

Chuo Kaihatsu Corporation
JNS Engenharia, Consultoria e Gerenciamento s/c Ltda..

**“ESTUDIO DE POLITICAS Y MANEJO AMBIENTAL DE AGUAS
SUBTERRANEAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE
ASUNCIÓN” (ACUÍFERO PATIÑO)**

Informe técnico 2.9

Inventario de Fuentes Potenciales de Contaminación

**Fecha:
Mayo 2007**

**Preparado por:
Hidrocontrol S.A.**

**Autor:
Andrés Wehrle Martínez**

**Contrato:
Cooperación Técnica ATN/JC - 8228 – PR – SENASA - BID**

CONSORCIO CKC-JNS

INDICE

1.	Introducción	1
2.	Contaminación de las aguas subterráneas *	1
3.	Mapas temáticos Elaborados	14
a.	Contaminación Difusa por presencia de pozos ciegos en viviendas.....	15
b.	Estaciones de Servicio	16
c.	Automotores	17
d.	Lavadero de vehículos	18
e.	Metales	19
f.	Fabricas.....	20
g.	Bebidas	21
h.	Contaminación de Origen Animal y Vegetal.....	22
i.	Lavanderias.....	23
j.	Mataderos	24
k.	Frigoríficos.....	25
4.	Bibliografía	26

1. Introducción

En este informe se presenta toda la información recopilada de los sitios potenciales de contaminación que se encuentran ubicados sobre el acuífero Patiño. Es adquirieron de la DGEEC los puntos tomaos del Censo 2002 en el cual se cuenta con al ubicación de las viviendas y demas construcciones con sus diferentes usos. Todos estos puntos fueron clasificados teniendo en cuanta el tipo de contaminación que puede producir en las aguas subterráneas y con ellos se realizaron mapas para cada uno de ellos. Esta información utilizada en forma conjunta con la ubicación de los pozos, la dirección del flujo en el acuífero y los análisis químicos nos puede determinar de donde esta viniendo la contaminación.

Además con los mapas de vulnerabilidad y la ubicación de los sitios potenciales de contaminación se puede prevenir posibles contaminación realizando un monitoreo de las aguas.

También se realizo un mapa con la densidad de viviendas las cuales no cuentan con servicio de alcantarillado sanitario y las cuales en su mayoría tiran sus residuos líquidos a pozos ciegos los cuales infiltran al subsuelo y pueden contaminar las aguas.

Toda esta información esta siendo entregada en forma de shapes (archivos gis) al SENASA en la base datos con toda la información recopilada por el proyecto

Se presenta también una descripción teórica de los tipos de contaminantes extraída del libro “Hidrología subterránea” de Emilio Custodio y Manuel Llamas

2. Contaminación de las aguas subterráneas *

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas producen gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrológico y en la circulación de las aguas. El resultado es con frecuencia contaminación de las mismas, unas veces de forma depurable pero otras veces prácticamente irreversible.¹

La contaminación de las aguas de superficie es muy visible y por ello es capaz de poner en movimiento acciones y remedios para evitarla, o por lo menos para Tratar de paliarla. No sucede normalmente lo mismo con las aguas subterráneas, que al no ser visibles y estar su explotación muy distribuida, la acción protectora o paliadora llega con frecuencia tarde, y ello en el supuesto de que llegue a producirse. Además, cuando la contaminación se hace perceptible, usualmente ya ha alcanzado un importante desarrollo en extensión.

Los acuíferos subterráneos, por la lenta circulación de las aguas, capacidad de absorción de los terrenos y pequeño tamaño de los canalículos, pueden tardar mucho en mostrar la contaminación y presentan un notable poder depurador frente a muchos agentes contaminantes, aunque aquel tiene un límite, que varía mucho según sea el agente que considere. Además, el gran volumen de agua que contienen hace que las extensas se manifiesten muy lentamente y que las contaminaciones localizadas no aparezcan hasta que después de un tiempo, generalmente muy largo, se hayan desplazado hasta captaciones en explotación.

Del mismo modo que un acuífero resiste a la contaminación, una vez que se ha producido y establecido la regeneración suele ser extraordinariamente lenta, a veces de muchos años, si es que puede lograrse por medios económicamente viables.

* Extraído del libro Hidrología Subterránea, Custodio E, Llamas M.

Lógicamente, la persistencia y evolución depende del contaminante, pues mientras unos son fácilmente degradables naturalmente, otros lo son con dificultad y otros son estables.

En caso de contaminaciones masivas de aguas superficiales, las aguas subterráneas pueden ser una fuente inestimable de agua de calidad aceptable durante un determinado tiempo. Bajo un aspecto dramático, pueden ser un medio vital de subsistencia en caso de contaminación general de la superficie a consecuencia del empleo de armas bélicas nucleares o biológicas.

