturas por donde se producen pérdidas. Esto es debido principalmente a la antigüedad de una gran parte de

²⁸ Boletín PRISMA 43 “ La contaminación del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales” (2001)

las instalaciones y a la no utilización de materiales adecuados para zonas con alta sismicidad como es El Salvador, y especialmente San Salvador (ver fig. 24.).

Cabe recordar que en las zonas urbanas existen muchas actividades de servicios que producen residuos altamente contaminantes, tal es el caso de las ya mencionadas gasolineras, los lavaderos de autos, los restaurantes, los talleres mecánicos, etc.

Afecciones al volumen de demanda.

Afecciones Ambientales sobre la cantidad de demanda (ADC):

El aumento de demanda producido por las dinámicas naturales es consecuencia directa del incremento de periodos de sequía y se puede diferenciar en dos aspectos.

Por una parte, la demanda directa de la naturaleza se incrementa en forma de evapotranspiración, lo que afecta principalmente a los cuerpos de agua superficiales.

De otro lado se encuentra el incremento de demanda para actividades humanas, destacando por encima de todas las necesidades de riego, lo que, dado los sistemas de abastecimiento existentes en el territorio, implica una mayor presión sobre el recurso hídrico subterráneo principalmente.

La distribución geográfica de esta presión se extiende a todo el territorio, pero es especialmente significativa sobre los acuíferos explotados para uso agrícola. En el caso del AMSS, es especialmente significativo en la zona Norte.

De otro lado, existe una demanda permanente de cantidad de agua para el mantenimiento de los ecosistemas, de ahí se desprende la necesidad de un caudal mínimo que han de llevar los ríos para mantener la vida y el equilibrio natural del sistema. Este volumen de agua mínimo y permanente en ríos es lo que ha quedado en llamarse caudal ecológico²⁹.

Definir el caudal ecológico presenta muchas dificultades, y aunque en muchas ocasiones, ante la falta de estudios que permitan cuantificarlo, se determina en un 25% del caudal existente (el resto se considera explotable), en el AMSS es mucho más complicado de definir, puesto que el régimen natural de sus ríos ya no existe y, como ya se ha visto, el caudal base existente es producto casi exclusivo de los vertidos de aguas servidas.

29

Afecciones de la actividad productiva sobre el volumen de demanda (EDC):

La proyección de la actividad industrial es una de las más importantes presiones a las que se enfrenta el recurso hídrico. Esto se hace especialmente notable en la zona de Nejapa, donde varias empresas mojadas (industrias cuyo consumo de agua es muy elevado, generalmente productoras de bebidas embotelladas) están muy interesadas en instalarse en esta zona³⁰. El interés de estas empresas en esta zona, no es tan sólo por la proyección logística que genera el anillo periférico, tantas veces mencionado, sino también la presencia del acuífero de Nejapa, lo que supone una fuente de agua explotable sin tener que transportarla.

Cuando hablamos de empresas mojadas, la posibilidad de que aumente la cantidad demandada al ocupar el territorio es prácticamente segura, pero hay que tener en cuenta que una buena parte de los terrenos en los que se proyecta el crecimiento ya tienen hoy una importante demanda por ser de uso agrícola, por lo que el aumento de la demanda es casi una seguridad en el caso de las industrias mojadas, pero no lo es en el caso de otros tipos de actividades industriales.

Afecciones de la urbanización sobre el volumen de demanda (UDC):

El crecimiento de población implica el aumento de la demanda urbana, lo que, “a priori”, significa un aumento de la demanda. Sin embargo, como en anteriores ocasiones, en cálculo real que se debe hacer es respecto al uso anterior del suelo y cual era la demanda requerida para dicho uso. Así por ejemplo, si urbanizamos una zona agrícola, el incremento de demanda puede no ser muy grande o incluso no llegar a producirse, dependiendo de la lotificación.

En cualquier caso, las predicciones de ANDA suponen un incremento en la demanda de los acuíferos del AMSS de 1 m³/sg en los próximos años (ver tabla 12.)

demanda social			extracción		
AÑO	2002	2020	AÑO	2000-2010	2010-2020
Población	2.007.000	3.600.000	Río Lempa	1,37 m ³ /s	
Demanda social	5,8 m ³ /s	10,4 m ³ /s	Pozos AMSS	1,00 m ³ /s	
Fugas 30-50%	2-3 m ³ /s	¿?	Existentes	5,1 m ³ /s	7,5 m ³ /s
			Ilopango		1,00 m ³ /s
			Río Sucio		1,00 m ³ /s
			Suministro	7,5 m ³ /s	9,5 m ³ /s

Tabla 12. Demanda social y extracción actual y previsión³¹

³⁰ TROPICAL; CONSTANCIA Y AGUA CRISTAL entre otras según FUNDE (“Gestión Ambiental desde el Municipio: Hacia la Definición de un Marco Legal e Institucional. El caso de Nejapa” -1996-)

³¹ Datos extraídos de la presentación sobre dinámica de aguas subterráneas en el AMSS de José Roberto Duarte -2005-

En esta misma tabla, se puede apreciar que la demanda prevista por el crecimiento urbano es mucho mayor (de hasta 4,4 m³/sg más que la actual). Aunque ese diagnóstico está referido sólo al territorio del AMSS, es un dato importante a tener en cuenta ante las políticas de gestión del recurso.

Se recuerda, que la presión urbanística más importante está situada siempre sobre el entorno del anillo periférico y, en general, sobre toda la zona Norte. Hay que tener en cuenta que también existe una presión, algo menor, por crecimiento hacia la zona Sur incluso ya hacia San Marcos, fuera del AMSS (ver fig. 26). Al igual que el resto de actividades que dependen de las políticas proyectistas de crecimiento, tanto económico como ocupacional.

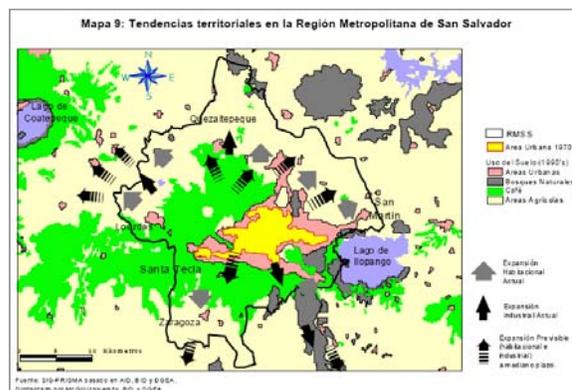


Fig. 26. Mapa de tendencia de crecimiento de la Región Metropolitana de San Salvador.// FUENTE: PRISMA Boletín 44 (2001)

Afecciones a la calidad de la demanda.

Afecciones ambientales a la calidad de la demanda (ADL):

La presión sobre la calidad de la demanda radica en los requerimientos que precisan los biotopos para su mantenimiento.

La vida necesita, o demanda, unas propiedades mínimas del agua para poder desarrollarse. Este hecho es, en si mismo, la presión que ejerce la naturaleza en la calidad del agua que demanda.

La biodiversidad y el mantenimiento de los ecosistemas son de vital importancia para mantener el equilibrio natural. Los desequilibrios tienen efectos negativos sobre el desarrollo, como es el caso de las plagas, desaparición o merma de recursos pesqueros, etc.

La distribución espacial de esta presión se extiende a todas las áreas ocupadas por aguas superficiales.

Afecciones de las actividades productivas sobre la calidad de la demanda (EDL):

Los usos agrícolas e Industriales no suponen, en general, una fuerte presión sobre la calidad del agua puesto que casi nunca precisan de unos parámetros físico-químicos y bacteriológicos, tan exigentes como para el consumo humano. En el caso de los usos industriales, siempre que no sea para



producción de productos de consumo, esto es especialmente notable (aguas para refrigeración, lavado, etc., no precisan de parámetros de calidad muy exigentes). Para los usos agrícolas y ganaderos la cantidad demandada es muy variable, habiendo que especificar en cada caso.

Afecciones del urbanismo sobre la calidad de la demanda (UDL):

El crecimiento urbano precisa de agua potable, lo que significa un nivel de exigencia mucho mayor que para otro tipo de actividades. Es decir, de todo el recurso presentado como oferta, sólo es realmente disponible un agua con muy buena calidad. La no existencia de este tipo de agua lleva a tener que extraerla a mayor distancia de su utilización final o a tener que tratarla previamente (proceso este último que se encarece exponencialmente cuanto mayor es el grado de contaminación existente), lo cual encarece y dificulta significativamente su disponibilidad.

La distribución geográfica de esta presión se prevé y se proyecta sobre el acuífero de Nejapa. Dado el estado general de las aguas y la distribución de los recursos supuestamente aprovechables existentes, no parece probable que esta proyección se modifique.

CONCLUSIONES.

En este punto se esquematizará y se resumirá lo expuesto hasta aquí, añadiendo algunas valoraciones necesarias a las explicaciones y descripciones presentadas.

Con el fin de optimizar el resultado de este punto y facilitar el entendimiento y las apreciaciones posibles, se abordará en dos fases bien diferenciadas. Por una parte se enumerarán conclusiones generales a modo de resumen y de forma bien ordenada, y por otra, se procederá a realizar una zonificación del territorio en función de las características descritas y se enumerarán las conclusiones que surjan como resultado de la interacción de las distintas características que integren cada zonificación.

Conclusiones Generales:

Recurso Hídrico.

- Los límites administrativos del Área Metropolitana de San Salvador no son coincidentes con límites de cuenca, lo que implica necesariamente que las políticas adoptadas en cuanto a manejo y gestión de cuenca no son de su competencia directa, sin embargo, en términos de gestión de recurso hídrico, son muchas las competencias que se pueden asumir desde la región, en especial las relacionadas con la protección.
- El AMSS se encuentra situado en zona de cabecera de varias cuencas hidrográficas y principalmente en cabecera de la subcuenca del río Acelhuate (afluente del Lempa).

Los esquemas generales de ordenación del territorio en función de la cuenca, diferencian las actividades a realizar según la zona de la cuenca (alta o cabecera, media y baja), dejando para la parte alta de la cuenca los aprovechamientos hidroeléctricos y los urbanos, estos últimos, entre la cabecera y el sector medio, a continuación se establecerían las actividades Industriales (a ser posible en una subcuenca o microcuenca diferente) y, en la parte baja de la cuenca se enmarcaría el sector agrícola (ver fig 27.).

Aunque el esquema presentado es genérico y susceptible de muchas modificaciones, mantiene un principio de ordenamiento en torno a la reutilización del recurso y a la disposición de las actividades en función de la necesidad de calidad y posibilidad de retorno al sistema. Es por eso que las demandas que necesitan de unos criterios de calidad más exigentes se encuentran en la zona alta de la

cuenca, donde aún no ha habido procesos de contaminación, es el caso del uso urbano. El uso hidroeléctrico se sitúa con anterioridad al urbano por no constituir contaminación y abaratar los costos de distribución en el caso de que el agua embalsada también se utilice para abastecimiento. El uso agrícola se deja para el final por ser el uso que menos posibilidad de retorno al sistema presenta, de forma que la merma de recursos ya no afecta a los anteriores usos.

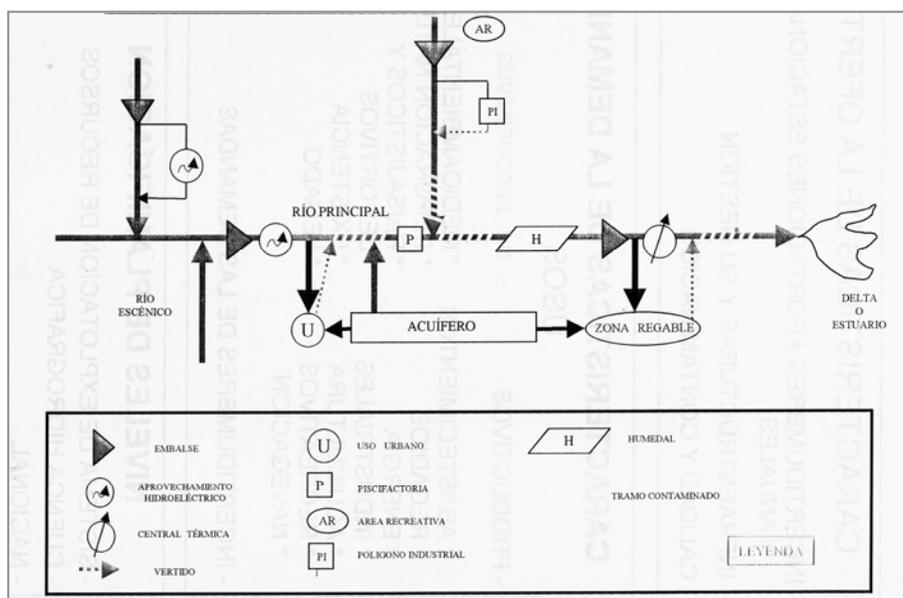


Fig. 27. Esquema tradicional de ordenamiento territorial en función de cuenca

El área metropolitana no respeta este planteamiento y afecta a las dinámicas de cuenca ya desde su cabecera, limitando las posibilidades de una gestión de cuenca eficiente y complicando mucho las soluciones a aplicar.

Si bien, la ordenación territorial en base a la cuenca no es del todo posible en el AMSS, si existe una ordenación posible a escala de subcuencas o microcuencas o bien en base a las dinámicas de las aguas (basadas también en subcuencas, microcuencas, acuíferos), su protección y la protección también de las captaciones según su uso.

El caudal base del Acelhuate se ha incrementado, en contra de la tendencia del resto de los cauces del país. Todos los datos existentes apuntan a que esto es debido casi exclusivamente a los millones de litros de aguas servidas vertidas anualmente a los cauces de la cuenca alta del Acelhuate.

La calidad medida según ICA en el río Acelhuate, medido a la salida del AMSS nunca supera la valoración de mala, siendo casi siempre pésima. Las mejoras puntuales en el ICA, pueden deberse a el incremento de caudal con aguas de lluvia.

La pésima calidad de las aguas superficiales del AMSS es debida entonces, principalmente, a:

Los millones de metros cúbicos de vertidos de aguas servidas sin tratamiento que se vierten directamente a los cauces del territorio. Este es, sin duda, el principal causante de la degradación, al menos en volumen.

La proliferación de vertederos incontrolados en los márgenes de los ríos y en las quebradas.

La falta de tratamiento y control de los vertidos de actividades industriales, que habría que cuantificar y calificar para conocer cual es el alcance y la importancia relativa en el problema de degradación del recurso hídrico, pero que pudiera ser el más significativo y difícil de tratar en cuanto a su carga contaminante.

Los recursos hídricos subterráneos se sitúan principalmente en la zona centro y Norte del AMSS, conociéndose la definición de tres sistemas acuíferos; el de San Salvador, el de Guluchapa, y el de Nejapa.

El conocimiento de estos acuíferos es muy limitado, siendo el de Nejapa el menos conocido de los tres (a pesar de tener estudios zonales detallados), por no haber estudios de la totalidad del acuífero.

El principal conocimiento que se tiene de estos acuíferos radica en el establecimiento de sus límites laterales (no bien definidos en el de Nejapa), direcciones de flujo, niveles piezométricos, datos sueltos de transmisividad y coeficientes de almacenamiento y materiales o formaciones acuíferas que los componen. Se deja sin definir o concretar bien las relaciones con sus límites laterales, los límites verticales, las zonas en las que el acuífero es libre, confinado o semiconfinado³², afecciones de la tectónica a los flujos, caracterización hidroquímica, etc.

Todas las carencias mencionadas limitan la toma de decisiones y la gestión efectiva de éstos. Además hay que añadir que las escalas trabajadas limitan su aprovechamiento en muchos aspectos de la Ordenación Territorial, especialmente a escala local, pues no se definen flujos locales y no son utilizables para definir correctamente perímetros de protección, áreas de influencia de actividades, zonas de captación, redes de control, etc.

Los últimos datos de evolución de niveles en el acuífero del AMSS, parecen indicar que se está produciendo cierta estabilización en los niveles piezométricos. De las estimaciones de pérdidas manejadas por ANDA, se deduce que el principal motivo de que se esté produciendo una aparente

³² Se dispone de datos de coeficiente de almacenamiento que indican que en la mayoría de los puntos ensayados los acuíferos son semiconfinados

estabilización en los niveles, es la recarga inducida por las pérdidas en las conducciones de dicha institución.

El balance hídrico nacional arroja datos demasiado generales y un mapa que indica donde se da el mayor aporte de agua a las reservas (no indica donde están estas reservas). Los datos resultado se valoran como muy optimistas dada la diferencia existente entre la estimación de la variación en el almacenamiento (entendido como recarga) y la demanda según datos de ANDA (275 millones de metros cúbicos al año de recarga, frente a 75´3 millones de metros cúbicos al año).

En cualquier caso, los datos del SNET, basados en el Balance Hídrico, señalan el área del volcán de San Salvador y la zona NW como fundamentales para la recarga acuífera del AMSS.

Las estimaciones de recarga acuífera presentadas por MARN-FORGAES señalan el cráter y las faldas del volcán, junto con las zonas no urbanizadas del Norte de AMSS, como las principales áreas de recarga de aguas subterráneas.

Cabe destacar la gran diferencia encontrada en las estimaciones de variaciones en el almacenamiento realizadas por SNET en su Balance Hídrico y las presentadas por FORGAES como recarga acuífera (siendo de unos 275 millones de metros cúbicos anuales según el Balance Hídrico de SNET a unos 190 millones de metros cúbicos según FORGAES), sin descontar la cesión de aguas a los cursos superficiales o a otros acuíferos.

Debido a que los acuíferos del AMSS están bajo sospecha de sobreexplotación, a que la diferencia entre la recarga estimada y la demanda conocida es mucho menor en el caso del estudio realizado por FORGAESS, a que las escalas de trabajo utilizadas para el mapa RAS son mucho mayores en algunos casos (mas detalladas) y a que este estudio de recarga acuífera no tiene en cuenta las pérdidas del sistema a ríos y otros acuíferos (es decir, el dato de variación en el almacenamiento final será menor y por tanto más próximo a las estimaciones de demanda), la aproximación de FORGAES se valora como más realista, aunque también tiene ciertas carencias en cuanto a la escala de algunos datos utilizados (p.e. tipos de suelo).

Existe en definitiva una valoración de la recarga acuífera en el AMSS que, en el peor de los casos (el dato arrojado por el mapa de recarga de aguas subterráneas de FORGAES –RAS, supone aproximadamente un 100% más recurso disponible del que demanda ANDA.

Ante una diferencia tan grande, cabe preguntarse donde está el resto del recurso. Dados los datos de caudales base ya analizados, se deduce que la cesión de agua a cauces superficiales por parte de los

acuíferos debe de ser muy reducida en caso de existir, por lo que la única salida de recurso posible sería a través de otros acuíferos conectados con los del AMSS.

Es evidente, que la información manejada es muy aproximada y los márgenes pueden ser mucho menores pero, en cualquier caso parece existir la evidencia de que en el AMSS existe un recurso aprovechable mucho mayor que el demandado por ANDA, lo que puede deberse a varios factores:

- La demanda total no dependiente de ANDA (pozos privados, comunidades autoabastecidas, pozos industriales, etc.) es enorme.
- Las estimaciones de recarga y balance hídrico están sobre dimensionadas.
- Existen cesiones de aguas subterráneas a otros sistemas acuíferos no cuantificadas.

Finalmente, la falta de estudios en este sentido determina el desconocimiento de cual o cuales son los recursos disponibles y donde están.

La calidad de los recursos hídricos subterráneos no es bien conocida, pero los datos manejados que indican que:

- Existe contaminación orgánica generalizada, pero de la contaminación química no se tiene suficiente registro. Los análisis realizados son limitados y no tienen mucha continuidad.
- En el entorno de los botaderos, la contaminación de los mantos acuíferos es importante, lo que sugiere roturas en sus aislamientos y mal manejo de los lixiviados.
- Los botaderos no controlados deben de suponer un importante foco de contaminación.
- No se tienen datos en torno a las actividades industriales, por lo que no se puede valorar, pero cabe esperar que muchas dispongan de balsas de oxidación y pozos de infiltración que degraden significativamente la calidad de las aguas subterráneas.

No se tienen cuantificaciones de vulnerabilidad en ninguno de los acuíferos del AMSS, sin embargo, dado que la mayoría de sus superficies suelen ser estimados como semiconfinados y que la profundidad suele ser relativamente alta (más de 20 metros), la vulnerabilidad, en general, no ha de ser muy grande, si bien, existen también grandes zonas (como una buena parte del acuífero de Nejapa-Apopa), en donde el acuífero puede ser clasificado como libre y en donde las profundidades del agua no son muy grandes, aumentando mucho las posibilidades de vulnerabilidades elevadas. Se deben tener en cuenta también aquellas zonas con sistemas de fallas importantes, ya que también suponen fuertes modificaciones en la vulnerabilidad.

Los pozos son puntos donde las condiciones de vulnerabilidad varían, facilitando la accesibilidad y disminuyendo la capacidad de atenuación. Debido a esto, se pueden considerar como puntos potenciales de contaminación, por lo que deben tomarse unas medidas de prevención y protección especiales³³.

Aunque no se trate de vulnerabilidad senso estricto, existen puntos potenciales de contaminación que no se encuentran en superficie (Tanque de gasolineras, pozos de inyección, etc.) en los que las apreciaciones de vulnerabilidad varían.

Presiones sobre el Recurso Hídrico.

Existen al menos dos tipos de presión, las naturales y las inducidas por la actividad antrópica. Dentro de éstas últimas se diferencian las productivas y las de abastecimiento humano.

Las presiones naturales se derivan de eventos (terremotos, erupciones volcánicas y lluvias torrenciales principalmente) y de procesos (principalmente cambio climático, global o local). Sus afecciones son difíciles de controlar salvo en el caso de las producidas por la deforestación³⁴.

Las principales presiones que se dan hoy sobre el recurso hídrico en el AMSS y que tienen una relación más directa con la ordenación del territorio en las competencias locales, son las urbanísticas y las industriales (tanto existentes como proyectadas).

La distribución de la densidad de población en el AMSS no está equilibrada, siendo la zona Norte la que menor presión poblacional soporta (ver figura 28).

Los planes de ordenación del territorio a nivel nacional proyectan la construcción de un anillo periférico que agilice las comunicaciones viales y desahogue el tránsito por San Salvador. Dicho anillo rodea al volcán y pasa por la zona Norte, donde se da la menor densidad de

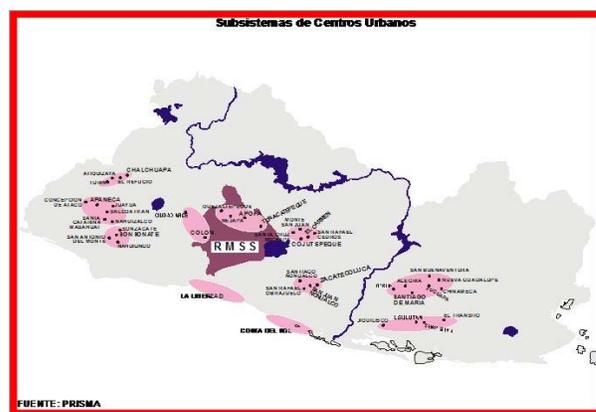


Fig. 28 Mapa de distribución de centros urbanos y densidades de población en El Salvador.// FUENTE: PRISMA "La evolución de la red urbana y el desarrollo sostenible en El Salvador" (1996)

³³ Como dato importante a tener en cuenta, hay que mencionar que el mapa RAS (Recarga de Aguas Subterráneas) existente, puede utilizarse para definir perímetros de protección aproximados.

³⁴ La deforestación está además relacionada con los cambios climáticos locales y con la actividad antrópica.

población y de suelo urbanizado existe en la actualidad, pudiendo desarrollarse tanto el uso habitacional como el industrial en esa zona.

Las previsiones de crecimiento realizadas en PLAMADUR y otros estudios señalan como dirección prioritaria de crecimiento la zona Norte del AMSS y algunos puntos en el Sur, especialmente sobre el volcán y la zona de El Espino y la prolongación del Bulevar Orden de Malta.

El cambio de uso del suelo produce variaciones físicas en las dinámicas del ciclo hidrológico variando la relación entre oferta y demanda y, en muchos casos, la alteración de las propiedades físico-químicas y biológicas naturales del agua.

Las principales afecciones son:

- La disminución de recarga acuífera por impermeabilización del suelo.
- El aumento de la escorrentía superficial, aceleración de la misma y disminución del poder regulador del suelo, lo que favorece las inundaciones y disminuye los caudales base.
- El aumento de demanda sobre el recurso (en algunos casos puede no ser así, habría que enfrentarlo con la demanda anterior, como es el caso de pasar de uso agrícola a uso habitacional o de industria seca).
- El uso habitacional demanda además un agua de calidad apta para el consumo.
- Incremento en la producción de vertidos contaminantes que degradan la calidad del agua por no ser convenientemente manejados.
- En general, aumento del peligro de contaminación.

Es necesario tomar medidas de gestión del recurso que adecuen la oferta con la demanda, tanto en calidad como en cantidad. De igual forma, las actuaciones que se lleven a cabo en el territorio tienen que tratar de preservar, en la medida de lo posible, las dinámicas del ciclo hidrológico, minimizar las demandas y mantener o incrementar la oferta.