De todo lo dicho se desprende con facilidad la gran importancia que tiene proteger los embalses subterráneos contra la contaminación, cualquiera que sea su origen, y sólo en casos extraordinarios queda justificado su sacrificio.

Para combatir la polución de los acuíferos es conveniente que la población en general y principalmente los industriales adquieran unos conocimientos generales sobre las leyes básicas de las aguas subterráneas y sobre la contaminación, los cuales en este momento están, desgraciadamente, muy lejos de poseer. Lo mismo cabe decir en ocasiones de la Administración pública, a sus diferentes niveles, siendo el problema de carácter universal.

Desde un punto de vista de planificación y control, es preciso conocer bien los posibles caminos a recorrer por los agentes de contaminación en base a los condicionantes geológicos, hidráulicos y químicos. En general se precisa un esquema tridimensional, pues la situación en un plano no es siempre suficiente; así los mapas de isopiezas sólo dan una primera orientación. El empleo de modelos se va generalizando, aunque los aspectos de calidad sólo pueden tratarse de forma elemental por el momento.

En cuanto al tipo de contaminante cabe considerar:

- minerales (Cl, $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , Ca^{++} , ...)
- orgánicos degradables (excretas, purinas, ...)
- orgánicos poco o no degradables (pesticidas, detergentes duros, hidrocarburos, ...)
- biológicos (bacterias, algas, virus, ...)
- radioactivos (tritio, Sr-90, Cs-137, ...)
- gaseosos (CO_2 , SH_2 , CH_4 , ...)

También cabe considerar si está disuelto, en estado coloidal o en suspensión. Si se trata de un líquido se debe tener en cuenta si es miscible o no, y cuando no es miscible el grado de solubilidad.

La contaminación de acuíferos depende mucho de factores locales y por ello un estudio requiere un buen conocimiento de la zona y el estudio de casos similares.

POSIBLES ORÍGENES DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS

Los posibles orígenes de la contaminación de los acuíferos son muy variados y es difícil recogerlos todos en forma sintética. Siguiendo en parte a Schoeller (1969), puede efectuarse la siguiente clasificación, que en ocasiones es repetitiva, pero que es útil a efectos de discusión.

a) Contaminación por actividades domésticas

Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica nacida en fosas sépticas, pozos negros, fugas de sistemas de alcantarillado, vertido indiscriminado de aguas de letrinas, etc., a la que debe sumarse una contaminación nacida de la utilización cada vez más intensa de productos químicos de uso doméstico, tales como los detergentes en sus diversas versiones. El empleo del agua supone un aumento del residuo seco, principalmente en cloruros y dureza, que según varios autores norteamericanos es del orden de 350 ppm por uso.

b) Contaminación por labores agrícolas

La contaminación por labores agrícolas tiene un primer aspecto que es el de los abonos. Estos aditivos pueden ser a base de estiércol y entonces la contaminación producida es principalmente debida al aporte de nitratos. La materia orgánica se consume, en general liberando CO₂, el cual puede contribuir apreciablemente al endurecimiento y aumento de la alcalinidad del agua de infiltración profunda, aunque algunos autores (Grova y Hahn, 1972) señalan que el aumento de sales disueltas va acompañado de una disminución del pH y del contenido en CO₃H⁻; ello depende del clima y del tipo de suelo y cultivo.

El riego con aguas residuales aumenta la producción de CO₂ y la actividad biológica del terreno, con resultados similares.

Los abonos artificiales a base de nitratos, fosfatos y potasa pueden producir principalmente una contaminación de nitratos, pues los fosfatos son en general muy poco solubles y la potasa, en la forma química más adecuada, tiende a ser fijada por el terreno si está bien dosificada. Como orden de magnitud puede decirse que en explotaciones agrícolas bien llevadas, se utilizan por Ha y por año de 200 a 500 kg de NO₃, de 50 a 150 kg de P₂O₅ y de 100 a 250 kg de K₂O (Gros, 1971), aunque las variaciones pueden ser importantes.

En condiciones de aplicación en la época oportuna y de modo correcto, parece que con un suelo normalmente activo dosis de hasta 500 kg/año de NO₃ no producen contaminación; si se abona con estiércol, al tenerse una relación C/N elevada, la abundancia de materia orgánica ayuda a evitar la infiltración del ion nitrato.

El yeso añadido al terreno para corregir el efecto de las aguas bicarbonatadas alcalinas también puede contribuir al incremento del contenido de sulfatos y la dureza, así como la utilización de superfosfatos.

Los cultivos de ciertas plantas, por ejemplo, de leguminosas, pueden aportar cantidades importantes de nitratos al terreno, que posteriormente pueden pasar al agua subterránea, jugando un papel importante los fenómenos en el suelo y sus alteraciones por el cultivo. En condiciones normales, el ion nitrato es reducido antes de alcanzar el nivel de saturación, se forma N₂ y NH₄, siendo este último fijado por el terreno. No obstante, en zonas con suelos de baja actividad biológica, el nitrato puede alcanzar el nivel de saturación por falta de un medio reductor apropiado.

Un segundo aspecto de la contaminación por labores agrícolas puede tener origen en los regadíos, por concentración de sales en el agua de riego excedentaria que se infiltra; este aspecto tiene importancia cuando se trata de regadíos con aguas subterráneas en zonas mal drenadas y/o con escasa recarga natural, donde al cabo de un tiempo puede llegarse a tener un agua no apta para los cultivos establecidos. Existen numerosos ejemplos en el Oeste americano y el propio Delta del Río Llobregat (Barcelona) existe una zona de gran recirculación en que el agua subterránea ha adquirido una dureza y salinidad muy elevada.

Si el agua utilizada para riego se toma de un río o viene de otras zonas, puede también crearse una situación de contaminación si su calidad es deficiente. Esta mala calidad está a veces influida por cultivos aguas arriba. En España existen notables ejemplos y en el Oeste americano ha sido preciso tomar disposiciones legales y administrativas especiales.

Cuando el riego se controla para proporcionar la cantidad de agua necesaria a la planta, teniendo en cuenta el lavado necesario del suelo, se pueden tener aguas de infiltración de elevada salinidad; en ocasiones puede evacuarse este agua antes de que alcance el acuífero mediante una red de drenes adecuadamente instalados.

Un tercer aspecto de la contaminación en zonas cultivadas es el que se deriva de la utilización de pesticidas (insecticidas, herbicidas, plaguicidas, etc.), que pueden constituir

un problema muy grave y permanente, en especial en lo referente a ciertos tipos como el DDT. En el apartado 3.6.7 se darán mayores detalles.

En relación con la agricultura, también pueden ser una fuente de contaminación los lugares donde se acumulan y guardan los productos obtenidos, el vertido de restos vegetales, etc.

c) Contaminación por ganadería

Es una contaminación esencialmente orgánica y biológica, con matices muy similares a la contaminación por actividades domésticas, pero con frecuencia más concentrada e intensa, en especial en granjas intensivas. Bajo este aspecto las purinas de las granjas porcinas son un grave problema; en cambio la contaminación por granjas avícolas es proporcionalmente menos intensa.

d) Contaminación por aguas superficiales

Se produce cuando estas recargan y entonces la contaminación de las aguas subterráneas está muy ligada a la de las superficiales. En general (salvo el caso de acuíferos con grandes grietas) la parte en suspensión no contribuye a la contaminación, aunque produce un frenado de la recarga por colmatación del lecho.

e) Contaminación por aguas salinas

La forma más importante en las regiones costeras es la intrusión marina. Tanto en regiones costeras como en regiones interiores existe además la posible contaminación por movimientos laterales o verticales de aguas salobres o saladas naturales, o a través del medio poroso o favorecido por perforaciones mal construidas o abandonadas. Otras veces las aguas salinas son producto de actividades industriales e incluso municipales, tales como la regeneración de sistemas de cambio iónico o desalinización de aguas salobres.

f) Contaminación por actividades mineras

Es una contaminación esencialmente mineral y frecuentemente se puede relacionar con evacuaciones de aguas de mina y con lavaderos de mineral. También puede ser muy importante la contaminación por lavado de escombreras por el agua de lluvia o por aguas de superficie, en especial de aquellas escombreras que contienen materiales, oxidables, tales como sulfures y materias carbonosas. En el procesamiento de sales solubles, como en la fabricación de la potasa, se pueden tener vertidos muy importantes de salmueras. En la minería del petróleo se obtienen cantidades muy importantes de aguas de salinidad elevada que son también una importante fuente de contaminación mineral de aguas subterráneas. Algunas veces puede existir una contaminación orgánica derivada del vertido de aceites de flotación degradados o de productos relacionados con el petróleo.

g) Contaminación por actividades industriales

Estas contaminaciones son tan variadas como las industrias que las originan. Son especialmente insalubres y nocivas las contaminaciones con metales pesados procedentes de la industria metalúrgica. La industria química y petroquímica puede introducir en el terreno sustancias orgánicas e inorgánicas en grandes cantidades. Las industrias de la alimentación pueden introducir grandes cantidades de materia orgánica al igual que las de bebidas, las cuales pueden además aportar detergentes. Otra fuente importante de contaminación son las industrias papeleras que fabrican pulpa.

h) Contaminación por actividades nucleares

Las actividades nucleares pueden aportar además de productos orgánicos e inorgánicos, comunes con otras industrias químicas, o de transformación, radioisótopos, en especial en las plantas de tratamientos de combustibles nucleares irradiados y de minerales radioactivos. Las actividades médicas también pueden ser un origen de contaminación con radioisótopos.