Para disminuir la presión de la industria sobre la calidad es necesaria la implantación de procesos industriales más limpios, priorización de las actividades menos contaminantes e implementación de medidas preventivas y de control.

Para finalizar, se presenta un cuadro resumen en el que se diferencian los principales procesos asociado a las presiones y cual es su influencia en el esquema básico de gestión de Recurso Hídrico (Ver tabla 13).

	Aguas Subterráneas				Aguas Superficiales			
	Oferta		Demanda		Oferta		Demanda	
	Cal	Can	Cal	Can	Cal	Can	Cal	Can
Deforestación.	<	V		^	<	<		>
Cambio climático.	<^.	<		>	<	<		>
Erupción volcán.	<	<			<	<		Pt.
Sismo.	<*	V			<*			
Urbanización	<	<	>	>	<	<	>	>
Industrialización	<	<	<#	V(>)	<	<	<#	(>)
Actividad agrícola	<	V	V	(>)	<	V		>

Tabla 13. Relaciones de afección de procesos a ámbitos de la gestión del recurso hídrico

Pt. = Puntualmente

* = la degradación de la calidad viene ligada a la rotura de conducciones, aislamientos de botaderos, etc. Es decir, a la actividad humana.

V = Produce modificaciones que hay que estudiar para evaluar el efecto final.

= El agua requerida para muchos procesos industriales no tiene niveles de exigencia de calidad muy altos normalmente, pero puede variar mucho en función del tipo de industria

< = Disminuye (cantidad) o empeora/menor exigencia (calidad).

> = Aumenta (cantidad) o mejora/mayor exigencia (calidad)

^ = Es posible, de forma indirecta.

() = Normalmente.

Los motivos por los que se producen estas afecciones ya se han explicado en este informe, sin embargo en este apartado de conclusiones se debe decir que estas afecciones se pueden y se deben evitar o, cuando menos, minimizar.

En el caso de los procesos y eventos naturales descritos no se pueden tomar medidas de prevención más que a nivel global y las de mitigación son complejas y estarían mejor incluidas en las medidas de mitigación de riesgos geológicos e hidrometeorológicos. Aunque cabe recordar que, según lo presentado hasta ahora, la reforestación es siempre una actuación necesaria.

Debido a estas particularidades, las principales actuaciones (aparte de la mencionada reforestación) que se pueden tomar están en el campo de la urbanización, la industrialización y el sector agrícola.

Zonificación del Territorio.

En base a interacción de las distintas características territoriales y presiones descritas hasta el momento, se pueden realizar zonificaciones donde la combinación de elementos y circunstancias posibiliten unas recomendaciones generales para cada zona. La zonificación presentada ha procurado tener un resultado de fácil implementación, por lo que se han limitado los elementos a enfrentar para que dicha zonificación no sea demasiado numerosa.

El esquema seguido para la zonificación sigue las pautas llevadas hasta ahora, tomando por una parte las características territoriales para el recurso hídrico, y por otro, las presiones existentes. También se ha tenido en cuenta que el objetivo fundamental de esta sectorización es dar

recomendaciones para su aplicabilidad a la ordenación del territorio (Ver tabla. 14). Es por esto que la zonificación de presiones antrópicas, se han dividido en proyectadas y ocupadas dado que las medidas a tomar en zonas proyectadas son de índole preventiva y las de las zonas ocupadas son de índole mitigatoria.

Las presiones naturales sobre cada una de las zonas presentada, en función de la distribución del recurso hídrico en el territorio, son muy amplias y complejas de analizar.

Los eventos sísmicos y volcánicos, son elementos de presión con zonificación en el territorio, que se deben tener en cuenta más directamente en la Gestión de Riesgos ya que las afecciones al recurso hídrico debidas a estos procesos son casi siempre inevitables y difícilmente predecibles.

En el caso del cambio climático, el proceso no tiene una zonificación específica en el territorio, por lo que no se puede representar, sin embargo ha de tenerse en cuenta en la planificación a largo plazo, puesto que las condiciones ambientales que definen cuantitativamente el ciclo del agua pueden cambiar considerablemente. En cualquier caso la única actuación posible es referida al cambio climático local. En este sentido, la reforestación y proyección de bosques puede mejorar las condiciones de microclima o del clima local.

Por último, y a colación del párrafo anterior, cabe decir que el proceso natural, con zonificación territorial, sobre el que más claramente podemos incidir en la ordenación del territorio es el de deforestación, siendo además de gran importancia por la incidencia que tiene en las dinámicas de las aguas superficiales y subterráneas tanto en calidad como en cantidad y tanto en afecciones a oferta como a la demanda.

Es por todo esto que la zonificación de la presión ambiental se ha reducido en la práctica a la deforestación y, en definitiva, los espacios no intervenidos o abandonados tras una intervención de deforestación.

PRESIONES/ ÁREAS	Recurso Hídrico Subterráneo		Recurso Hídrico Superficial		Recarga
	Zona Acuifera	Z. No Acuifera	Vertiente	Cauce	
Naturales	AcN	NACN	VN	CN	RN
Proyectadas	AcP	NACP	VP	CP	RP
Ocupadas	AcO	NACO	VO	CO	RO

Tabla 14. Cuadro de zonificación.

La recarga es un proceso que se da en todo el territorio y cuya zonificación es cuantitativa. En este sentido, una zonificación completa sería resultado del cruce de estas zonas con zonas de recarga cuantificadas y calificadas según su importancia.

La zona no acuífera se ha incluido en el esquema de zonas de presión como posibles zonas de recarga indirecta por escorrentía subsuperficial, dado que, como ya se ha visto, según el balance hídrico y según el mapa de recarga acuífera, existen muchas zonas de recarga situadas en zonas entendidas o clasificadas como no acuíferas o de baja permeabilidad. Por otro lado, hay que tener en cuenta que en estas zonas pueden tener pequeños acuíferos superficiales (o incluso acuíferos de bajo rendimiento) dado que no existen estudios de detalle. Las zonas de materiales finos de baja o muy baja permeabilidad no han de presentar en principio acuíferos someros ni escorrentía subsuperficial significativa, sin embargo, los materiales rocosos pueden presentar un grado de facturación elevado que varía las condiciones iniciales de impermeabilidad, además, la alteración (en bolos o en lajas generalmente) que se presenta en superficie en muchos de estos materiales, pueden producir pequeños acuíferos someros de relativa importancia, tanto para su aprovechamiento como para la protección de acuíferos o cauces con los que pudieran estar conectados.

Para tener una impresión gráfica de los grupos de zonificación concluidos tras la descripción territorial (que se tendrán en cuenta posteriormente para las recomendaciones), se presenta la figura 29.

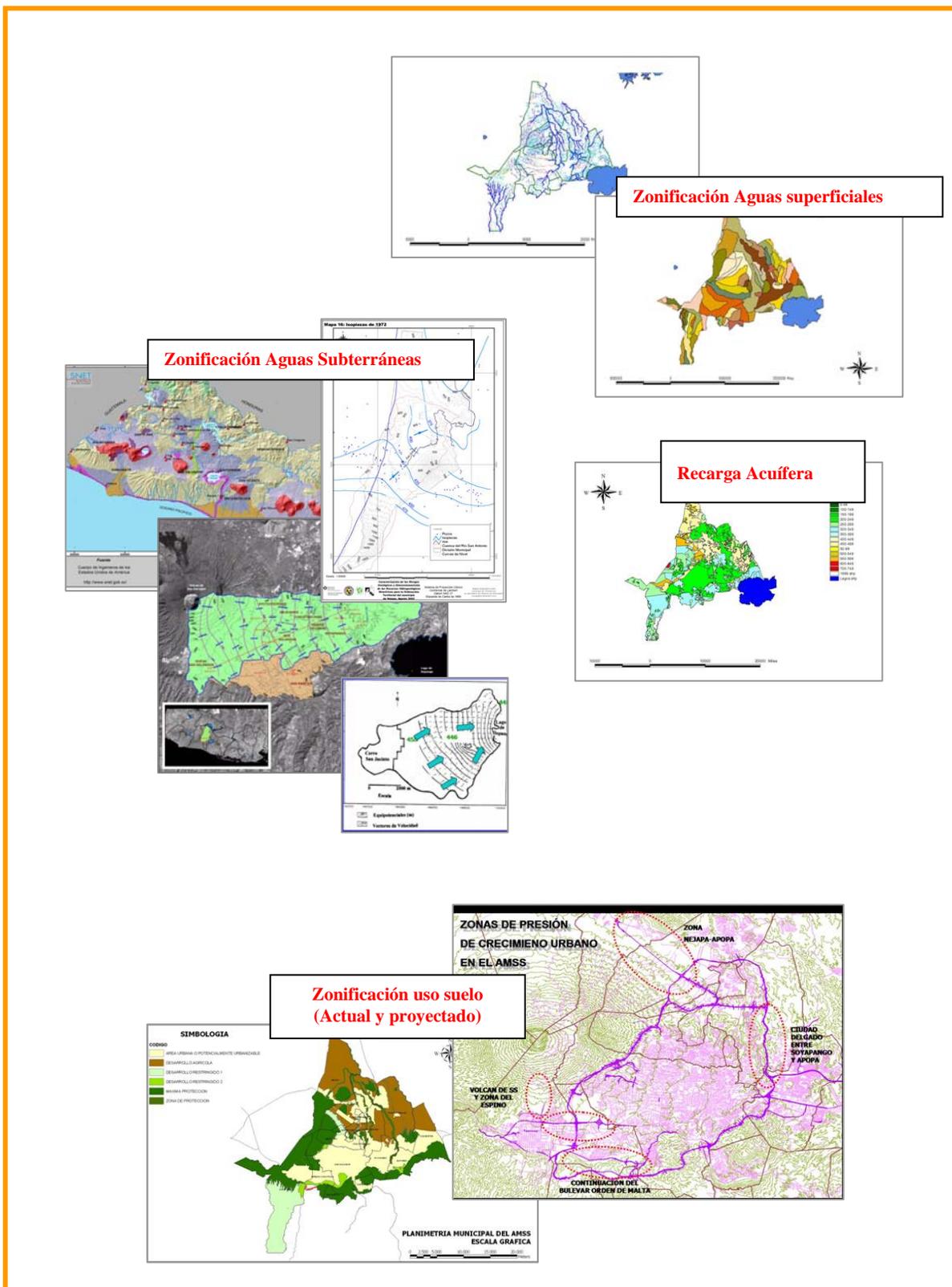


Fig. 29 Esquema gráfico Zonificaciones

RECOMENDACIONES.

Al igual que en el capítulo de conclusiones, las recomendaciones se abordarán en diferentes fases. En la primera, se afrontarán recomendaciones generales relacionadas con lo visto anteriormente, en la segunda, se abordarán las recomendaciones específicas sobre cada una de las zonificaciones genéricas presentadas anteriormente, y finalmente se realizarán unas valoraciones en torno a opiniones formadas durante la realización de este diagnóstico y se recomendará una priorización de actuación.

Todas las recomendaciones aquí incluidas van dirigidas a la gestión del recurso hídrico y a su relación con la ordenación del territorio en todos sus aspectos. La finalidad de cada una de ellas y de todas en su conjunto, es mantener o encontrar las relaciones de oferta y demanda en cantidad y calidad que aseguren la sostenibilidad del manejo del recurso hídrico y, por tanto, del desarrollo.

Recomendaciones generales.

Dado que el AMSS no tiene una delimitación acorde con ninguna cuenca o subcuenca no es posible pensar en ningún organismo de cuenca interno, sin embargo, dada la gran importancia que puede tener en la gestión del recurso y que los problemas y soluciones a aplicar en esta materia, son muchas veces intermunicipales, sería conveniente constituir una mesa de aguas metropolitana en la que tenga representación, al menos, cada uno de los 14 municipios del AMSS y la OPAMSS, como representación y brazo técnico común e instrumento de apoyo³⁵.

Las principales labores que se pueden abordar en materia de recurso hídrico se centran en la gestión del ciclo hidrológico.

Las actuaciones generales a realizar son:

Redacción de metodologías y protocolos para la sistematización de datos e información, tanto existente como generada, y posterior sistematización de dicha información con el fin de posibilitar y agilizar el trabajo en esta área.

Redacción, puesta en común y aplicación de requisitos para la ordenación territorial (perímetros de protección, redes de control, concentración de actividades en función de su naturaleza y de sus necesidades de calidad y cantidad de agua, etc.).

³⁵ Las funciones de dicha mesa habría que definir las y serían parte del diagnóstico institucional, sin embargo, se ha incluido aquí por la relación que se establece entre las políticas de gestión del recurso hídrico y su situación territorial.