i) Contaminación a través de pozos mal construidos y o abandonados

Es un tipo de contaminación a la que muchas veces se le presta poca importancia, pero que puede tener graves consecuencias. Los pozos que ponen en comunicación varios acuíferos, los pozos con entubaciones rotas o corroidas en niveles con aguas de mala calidad o aquellos que permitan la fácil entrada de aguas superficiales son especialmente peligrosos.

j) Contaminación a través de sistemas de vertido de aguas residuales

Tales son los pozos negros, letrinas, fosas sépticas, etcétera y las fugas de la red de alcantarillado. El tipo de contaminación puede ser muy variado.

k) Contaminación por pozos de inyección

La introducción en el terreno de aguas residuales mediante pozos, es una práctica cada día más difundida; en general es una forma de utilizar el subsuelo almacén de residuales. Puede realizarse con precauciones y siendo muy consciente de las limitaciones del método. Muchas contaminaciones de aguas subterráneas nacen de pozos de inyección mal proyectados, mal construidos o mal utilizados. Pueden originar una contaminación no sólo inorgánica, orgánica o biológica, sino también una contaminación térmica a la que por desgracia muchas veces se le concede poca importancia.

l) Contaminación por vertido de basuras

Es una contaminación muy ligada a las actividades humanas. Su máximo desarrollo se tiene cuando las basuras se entierran de forma inadecuada en excavaciones en material permeable mal protegido o peor aún si entran en contacto con el nivel freático. Puede ser una contaminación orgánica, biológica e inorgánica a la vez, en ocasiones muy seria. En el apartado 3.9 se tratará con más detalle.

MODOS DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

De una forma general puede decirse que las aguas subterráneas pueden sufrir una contaminación directa, sin dilución, cuando se introducen directamente las sustancias contaminantes en el acuífero, tal como el vertido en pozos de inyección o en pozos negros, o bien una contaminación indirecta, con dilución, cuando esta se produce por contaminación de la recarga natural o por entrada de aguas contaminadas debido a la alteración de las condiciones hidrodinámicas preexistentes, tales como las producidas a causa de bombeos, drenajes, etc. La contaminación a causa de captaciones mal construidas o en malas condiciones puede participar de ambos conceptos.

En las figuras 18-4 a 18.10 se indican diferentes formas de contaminación que no precisan de mayores comentarios pues son suficientemente expresivas; no se pretende cubrir todos los casos posibles, pero sí el dar una visión general. La contaminación a través de pozos negros, ríos contaminados, cloacas, canales con fugas, abonos, riego con aguas residuales, infiltración de excedentes de riego salinos, lixiviado de depósitos de basuras o escombreras, fugas de depósitos de materiales derivados del petróleo o productos químicos, etc. (figs. 18.4 y 18.5) es muy fácil de comprender cuando se trata de acuíferos libres sin materiales impermeables que los protejan y tal entrada es posible bajo un punto de vista hidráulico.

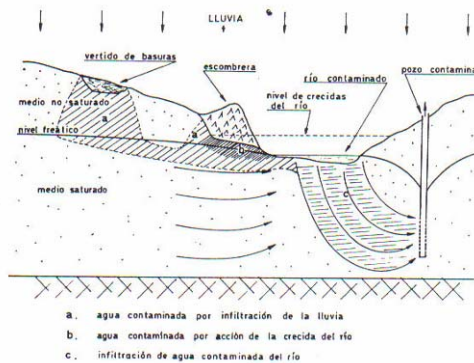


FIGURA 18.5
Esquema de la contaminación de un acuífero y un pozo por acción de la lluvia sobre una escombrera y un vertido de basuras, de un río sobre una escombrera y de una recarga inducida.

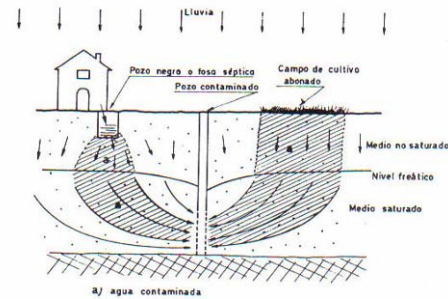


FIGURA 18.4
Esquema de la contaminación de un pozo en un acuífero libre por una fosa séptica y por un campo de cultivo abonado o regado con aguas residuales.

Los acuíferos cautivos y los acuíferos libres con un nivel impermeable superior están protegidos naturalmente contra la contaminación, la cual en principio sólo puede producirse donde el acuífero cautivo pasa a ser libre o falta el nivel impermeable protector. En la realidad, un acuífero cautivo puede ser contaminado si su potencial hidráulico es menor que el de otros acuíferos superpuestos, como por ejemplo a partir de un acuífero libre inmediatamente encima; el paso del agua contaminada puede hacerse a través del nivel confinante si éste es algo permeable (acuífero semiconfinado) o bien a través de pozos mal construidos o con corrosiones (fig. 18.6). En el caso en que el acuífero cautivo tenga mayor potencial que el contaminado, no puede producirse paso de agua de éste a aquél, pero sí puede contaminarse el agua bombeada (fig. 18.7). Los defectos construcción de pozos favorecen la entrada de aguas contaminadas superficiales y son un grave peligro para otros pozos y para el acuífero en general (fig. 18.8); lo mismo puede decirse de los pozos abandonados o sondeos piezométricos en mal estado.

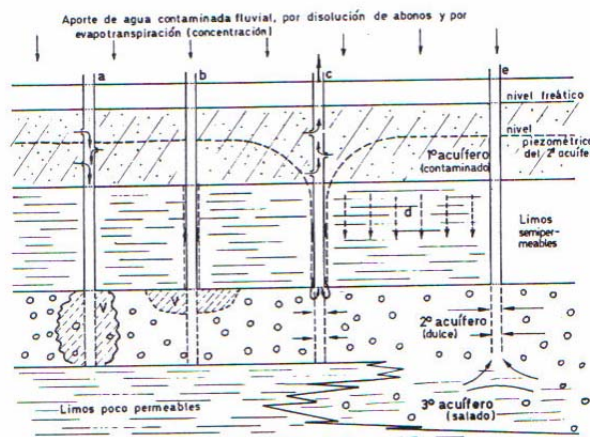


FIGURA 18.6
Acuífero profundo contaminado por un acuífero libre de mayor potencial, a) pozo parado o abandonado con roturas en el primer acuífero, b) pozo que permite un flujo vertical a lo largo de sus paredes, c) pozo en bombeo con roturas y mal cementado que mezcla agua contaminada, d) lenta infiltración vertical general con agua contaminada, e) pozo sobre un acuífero salado que se contamina por ascenso salino.

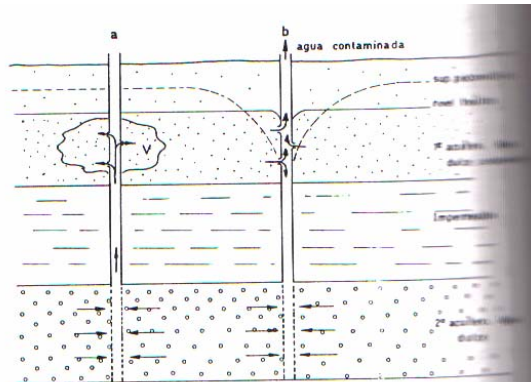


FIGURA 18.7

Acuífero libre contaminado sobre un acuífero cautivo de mayor potencial. Pozo abierto en el acuífero cautivo (2.º acuífero) pero con corrosión en el tubo dentro del acuífero libre (1.º acuífero) a) pozo en reposo; todo el pozo está lleno de agua no contaminada, excepto la parte superior, y la está perdiendo al acuífero superior; b) pozo en bombeo; el agua extraída está contaminada por admisión del acuífero superior; la contaminación se notará cuando se haya consumido una fricción determinada del volumen V.

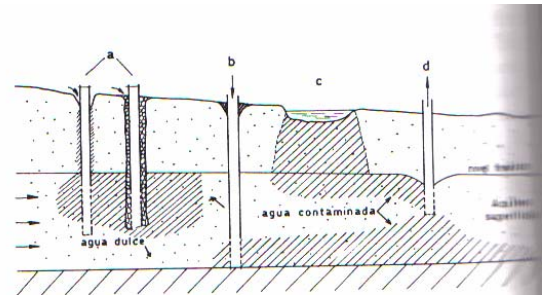


FIGURA 18.8

Esquema de la contaminación en pozos superficiales por deficiente acabado de los mismos (a) y contaminación de un pozo (d) a partir de un pozo de dilución de residuales (b) y de una laguna de aireación y estabilización de aguas residuales mal revertidas (c).

En zonas costeras, en las proximidades de lagos salados o salobres y en acuíferos con agua salada bajo agua dulce, el bombeo puede originar que estas aguas de mala calidad invadan parte del acuífero y afecten a las captaciones y pozos.

No sólo la producción de aguas residuales, deposición de basuras, almacenamiento de sustancias tóxicas, prácticas insalubres, etc., pueden ser causa de contaminaciones, sino que ésta puede también ocurrir como consecuencia de otros tipos de acciones tales como drenajes de terrenos (fig. 18.9) y de sótanos y excavaciones, dragado de ríos, construcción de puertos interiores, pavimentado, etc. Las obras hidráulicas de superficie también pueden jugar un papel importante en la contaminación de las aguas subterráneas (Compte y Custodio, 1969) unas veces favoreciéndola (creación de zonas de regadío) y otras reduciéndola (fig. 18.10).

En los acuíferos permeables por fisuración, el agua contaminada penetra a través de esas fisuras y grietas, ya sea directamente o a través de otras formaciones permeables o de pozos. El movimiento general del agua contaminada se hace de acuerdo con el gradiente hidráulico, pero el movimiento local viene muy influido por la disposición de las formaciones permeables. La anisotropía influye mucho en la forma del movimiento del agua contaminada y de los contaminantes.