En este sentido, resulta especialmente importante la realización de un plan de manejo de aguas lluvia, puesto que no sólo se debe tratar de mantener las dinámicas naturales, no acelerar y aumentar las escorrentías y recuperar la infiltración perdida por la impermeabilización de terreno, sino que también se han de tomar como una fuente de recurso alternativo y pensar en su utilización como medio para aumentar la oferta.

Realización de planes de divulgación y concienciación implementados de la mano de normativa para el ahorro y protección del recurso hídrico.

Tratamiento de las aguas servidas. Imprescindible para la recuperación del río Acelhuate, puesto que como se ha visto, constituyen un alto porcentaje del caudal base del mismo (Prácticamente el 100%) a la salida del Área metropolitana.

Limpieza de márgenes de cauces de ríos (basuras principalmente) y control para eliminar la proliferación de botaderos incontrolados.

Esta actividad no sólo protege las aguas superficiales de la contaminación, sino también las subterráneas por la eliminación de los lixiviados. De otra parte, también hay que tener en cuenta que en momentos de crecida, las basuras acumuladas en los márgenes de los ríos pasan a formar parte de la riada, contribuyendo a las complicaciones más frecuentes en estos eventos (materiales en suspensión, represamientos, etc.)

Tratamiento de aguas residuales de las actividades industriales. A través de normativa y ordenanzas para requerimientos o mediante la imposición de tasas o impuestos que permitan la implementación de plantas de tratamiento y su mantenimiento por parte de la municipalidad³⁶.

Realización de actividades para el control y el monitoreo, tanto de actividades potencialmente contaminantes como del estado de los recursos hídricos (en cantidad y en calidad).

Esta es la única manera efectiva de poder conocer el estado de los recursos y conocer su dinámica, lo que constituye la principal herramienta para la toma de decisiones (denuncias, limitaciones, medidas de recuperación, actividades a autorizar, etc.)

Realización de estudios hidrogeológicos de detalle y/o revisión y ampliación de los existentes (tanto en la escala como en el conocimiento que aporten), que permitan su aplicación directa a la ordenación del territorio a nivel local.

³⁶ Se valora como de más fácil implementación los requisitos, pero en cualquier caso debe existir un control de estas actividades.

- Realización del Balance hídrico regional que permita conocer de forma más precisa la influencia en cada zona de las actividades antrópicas y de la ocupación del territorio para la realización de dichas actividades. Este balance debe aportar información completa sobre las completas.

La necesidad de este Balance se hace manifiesta cuando comprobamos que, tanto los datos del Balance hídrico de SNET como los de recarga acuífera de FORGAES-MARN presentan un recurso disponible mucho mayor que la demanda hecha pública por ANDA, por lo que cabe preguntarse si los datos son correctos y si no hay pérdidas de aguas subterráneas a otros sistemas acuíferos (por lo que además será necesario acompañar este Balance de mapeos hidrogeológicos completos del Área Metropolitana y alrededores).

Este instrumento de gestión también sirve como base para la evaluación de la influencia de los cambios de uso de suelo en la dinámica del Recurso Hídrico y la cantidad de recurso acumulado finalmente.

- Realización del mapeo hidrogeológico del AMSS y alrededores completo de forma que se puedan definir las relaciones entre los distintos acuíferos y cuales son las entradas y salidas naturales del sistema
- Estudios de definición de escorrentías subsuperficiales y cesión de aguas de zonas de baja permeabilidad a los mantos acuíferos. Este tipo de estudio es de gran importancia dado que, según se desprende del mapeo de Balance Hídrico del SNET, la mayor cantidad de agua para el almacenamiento se genera en zonas elevadas y muchas veces estimadas como de baja permeabilidad (Tal es el caso de la cordillera del Bálsamo, el cerro de San Jacinto o el Volcán de San Salvador³⁷).
- Realización de mapas de Vulnerabilidad acuífera que permitan orientar al tipo de actividades a permitir en cada zona.
- Realización de mapas de puntos y zonas potencialmente contaminantes en base al potencial de contaminación de actividades industriales, comerciales, etc.
- Este tipo de mapas, junto con el de vulnerabilidad, permite priorizar zonas y puntos de control y monitoreo.

³⁷ Si bien este último está incluido en los límites del acuífero de San Salvador, la dinámica del acuífero en él no está bien definida.

- Actualizar y mejorar las escalas de mapas base necesarios para los distintos tipos de estudios de recuro hídrico necesarios. Resulta especialmente significativa esta necesidad en el caso de los mapas de tipo de suelo, de uso de suelo, geológico, topográficos y puntos de contaminación. Así como otro tipo de información base como son los inventarios de puntos de agua, con toda su información completa (columna litoestratigráfica, ensayos de bombeo, etc.).
- Realización de prototipos de recarga acuífera artificial teniendo en cuenta todos los factores (tipo de aguas a infiltrar, admisión máxima de agua en la zona a infiltrar, zona a infiltrar, mantenimiento de la instalación, etc.).
- Sistematizar la información existente y la generada ya que agiliza y posibilita la realización de todo tipo de trabajos.

Construcción de infraestructura para el levantamiento de datos en el terreno (Aforos; lisímetros; estaciones termopluviométricas; etc.).

Construcción de infraestructura para la mejora de la regulación y del sistema de oferta y demanda (sistemas de recarga artificial; pequeños embalses o represas³⁸ en cauces rápidos y temporales; etc.)

Recomendaciones sobre la zonificación.

Las recomendaciones aquí presentadas son genéricas y constituyen una primera aproximación a las actuaciones viables y al posible manejo de las presiones. No es el fin de este documento presentar alternativas completas ya que siempre se precisa de estudios concretos para cada área.

Para facilitar la utilización de este apartado, se distribuyen las recomendaciones en función de la zonificación realizada en el apartado de conclusiones (Ver Tabla 14) y principalmente en base a las presiones manejadas.

Seleccionada una zona de trabajo, las recomendaciones particulares saldrán de superponer esta zona con los mapas temáticos disponibles.

³⁸ Las represas según su ubicación y tipo, pueden regular la escorrentía superficial, suponer un incremento de la recarga, servir de almacenamiento, etc. Sin embargo presentan serias complicaciones para el mantenimiento (principalmente por la colmatación) y la ejecución, además de que pueden suponer un elemento de incremento de la amenaza especialmente ante los eventos sísmicos.

Recomendaciones en torno a las Presiones naturales:

Debido a todas las particularidades de este tipo de presión, casi todas las recomendaciones se hacen de forma general.

Reforestación de áreas naturales sin cobertura vegetal o con una cobertura muy poco densa. Se recomienda prestar especial atención al entorno más inmediato a los cauces.

Utilización de los mapas de amenaza e hidrogeológicos para diseño de redes de monitoreo ante situaciones de emergencia o de alerta.

En zona acuífera y de cauce (AcN & CN):

Monitoreo de concentración de elementos peligrosos fruto de la contaminación natural.

Esta actuación es especialmente importante en los pozos de producción para consumo humano, ya que la constante variación de niveles puede facilitar e incrementar la concentración de estos elementos.

Recomendaciones en torno a las Presiones de proyección de cambio de uso de suelo:

Puesto que no se conoce la proyección de nuevas zonas agrícolas en el AMSS, las recomendaciones se centrarán en lo urbanístico (habitacional e industrial).

Antes de entrar a las recomendaciones particulares de cada zona se debe especificar que, previo a la concesión de permisos particulares, suele existir un plan parcial de ordenamiento territorial. Es precisamente en los planes parciales donde se deben incluir la mayoría de estudios y requisitos, por lo que los trabajos realizados deben ir acompañados de la participación de los distintos actores implicados. Debe ser responsabilidad de los organismos técnicos y administrativos responsables de la ordenación territorial, el llevar a cabo las coordinaciones y los planes de divulgación y los planes de concienciación necesarios para la participación en la realización de los estudios y requisitos exigidos.

Algunas de las recomendaciones conllevan un seguimiento y mantenimiento de infraestructura, por lo que siempre se deben incluir planes de manejo asociados a este tipo de obras. Un plan de manejo de vertidos sólidos es también imprescindible para evitar complicaciones posteriores.

En zona acuífera (AcP):

Establecer restricciones en base a la zonificación de vulnerabilidad acuífera. (p.e. evitar industria farmacéutica, química, almacenaje de Hidrocarburos, etc. En zonas de mayor vulnerabilidad).

Establecer requerimientos mínimos para la construcción en pro de la protección del recurso ante la contaminación.

Proyectar infraestructura de recarga acuífera capaz de reducir los efectos de disminución de la oferta y aumento de la demanda.

Ordenar de manera lógica las actividades en base a las direcciones de flujo y dinámicas subterráneas.

Las más importantes a tener en cuenta son:

- Las captaciones para abastecimiento no se situarán aguas debajo de actividades potencialmente contaminantes, o al menos se situaran a una distancia mínima de atenuación que dependerá del tipo de contaminante posible.
- Siempre que sea posible las actividades industriales se situarán aguas debajo de las zonas urbanas o habitacionales. Cuando esta práctica contradiga las recomendaciones por vulnerabilidad acuífera, será necesario una evaluación más detallada.
- Establecimiento de perímetro de protección de captaciones (pozos y manantiales)³⁹
- Establecimiento de redes de control y monitoreo en torno, al menos, a las actividades con mayor peligro de contaminación.

En muchas ocasiones, existen pozos en la zona a intervenir. Estos pozos pueden ser utilizados para el monitoreo si no se eliminan y si están situados convenientemente. En cualquier caso hay que tomar las medidas mínimas para asegurar la no contaminación del propio pozo. Además, siempre puede dejarse para el control de estado del acuífero, independientemente de las actividades peligrosas posibles, como control de contaminación difusa (perdida en alcantarillados, infiltración de fertilizantes, etc.)

Es importante también pensar en la recarga artificial (bien por aguas de lluvia o bien por reinyección de aguas tratadas), puesto que el agua que se recarga en una zona (normalmente urbana), puede ser aprovechada aguas abajo en zonas industriales.

Utilización de materiales sismorresistentes y técnicas de construcción adecuadas, al menos en las conducciones de aguas servidas, que mitiguen la posible contaminación por pérdidas en la red.

³⁹ Existen metodologías que toman como base la recarga acuífera en vez de los flujos y parámetros hidráulicos del acuífero.

En zona no acuífera (NAcP):

Realización de estudios de escurrentía subsuperficial y aguas subterráneas locales.

En base a estos estudios, se deben establecer unos criterios similares a los de las zonas acuíferas que aseguren la protección del recurso. Debido a las alteraciones que se pueden producir, es especialmente recomendable este tipo de estudio en aquellas zonas en las que el material impermeable sea rocoso.

En zona de vertiente (VP):

Siempre se debe de tener en cuenta el aumento de escurrentía que se produce como consecuencia de la impermeabilización del terreno, por lo que se debe incluir infraestructura de retención de escurrentías (almacenamiento temporal, infiltración directa, etc.)

Proyección de plantas de tratamiento de vertidos previos a su salida a los cauces naturales.

Proyección de infraestructura para generar recurso alternativo (utilización de aguas lluvia)

En zona de cauce (CP):

Definir correctamente y establecer zonas de cauce en las que no debe implementarse ningún tipo de actividad.

Existen algunas actuaciones posibles que regulan la escurrentía en el cauce, pero deben ser estudiadas y evaluadas convenientemente ya que pueden tener efectos perjudiciales. En cualquier caso la limpieza de cauces es siempre una actuación que en zonas proyectadas ha de estar incluido como planes de manejo.

En zona de recarga (RP):

Evaluación del cambio potencial en la recarga tras el cambio de suelo. Si bien se debe tener en cuenta también a nivel Balance hídrico ya que el cambio en el uso de suelo puede conllevar también una reducción considerable de la demanda.

En el caso de cambio de uso agrícola por habitacional es de especial interés calcular la relación entre pérdida de recarga (si es que la hay, puesto que según el tipo de planta, estado vegetativo y tipo de riego, pudiera ser que la Evapotranspiración fuera muy elevada y la infiltración muy baja) y la variación de la demanda. Sería conveniente en estos casos calcular el tipo o la densidad de lotificación en base a la cual el Balance hídrico puntual puede quedar igual que estaba antes de la modificación.

Realización de mapas detallados de recarga o mejora en la escala del existente.

En base al mapa de recarga existente, se recomienda la protección de las áreas de mayor recarga y la regulación de lotificación en base a la recarga previa. En caso de que esto no sea posible, se debe utilizar esta zonificación para calcular la recarga mínima que ha de producirse de forma artificial.

Recomendaciones en torno a zonas ocupadas:

Como recomendación general y fundamental cabe recordar la necesidad de implementar planes de divulgación y concienciación, especialmente para el ahorro y para las prácticas de protección y respeto al medio ambiente y, en concreto, al recurso hídrico.