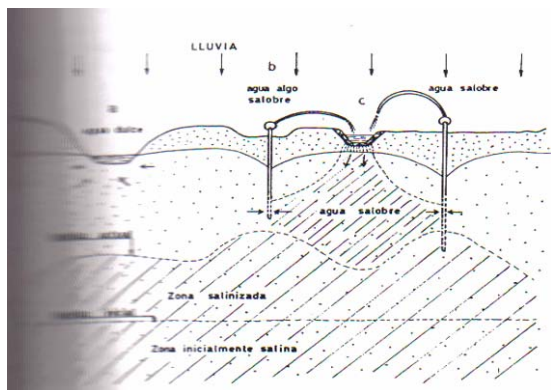


FIGURA 18.9

Contaminación por agua salada de un acuífero freático. Debido a la existencia a) de un canal de drenaje, b) de pozos puntuales de drenaje, c) de fugas de un canal que conduce agua salobre.

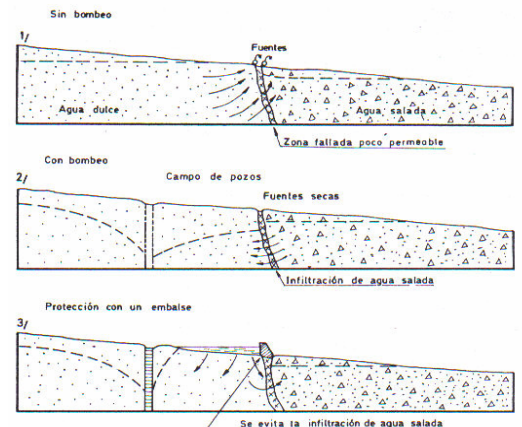


FIGURA 18.10

Contaminación de un acuífero de agua dulce por infiltración de un acuífero de agua salada lateral a causa del establecimiento de intensos bombeos; modo de restauración. (Según Compte y Custodio, 1969.)

COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CONTAMINANTES

Es difícil clasificar los contaminantes en grupos homogéneos; para los propósitos de este apartado se dividirán en:

1. Minerales
2. Minerales metálicos pesados y de elementos menores, estables o radioactivos
3. Radioactivos
4. Derivados del petróleo
5. Detergentes
6. Compuestos nitrogenados
7. Pesticidas
8. Orgánicos diversos
9. Biológicos: bacterias
10. Biológicos: virus

Estos grupos no son coherentes en cuanto a su sistemática, pero sirven para la discusión general.

Contaminantes minerales

Los contaminantes minerales son aquellas sustancias solubles en el agua, tales como Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} etc. En general casi no interfieren con el terreno y se mueven a velocidad similar a la del agua. Entre ellos el ion Cl^- se comporta casi como un trazador ideal, tal como se señala en el capítulo 12.2. Salvo el efecto del cambio iónico y algunas precipitaciones de los menos solubles, apenas son modificados y este tipo de contaminación puede considerarse como irreversible, excepto en condiciones reductoras para el NO_3^- y el SO_4^{2-} y en condiciones oxidantes para el Fe^{++} y Mn^{++} .

En caso de que se formen precipitados en cantidad importante, pueden ocasionar una notable reducción de la permeabilidad del medio y originar costras⁴⁷.

Los contaminantes minerales formados por iones o compuestos de metales pesados se comentan a continuación, así como los que corresponden a otras sustancias menores en forma iónica.

Contaminantes minerales metálicos pesados y de elementos menores

El comportamiento de los contaminantes minerales extraños es muy variado y depende mucho del tipo de acuífero, su forma química y las reacciones que se produzcan en el seno del agua. Muchos de ellos pueden ser precipitados al cambiar su estado de oxidación-reducción y muchos elementos metálicos pesados resultan muy poco solubles en medio oxidante, tal como el Fe, Mn y Cr trivalentes, y dan origen a hidróxidos y óxidos que se precipitan, mientras el Zn, Cu y Ni se mantienen en disolución, salvo que el pH y el contenido en CO_3^{2-} sea alto, en cuyo caso dan carbonatos insolubles. Otros, tales como Fe, Ni, Co, Zn, Pb, Col, As, etc.⁴⁸ forman sulfuras insolubles en medio reductor si hay suficiente formación de ion S^{2-} . Otros se precipitan a causa de otros iones existentes en el agua con los que forman iones comunes; tal sucede con el F⁻ y el PO_4^{3-} que dan sales insolubles con el Ca^{++} presente o el Ba, que se precipita con el SO_4^{2-} presente, o el Pb, Cd, Mn, Zn, Hg y Ni, que son precipitados por las aguas duras. Otros son más insolubles en medio oxidante en medio reductor, como el uranio. El ion CN^- se destruye en medio oxidante y también en medio reductor por paso a CO_2 y NH_4^+ , aunque el Zn y Cd y menor grado el Cu y Ni inhiben esa depuración. La degradación es casi nula a baja temperatura (<10°C), pH extremos o si se forman complejos férricos.

Los fenómenos de cambio iónico y de fijación terreno puede ser importante para iones tales como el Cs^+ , Sr^{++} , Ra^{++} , etc., o por lo menos frenan su movimiento, lo cual tiene interés si se trata de sustancias radioactivas de vida corta y media, como se comentó en el apartado 3.4 g.

El ion cromato es muy tóxico y especialmente peligroso por su persistencia y por ser un contaminante muy común en áreas industriales, y llega a constituir una seria amenaza a las aguas subterráneas. En medio reductor puede pasar a Cr^{+2} , mucho menos tóxico, pero este proceso no se realiza de forma intensa por inhibir el cromato las acciones bacterianas, lo mismo que el Hg.

La autodepuración que se ha expuesto en este apartado conduce unas veces a la eliminación irreversible de muchas de esas sustancias por formar compuestos de muy difícil redisolución, pero otras veces no es así y un cambio del potencial de oxidación-reducción que altere su estado de valencia o el del precipitante o coprecipitante, o una agresividad al medio, puede reincorporarlos al agua, a veces concentrados, y esta eventualidad debe ser tenida en cuenta en ciertos casos. Muchas formas insolubles en medio oxidante y en medio reductor, pueden ser solubilizadas temporalmente el paso de uno a otro.

En cuanto a la autodepuración, la forma química del contaminante puede jugar un gran papel ya que ciertos complejos son muy estables a la precipitación o cambio de valencia química. Así el Co o el Ni son fácilmente eliminables en forma iónica pero no en forma de cobalticianuro o de Ni-EDTA (complejo con el ácido etilendiaminotetracético) respectivamente. Lo mismo sucede con complejos acéticos y tartáricos del hierro.

Contaminantes radioactivos

Muchos de los contaminantes radioactivos se comportan como sustancias minerales ordinarias y se mueven a la misma velocidad del agua. El tritio es uno de estos contaminantes aportado a consecuencia de explosiones nucleares o a consecuencia de vertidos en plantas radioquímicas y de procesamiento de combustibles nucleares irradiados o centrales nucleares.

Afortunadamente, muchos radioisótopos son iones metálicos pesados que pueden ser retenidos temporalmente por el terreno, lo que reduce su recorrido medio antes de que se desintegren; este efecto es muy importante en los de período radioactivo corto, de menos de algunos días. En general los metales pesados con elevada carga eléctrica, pueden viajar en medios porosos más deprisa y más lejos que otros con menos carga, pudiéndolo hacer incluso en forma de partículas en suspensión en el medio, como el Ru (Champlin, 1967).

Los radioisótopos más peligrosos procedentes de vertidos de las plantas de tratamiento de combustibles nucleares irradiados son el Sr-90, Cs-137, Pm-147, Ru-106 y Pu-239; las proporciones relativas de los mismos son muy variables y el máximo peligro puede corresponder a cualquiera de ellos (Baetslé, 1969). El movimiento de los diferentes radioisótopos en el terreno viene regulado por su coeficiente de distribución, el cual puede medirse en experiencias a gran escala o aproximadamente en el laboratorio (Baetslé, 1969; IAEA, 1966).

Contaminación por derivados del petróleo

La contaminación de las aguas subterráneas por derivados del petróleo es desgraciadamente frecuente y sus consecuencias pueden ser graves. Esta contaminación puede producirse por fugas de depósitos, vertidos accidentales, enterramiento de residuos que los contienen, lavado de aglutinantes de caminos asfaltados, riego de caminos de tierra con aceites residuales para evitar el polvo, etc.

Según Saubouin (1966), estadísticamente resulta que más del 90 % de los vertidos terrestres de hidrocarburos conocidos son debidos a fugas de depósitos enterrados, accidentes de los vehículos de transporte y reboses en el llenado de depósitos; la negligencia y falta de atención de los operarios puede explicar el 60 % de esos vertidos.

Muchos de esos derivados del petróleo son capaces de comunicar al agua un sabor desagradable, y algunos de ellos son además tóxicos. Según Albinet (1965), 1 litro de gasolina puede impotabilizar entre 1 y 5 m³ de agua; otros productos son aún peores y basta unas fracciones de mg/1 o incluso algunos µg/1 para comunicar propiedades indeseables.

En general se trata de productos de muy baja degradabilidad capaces de permanecer en el terreno mucho tiempo, con una movilidad diferente de la del agua, de acuerdo con las leyes del flujo multifase (agua-aceite, o agua-aceite-aire en medio no saturado)⁵².