La disminución de la demanda no sólo está relacionada con la concienciación y las buenas prácticas, sino que también existe tecnología de ahorro de agua a todos los niveles (maquinaria industrial de alto rendimiento, ciclos de refrigeración industrial cerrados, sistemas de ahorro para el hogar, etc.)

En zona acuífera (AcO):

Rehabilitación paulatina de conducciones, especialmente de las de alcantarillado.

Generar normativa para la implementación y actualización de instalaciones que permita utilizar las aguas lluvia como recurso alternativo⁴⁰.

Realizar estudios de viabilidad para la recarga acuífera inducida⁴¹.

Generar normativa de regulación de actividades y de instalaciones en empresas urbanas y de servicio así como actividades industriales (Lavaderos, gasolineras, embotelladoras, etc.). Estos cambios han de plantearse paulatinamente, y sin duda, deben tener carácter retroactivo.

Controlar instalaciones y funcionamiento de las actividades reguladas, así como establecer una red de monitoreo en torno a las actividades más peligrosas.

Conociendo las actividades que se quieren controlar y los flujos subterráneos se pueden definir los puntos de control y los parámetros a analizar, disminuyendo así el costo final de las labores de monitoreo.

⁴⁰ El efecto sería doble, puesto que además serías sistemas de disminución de la escorrentía.

⁴¹ Existen muchas dificultades para la implementación de este tipo de obras en zonas ya urbanizadas (necesidad de introducir infraestructura de apoyo, limitaciones de espacio ante las alternativas de infiltración en superficie, etc.)

En zona no acuífera (NAcO):

Generar y aplicar normativa de requerimientos de prevención a la contaminación.

Estudios de escorrentía subsuperficial.

Implementar obras de manejo de aguas lluvia.

En zona de vertiente (VO):

Realizar obras de regulación de escorrentías (métodos de disminución de la velocidad de concentración, retención de parte de la escorrentía, etc.)

Cuidado, conservación y mantenimiento de las zonas verdes y deportivas abiertas.

En zona de cauce (CO):

Definición y establecimiento de límites de cauces y eliminación o enterramiento de instalaciones realizadas en él o que lo atraviesen.

Inventariar puntos de vertido, separando los industriales de los urbanos.

En base a la ordenación existente, espacios disponibles y la situación de puntos de vertidos, se debe proyectar la ejecución de plantas de depuración.

Limpieza y canalización de cauces naturales. Siempre ha de haber un estudio previo que estime los efectos aguas debajo de este tipo de obras y las posibles formas de atenuación o mitigación de dichos efectos.

Estudios especializados para el encauzamiento de ríos.

En zona de recarga (RO):

La recarga acuífera en zonas ocupadas, principalmente en zonas urbanas e industriales, es muy baja. La práctica totalidad de la recarga natural se produce en las zonas verdes, de ahí la importancia de conservarlas, mantenerlas y protegerlas.

Valoraciones

Finalizado ya el diagnóstico propiamente dicho, se ha realizado una pequeña valoración de lo presentado y se concluye con una propuesta de priorización de actuación.

Sin duda, una de las primeras actividades a abordar está dirigida a mejorar y agilizar el trabajo en esta área. Para esto se antoja imprescindible la sistematización de la información y la creación de sistemas y protocolos para esta sistematización y posterior tratamiento de la información.

La coordinación con las instituciones más directamente implicadas es imprescindible, tanto para el manejo de la información (levantamiento, recopilación, sistematización y procesamiento) como para la realización de los trabajos técnicos necesarios.

Divulgación y concienciación del estado del recurso hídrico y de las buenas prácticas para la conservación y el respeto por el medio ambiente. Esta es la herramienta fundamental para detener el deterioro, ya que ninguna actuación es suficiente si no existe conciencia, respeto y buenas prácticas.

La degradación del recurso es tan alta que las medidas para la recuperación son sumamente difíciles de abordar y tienen un costo muy elevado⁴² mientras que las medidas preventivas tienen un costo mucho menor y mayores posibilidades de implantación, por lo que se valora prioritario poner freno a la forma de crecimiento que ha llevado a este deterioro, es decir, el mayor esfuerzo en lo preventivo, en la presión proyectista. La zona del anillo periférico se presenta ahora mismo como la de mayor presión.

En este sentido, las principales actividades a realizar son:

- Estudios Hidrogeológicos que abarquen la zonas de mayor presión proyectista que permitan ordenar mejor el territorio y las actividades a desarrollar en él; disponer de una base para la implementación de mapas de vulnerabilidad; definir perímetros de protección y planes de control y monitoreo.

En las zonas entendidas como no acuíferas a escala de la región, también es importante valorar los posibles acuíferos superficiales y la escorrentía subsuperficial.

- Definir en estas mismas zonas los mapas de vulnerabilidad.
- Crear e implementar un plan de manejo integral de aguas lluvias (incluiría control de escorrentías, utilización de las aguas lluvias como recurso alternativos, utilización de aguas lluvias para la recarga acuífera, etc.).
- Definir requisitos al menos para:

⁴² Sin duda es un aspecto imprescindible de abordar, pero las condiciones y recursos necesarios hacen obligatorio la intervención de varias instituciones. Sin embargo, existen algunas actuaciones que sí se pueden abordar desde los gobiernos locales y es, principalmente, a través de ordenanzas de actualización de instalaciones (sistemas de ahorro, depuración, aprovechamiento de aguas lluvia, etc.).

- Prevención a la contaminación para actividades y para construcción.⁴³
- Sistemas de ahorro de consumo.
- Sistemas de manejo de recursos alternativos.
- Diseñar e implementar planes de divulgación y concienciación especializados hacia los distintos sectores sociales (ciudadanía, empresa privada, comunidades de regantes, etc.)
- Definición y aplicación de medidas de compensación ante la pérdida de recarga (recarga artificial; recursos alternativos; proyección de áreas verdes, etc.).
- Inventariar y sistematizar la información de recurso hídrico y de actividades como puntos y zonas potencialmente contaminantes.
- Realizar planes de reforestación y de recuperación de cauces naturales.
- Crear un plan de control y monitoreo, al menos sobre el estado del recurso en cantidad. Las actividades más peligrosas y la posible afección a pozos de producción es también de suma importancia.

Es de esperar que una vez realizados los estudios y planes necesarios para la proyección de crecimiento, las actividades a realizar en este sentido se reduzcan al control y actualización de insumos, lo que permitirá abordar más enfáticamente las medidas de mitigación o recuperación.

⁴³ Pudiendo hacerse tanto para actividades de forma individual como para zonas de un tipo de actividad (p.e. requisitos de construcción para gasolineras o para planta de tratamiento de zona de bodegaje).

BIBLIOGRAFÍA

- Banco Mundial (2002). “Protección de la Calidad del Agua Subterránea” -realizado por: Stephen Foster; Ricardo Hirata; Daniel Gomes; Mónica D’Elia; Marta París-.
- MARN y MOP (2003) PNOTD (Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial), realizado por EPYPSA e IBERINSA.
- CYTED (2001) “Estado de los Recursos Hídricos” de El Salvador.
- Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América (1998) “Evaluación de Recursos de Agua de la República de El Salvador”.
- PNUD (1982) “PLAMDARH (Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos)”.
- MOP-VMVDU (Edición 2002) PLAMADUR AMSSA (Plan Maestro de Desarrollo Urbano del AMSS Ampliada).
- José Roberto Duarte Saldaña (1998) “Estudio hidrogeológico del acuífero de Guluchapa”.- Tesis para optar al grado de magíster scientiae, Universidad Rodrigo Facio (Costa Rica)-.
- Ricardo Dennis Arévalo Romero, Baldomero José Vásquez Naranjo (2005) “Actualización del comportamiento del flujo subterráneo del acuífero metropolitano (San Salvador)” -Tesis para graduación en la facultad de ingeniería y arquitectura de la UCA-.
- Juan Carlos Bertoni, Carlos Gastón Catalina (2005) “Dispositivos de Regulación y control del drenaje pluvial urbano”.
- Martin Junker (2005) “Método RAS: Método para determinar la Recarga Acuífera Subterránea”.
- Alcaldía de Nejapa (2005) “Estudio territorial de Nejapa”.
- Alcaldía de Nejapa “Mejoramiento y uso racional del río San Antonio”.
- ANDA (1972). Informe proyecto zona norte.
- Alcaldía de Nejapa (2003) “Caracterización de los Riesgos Geológicos y Dimensionamiento de los recursos Hidrogeológicos. Directrices para la ordenación territorial del Municipio de Nejapa” –realizado por Geólogos del Mundo-.

- Universidad Centroamericana José Simeón Cañas UCA (2001) “Ordenamiento territorial de Nejapa –compendio de estudios fase II” Estudio “Caracterización de los recursos hídricos del municipio de Nejapa” -realizado por Francesc Bellaubí-.
- PRISMA (boletín 7, 1994) “El acuífero de San Salvador”.
- PRISMA (boletín 42. 2001) “Acceso al agua potable en El Salvador: Tendencias, perspectivas y desafíos”.
- PRISMA (1995) “El Salvador: Dinámica de la degradación Ambiental”.
- PRISMA (1995) “Recursos de información sobre el agua en El Salvador: Situación actual y desafíos”.
- PRISMA (boletín 5, 1994) “El Agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador”.
- PRISMA (Boletín 43, 2001) “La contaminación del agua en El Salvador: Desafíos y respuestas institucionales”
- PRISMA (Boletín 44, 2001) “Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador: Tendencias y desafíos para la gestión territorial”.
- FUNDE (1996) “Gestión ambiental desde el municipio: Hacia la definición de un marco legal e institucional. El caso del municipio de Nejapa”.
- Ricardo Hirata (2005). “Módulo de monitoreo de cantidad y calidad de las aguas subterráneas” (Documentación del Curso).
- MOP et. al. (2002) “Resumen PLAMADUR AMSSA”.
- UNES (2005) “Hacia la Gestión Sustentable del Agua en El Salvador”.
- SNET (2002) “Informe análisis del comportamiento hídrico en El Salvador. Posibles causas e implicaciones”.
- SNET “Calidad de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas: Sucio, Acelhuate y Cuaya”.
- SNET (2005) “Balance Hídrico Integrado y Dinámico de El Salvador. Componente Evaluación de Recursos Hídricos”
- Datos estadísticos de población de El Salvador DIGESTYC.

CARTOGRAFÍA

- Mapa de Recarga de Aguas Subterráneas -RAS-. FORGAES (2005).
- Mapa de Balance Hídrico “Cambio de Almacenamiento Anual”. SNET (2005).
- Mapa Hidrogeológico del acuífero de San Salvador. Ricardo Dénos Arévalo Romero y Baldomero José Vásquez Naranjo (2005).
- Mapa de usos de suelo. SNET (2003).
- Mapa Hidrogeológico del término municipal de Nejapa. Geólogos del Mundo (2003).
- Plano de Previsión de Crecimiento. OPAMSS (PLAMADUR AMSSA 2002).
- Plano de zonas de proyección de crecimiento en el AMSS proporcionado por la OPAMSS (2005).
- Mapa de Recursos Hídricos Subterráneos. SNET (2002).
- Mapa “Diferencia porcentual de caudales de la época seca 2001-2002 respecto a la década 1970-1980”. SNET (2002).
- Mapa Hidrogeológico del acuífero de Guluchapa. José Roberto Duarte Saldaña (1998)
- Mapa de Recursos de agua superficial. MARN.
- Mapa Hidrogeológico de El Salvador. MARN.

BASES DIGITALES UTILIZADAS (PROPORCIONADAS POR OPAMSS)

- Cuencas y Microcuencas del Departamento de San Salvador.
- Red de Drenaje natural del AMSS.
- Límites geográficos de los municipios del AMSS.
- Red vial principal del AMSS y alrededores.



ANEXOS

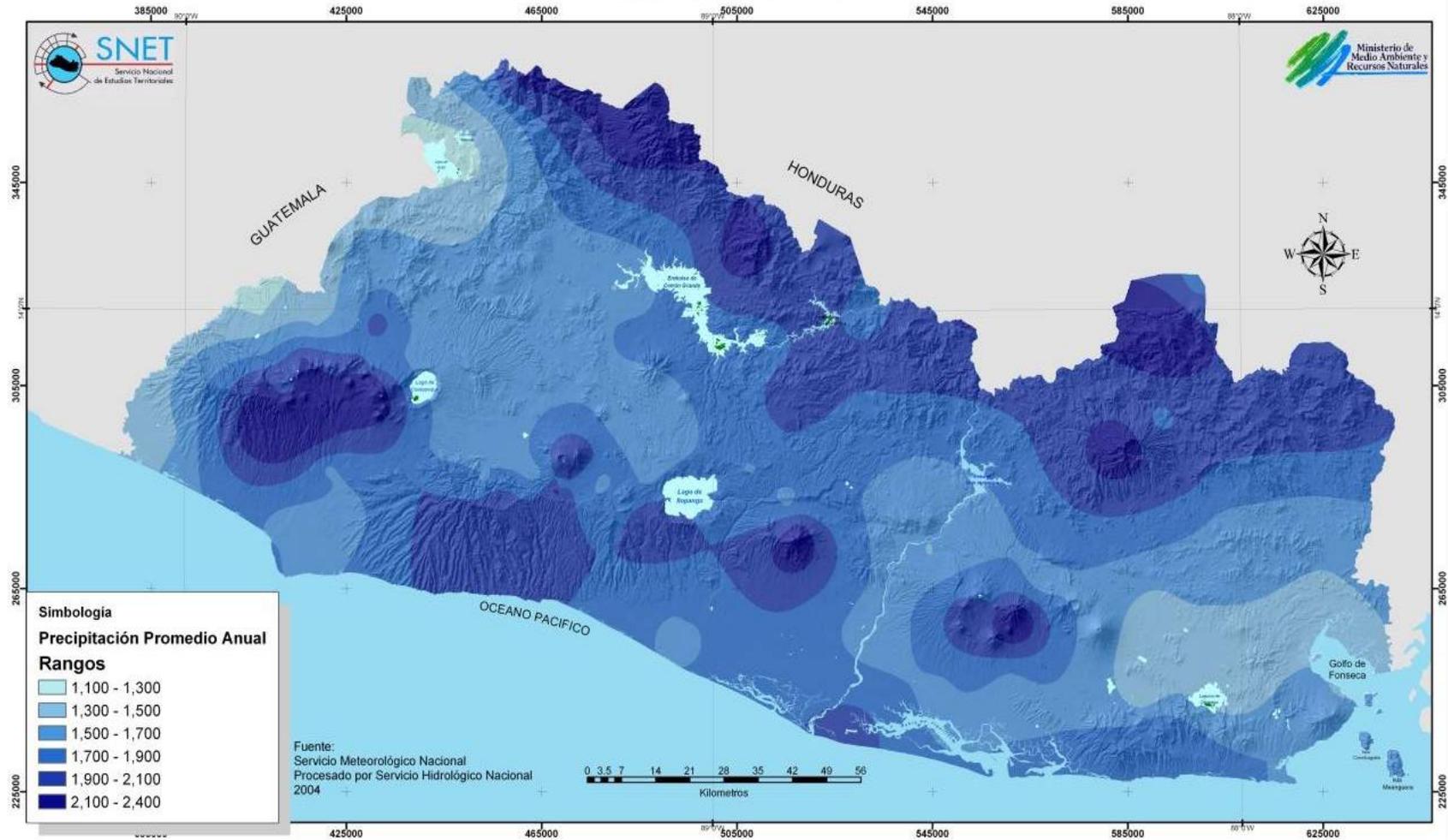


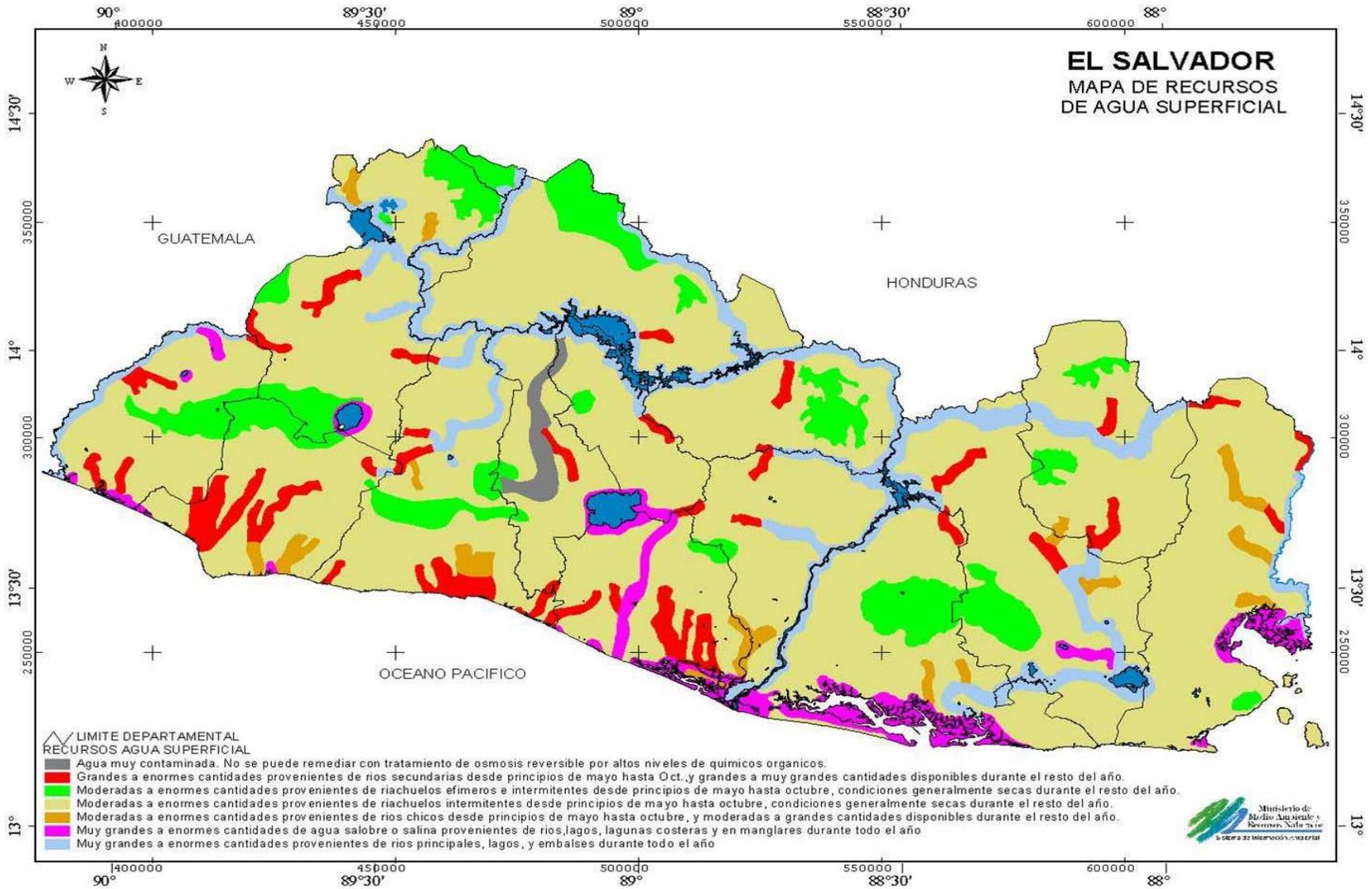
ANEXO I

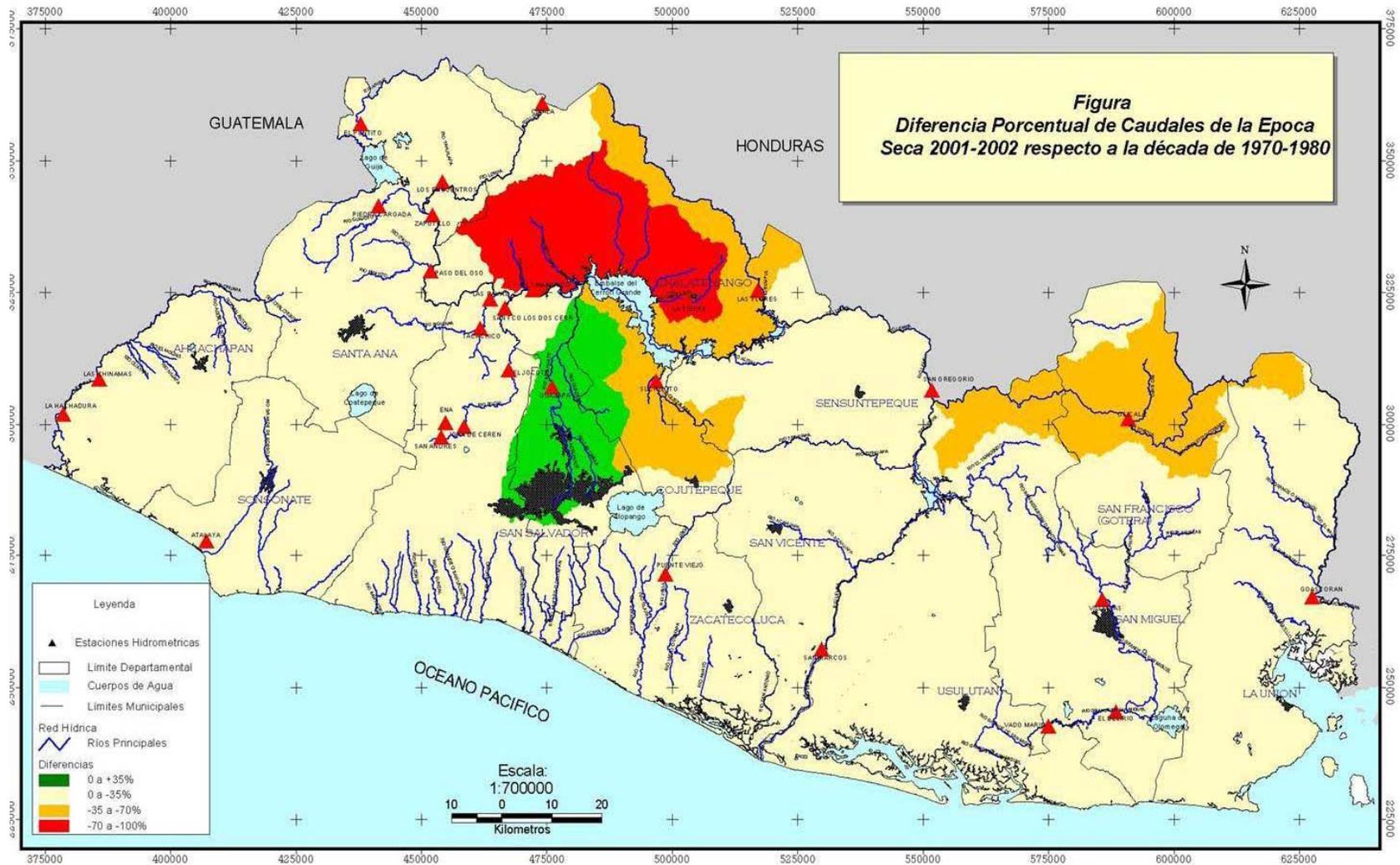
MAPAS

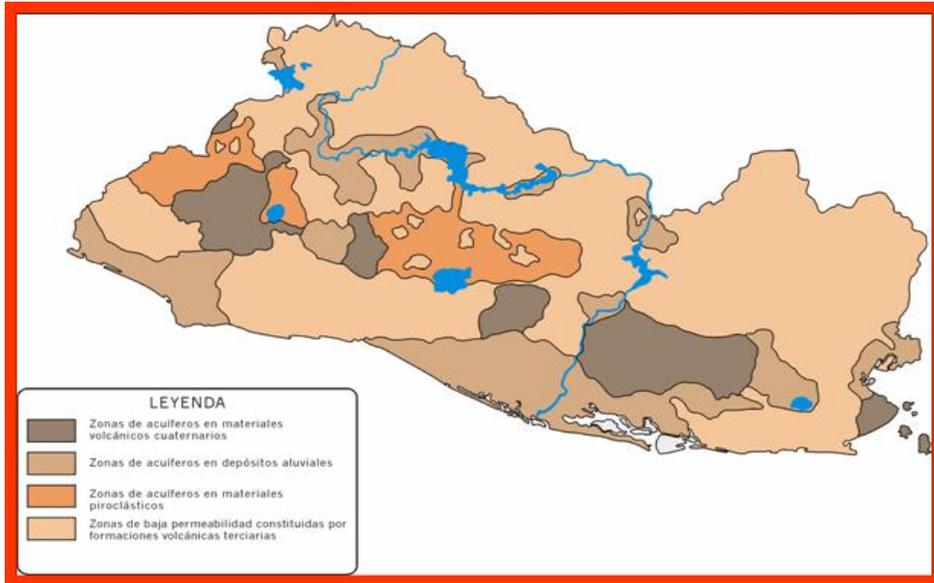


Precipitación Promedio Anual Período: 1971-2001

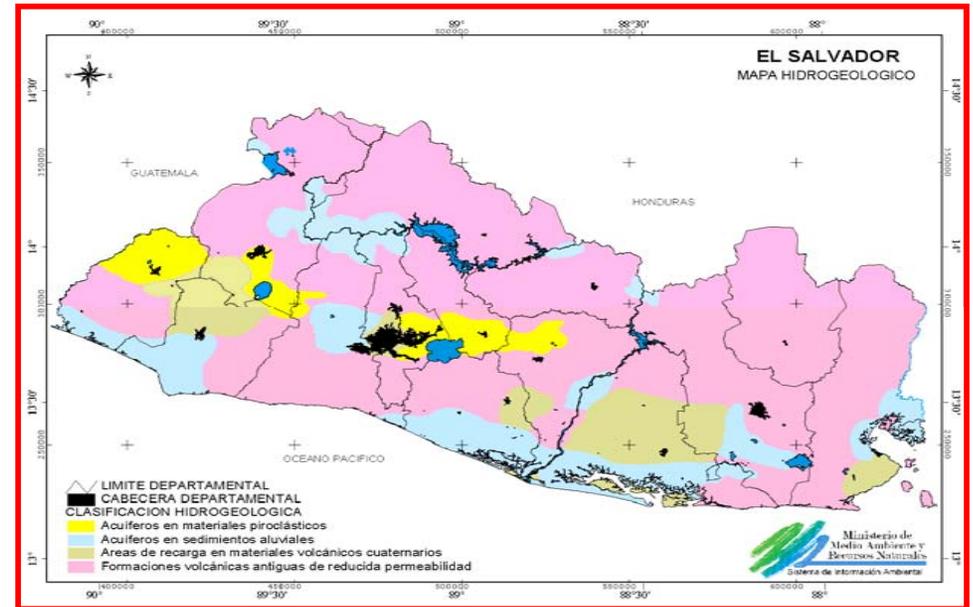






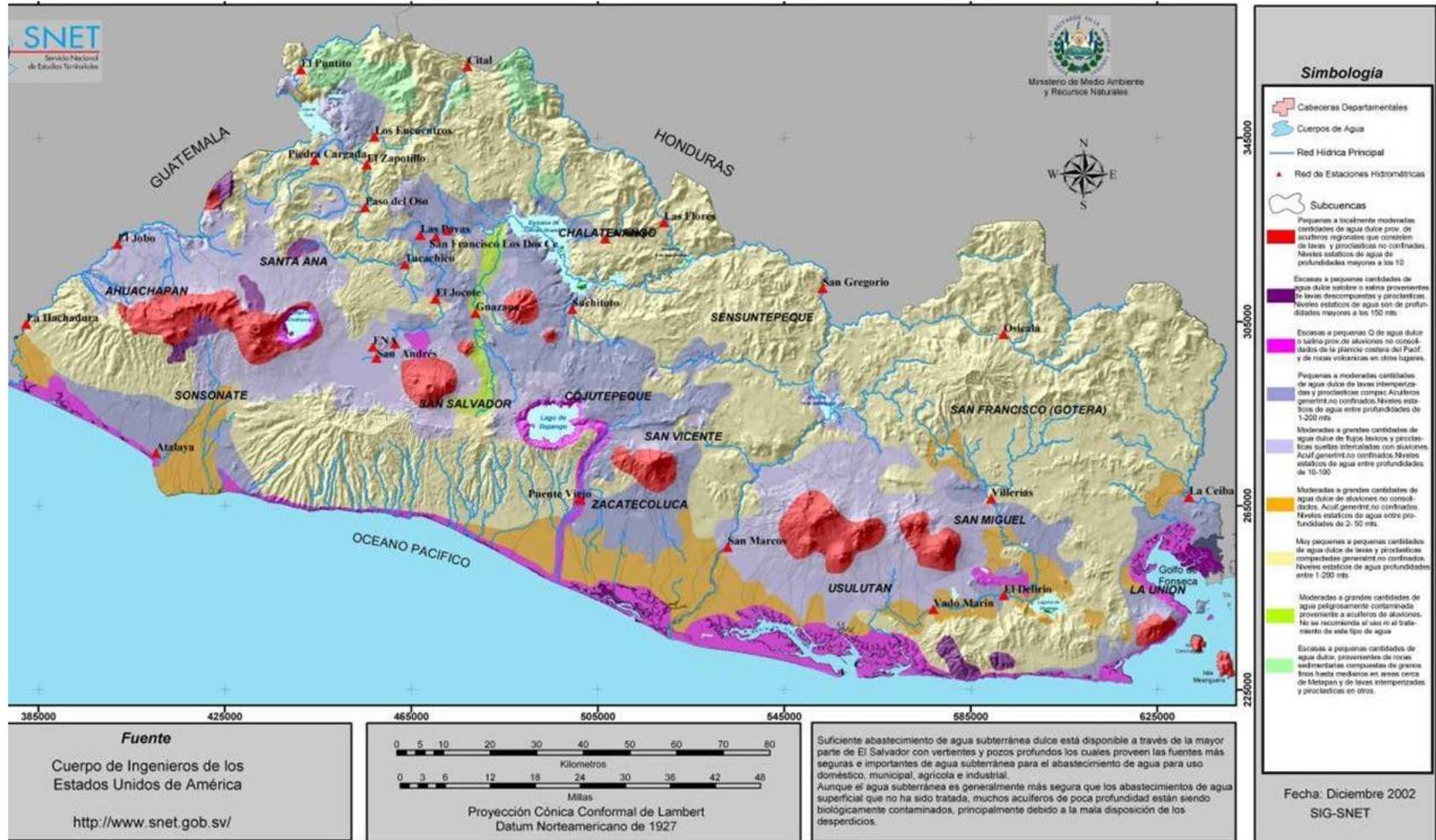


MAPAS HIDROGEOLÓGICOS DE EL SALVADOR



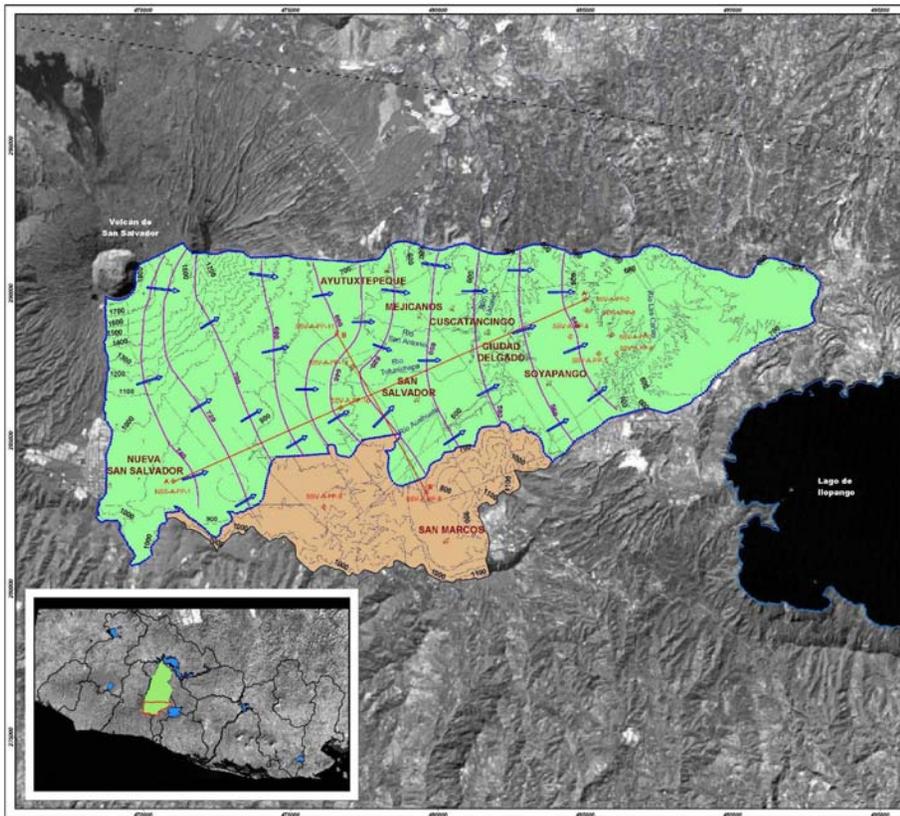
Mapa hidrogeológico sintetizado de El Salvador

MAPA DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS NACIONAL (2002)

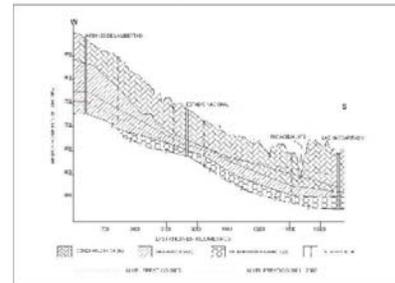




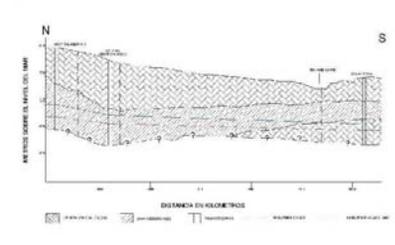
MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR



Perfil Geológico, corte A-A'



Perfil Geológico, corte B-B'



SIMBOLOGIA

- Cabeceras Municipales
- Inventario de Pozos. Marzo 2005
- Intervalo de curvas 100 metros
- Fallas Geológicas
- Rios
- Limite Acuífero del AMSS
- Nivel Estático Acuífero del AMSS
- Dirección del Flujo Subterráneo
- Unidades Hidrogeológicas**
- Acuífero fisurado de alta productividad



Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"



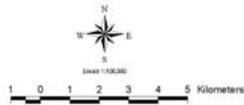
Forojournal IAG
Foro de Investigación de las Aguas Subterráneas



Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados

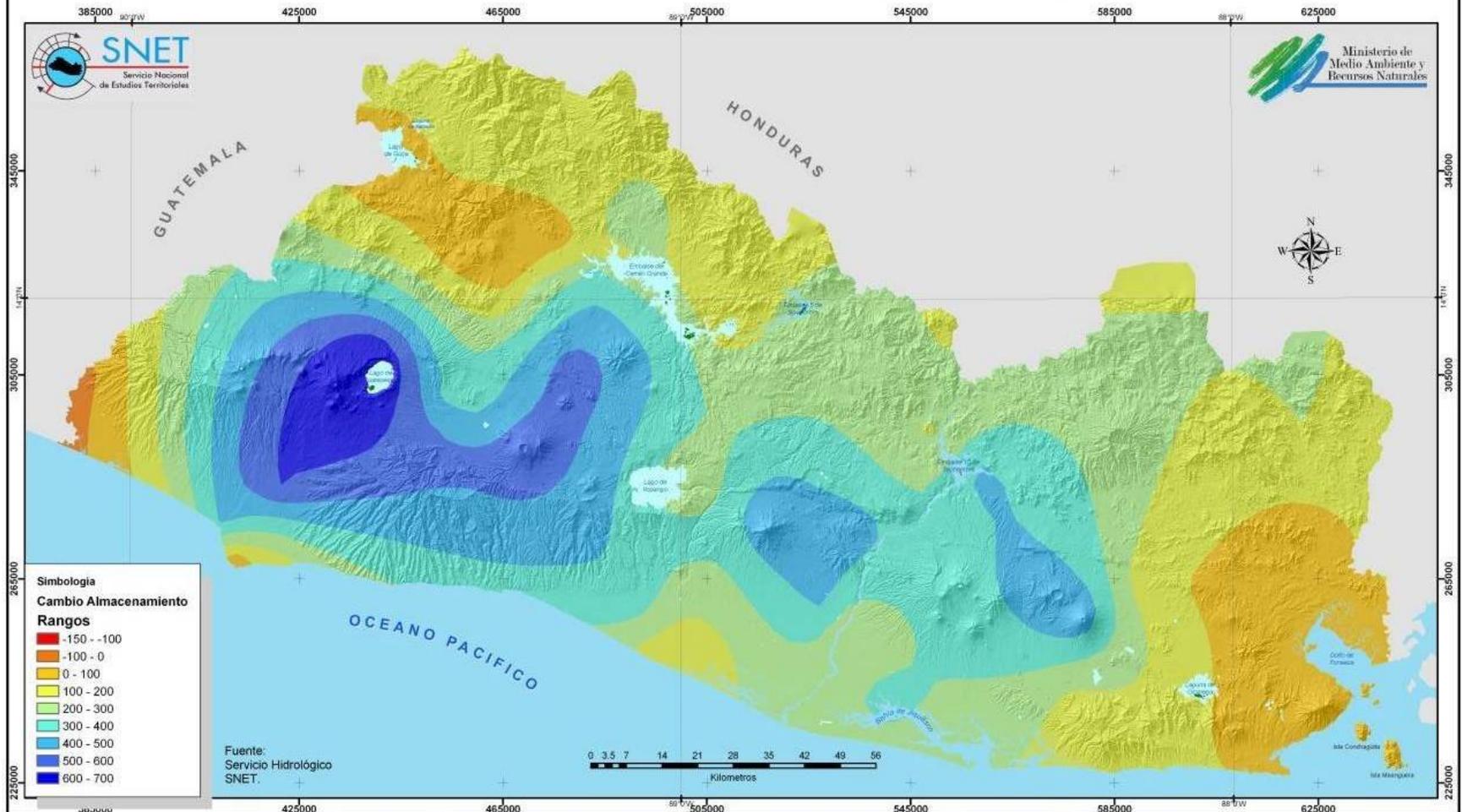


Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación



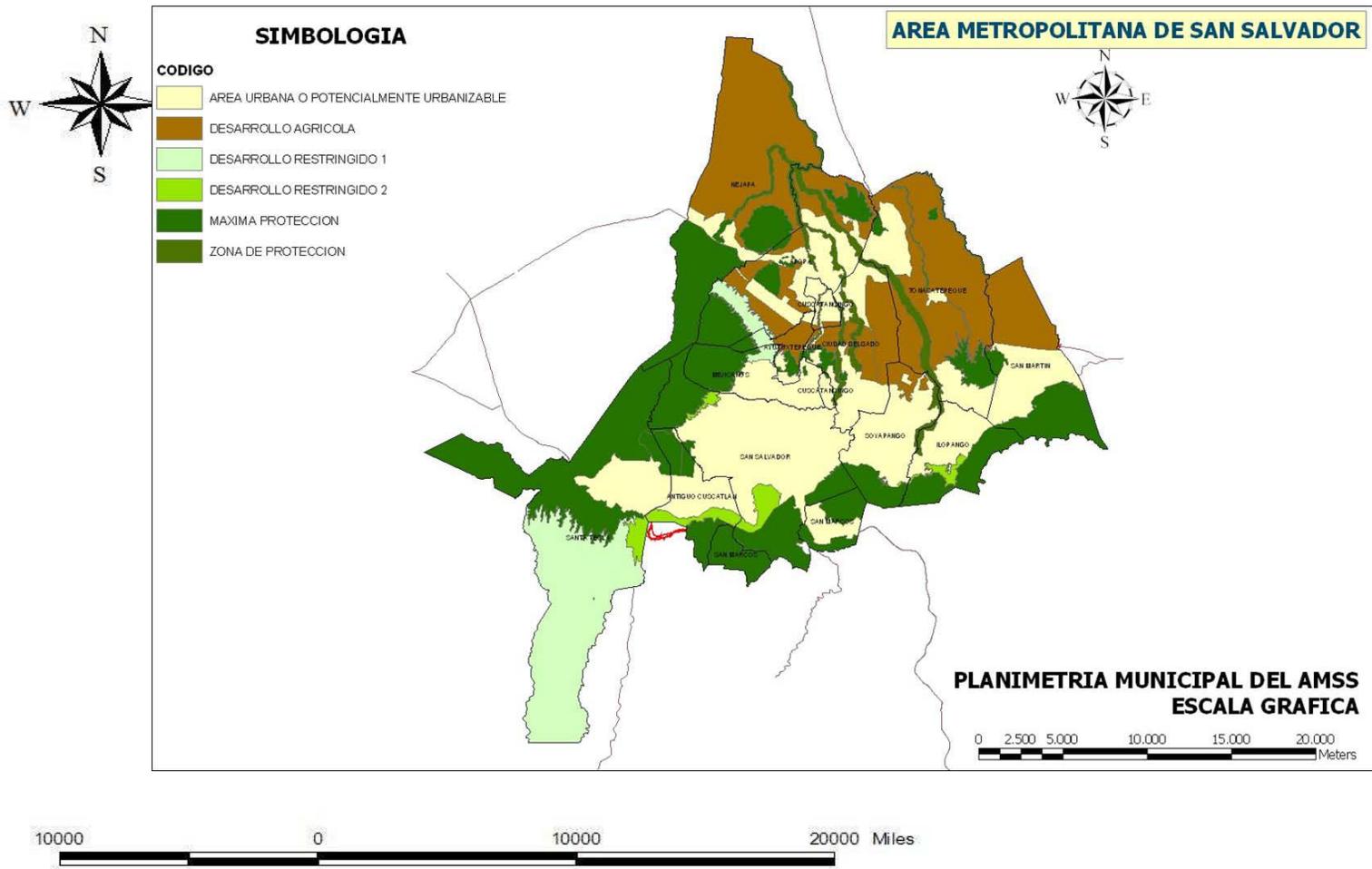
PROYECCIÓN CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT
Datum: Nortamericano de 1957

Cambio de Almacenamiento Anual (valor en mm)



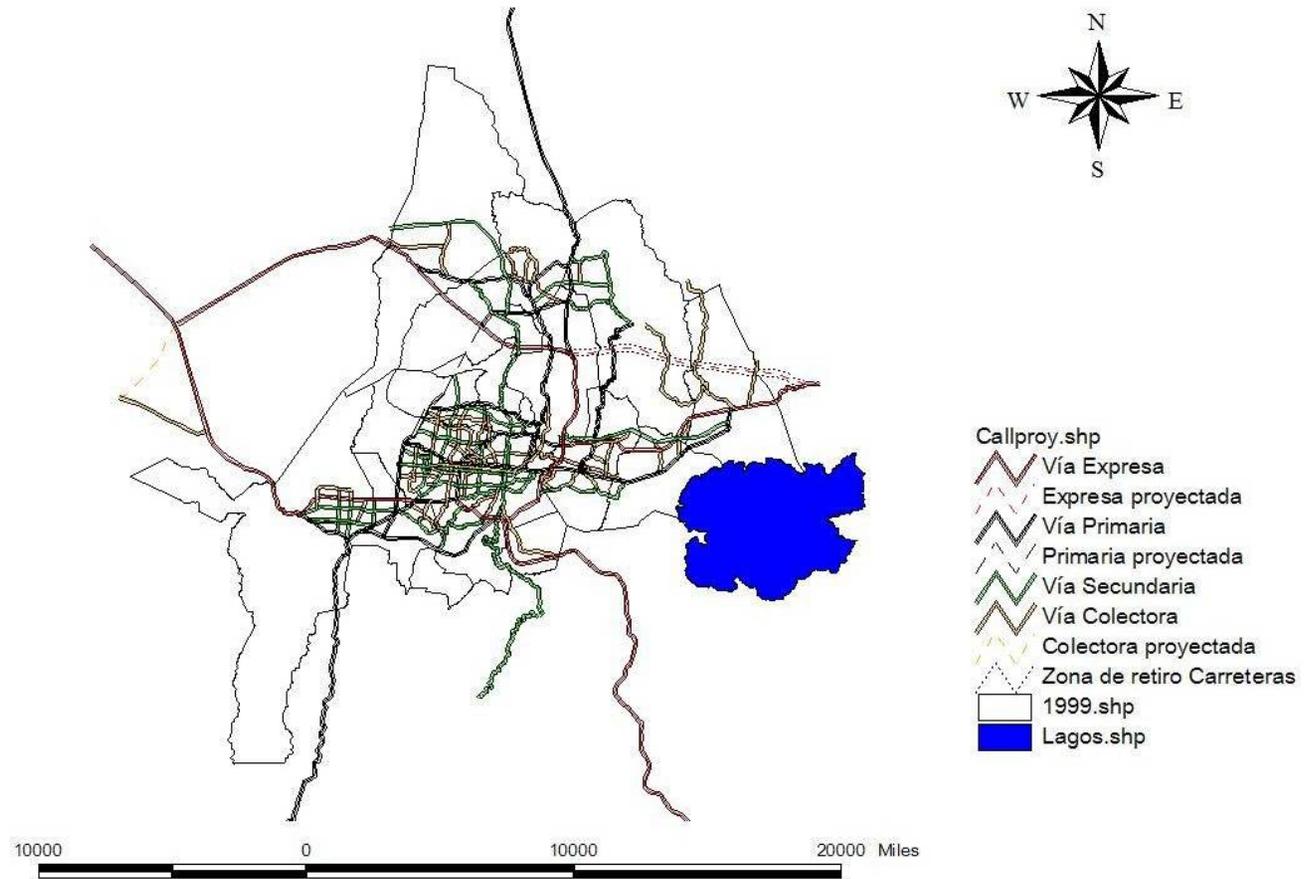


MAPA DE USOS DE SUELO AMSS





MAPA DE VÍAS EN EL AMSS Y EN SUS PROXIMIDADES





ANEXO II

TABLAS

COMPARACIÓN DE NIVELES FREÁTICOS ENTRE 1972 Y 1992 EN POZOS DEL ACUÍFERO DE SAN SALVADOR

Nº	UBICACIÓN	LATITUD N	LONGITUD E	ELEVACIÓN	NIVEL EST	NIVEL FREA
		(m)	(m)	(msnm)	(m)	(msnm)
1	P#1 CUMBRES DE CUSCATLAN, ANT.CUSC.	283060	474770	900	140.00	760.00
2	P#1 RESIDENCIAL VICTORIA, SOYAPANGO	286415	483050	642	37.00	605.00
3	P#1 LA CIMA, SAN SALVADOR.	282900	475470	895	140.00	755.00
4	P#1 RESIDENCIAL SAN PEDRO, MEJICANOS.	290675	477025	722	98.00	624.00
5	P SAN FERNANDO N°2, SOYAPANGO.	287850	484780	635	49.00	586.00
6	URB. SIERRA MORENA II, SOYAPANGO.	285798	484130	648	41.00	607.00
7	EL LIMON, CTON EL LIMON, SOYAPANGO.	289420	485065	610	40.00	570.00
8	URB. SIERRA MORENA, SOYAPANGO.	285350	484550	645	48.00	597.00
9	P#2 CTO RECREAT. DE EMPLEAD. SN BARTOLO	286910	488870	642	99.00	543.00
10	P LAS CAÑAS, URB LAS CAÑAS, SN BARTOLO	288000	487613	590	31.00	559.00
11	P#1 BOSQUES DE PRUSIA, SOYAPANGO	287392	485790	590	23.00	567.00
12	RECINTO DIANA 12 AV SUR, SOYAPANGO.	286510	484495	634	34.00	600.00
13	P#1 MONTES DE SN BARTOLO V, SOYAPANGO	288509	485050	643	48.00	595.00
14	URB. SANTA ELENITA, ANTIGUO CUSCATLAN	282105	472560	910	105.00	805.00
15	LAS MARGARITAS N°3, SOYAPANGO.	289096	484143	630	59.00	571.00
16	P#1 CTO REC.DIANA, COL GUADALUPE, SOYAPANGO	286634	485018	608	24.00	584.00
17	P#1 URB. MONTES DE SN BARTOLO IV, SOYAPANGO	288720	485030	632	55.00	577.00
18	P#2 URBANIZACIÓN LAS MARGARITAS SOYAPANGO	289223	484570	620	43.00	577.00
19	P#3 EL PEPETO, SOYAPANGO	287977	486075	605	44.00	561.00
20	P#1 CENTRO URBANO SAN BARTOLO, ILOPANGO	287585	489240	641	86.00	555.00
21	P#1 LA CIMA, SAN BARTOLO II, ILOPANGO.	287892	488864	640	82.00	558.00
22	P#3 MONTES DE SAN BARTOLO IV, SOYAPANGO.	289100	485015	630	55.00	575.00
23	P#1 ZONA FRANCA SAN BARTOLO, ILOPANGO.	287150	487200	610	39.00	571.00
24	P#2 RTO HAB. LAS CAÑAS, SN BARTOLO, ILOPANGO	287640	487430	580	17.00	563.00
25	P#1 JARDINES DEL PEPETO, SOYAPANGO.	288053	485850	620	54.00	566.00
26	P#1 URB. LA CIMA II ETAPA SAN SALVADOR	282767	476143	880	138.00	742.00
27	P#1 ROTOFLEX, SOYAPANGO	285945	484970	622	34.00	588.00
28	P#1 POZO 8, SOYAPANGO	288531	484497	643	47.00	596.00
29	HOTEL RADISSON	287525	473925	839	161.00	678.00
30	COLONIA CENTROAMERICA	287525	477100	702	59.00	643.00
31	EL SOCORRO	286947	478147	690	48.00	642.00
32	MONSERRAT # 3	284825	477440	760	74.00	686.00
33	ESTADIO NACIONAL II	286112	476695	724	66.00	658.00
34	SA MIGUEL MEJICANOS.	290260	477693	700	99.00	601.00
35	ZACAMIL # 2	290050	478175	693	77.00	616.00
36	ANTIGUO CUSCATLAN	283900	474025	810	73.00	737.00
37	CAFÉ LISTO # 1	286480	488350	634	87.00	547.00
38	ADOC # 2	285660	483870	668	55.00	613.00