En general puede decirse que la extensión de una contaminación por aceites minerales está limitada si la cantidad vertida es constante, puesto que la propagación de la fase contaminante se interrumpe cuando la fracción en el terreno desciende por debajo de un cierto valor.

El comportamiento y extensión depende mucho del tipo de producto, principalmente de su tensión superficial y viscosidad. Así, la gasolina y la nafta se extienden con cierta rapidez, mientras que el gasoil lo hace más despacio y el fuel-oil lo hace con cierta dificultad.

51 el vertido se realiza en superficie, el aceite se propaga verticalmente hacia el nivel freático (en realidad depende de la presencia de heterogeneidades), y al llegar allí se acumula flotando y desplazando el agua, con tendencia a trasladarse según el flujo; después el agua poco a poco lo va extendiendo en el sentido del flujo hasta que la dilución sea tal que se llegue a la saturación irreductible; el movimiento horizontal es inicialmente relativamente rápido y se va frenando a medida que se extiende la mancha (fig. 18.11). La propagación es más rápida en medios muy permeables. Las disminuciones de permeabilidad actúan como trampas que tienden a impedir la propagación.

El que la contaminación tenga una extensión limitada es en principio favorable, pero ello impide que la zona afectada se lave con el tiempo puesto que la saturación irreductible permanece y sólo desaparece muy lentamente por disolución (muy lenta pues la mayoría de los productos son muy poco solubles). Los productos solubles que pueda contener el aceite, muchos de los cuales son los responsables del mal gusto, pasan poco a poco al agua de acuerdo con el coeficiente de reparto que corresponda.

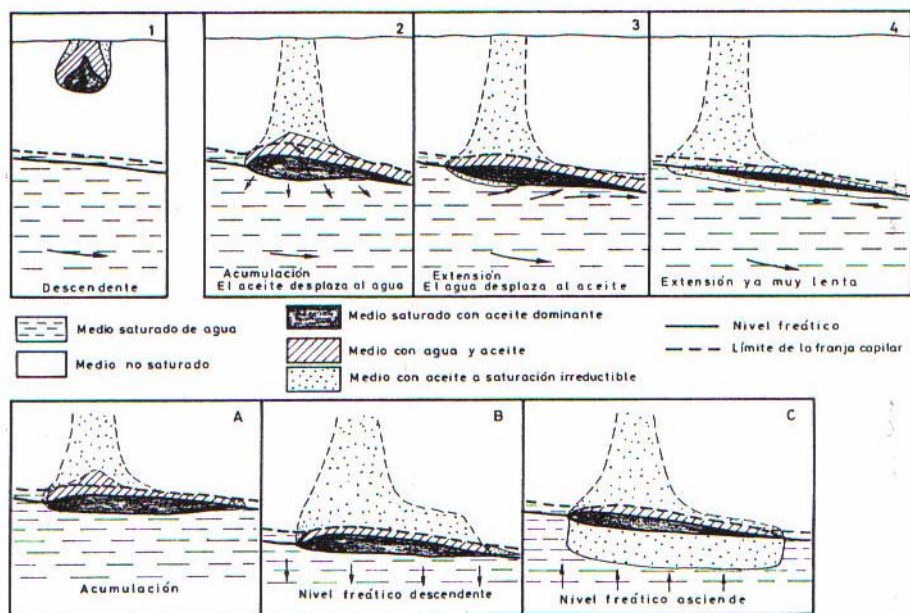


FIGURA 18.11

Representación esquemática del movimiento de hidrocarburos pesados en el terreno. En la parte superior se representa la acumulación: en 1 la contaminación desciende verticalmente; en 2 se acumula sobre el nivel freático desplazando al agua; en 3 el movimiento del agua extiende la contaminación en el sentido del flujo; en 4 el ritmo de extensión es ya muy lento pues gran parte del hidrocarburo está a saturación irreductible. En la parte inferior se representa el efecto de fluctuaciones del nivel freático: en A se tiene un determinado estado de acumulación; en B desciende el nivel freático, arrastrando el hidrocarburo y dejando una zona no saturada contaminada; en C el nivel freático asciende y la contaminación por saturación irreductible queda afectando al acuífero hasta la profundidad de máximo descenso de nivel. Obsérvese que el acuífero no queda contaminado bajo el mínimo nivel freático. La extensión en profundidad de la contaminación puede ser muy importante cerca de pozos, pues allí la fluctuación de los niveles es máxima.

Es importante destacar que el aceite no puede penetrar en el medio saturado y sólo desplazar el agua abajo la zona de contaminación, manteniendo las condiciones de presión. Sin embargo, en acuíferos en los que los niveles freáticos oscilan ampliamente (gran variabilidad de la recarga, fuertes bombeos, etc.) el movimiento de la superficie libre hace subir y bajar el aceite, dejando la zona de oscilación contaminada por la saturación irreductible (residual) (fig. 18.11).

Los análisis de contaminación por aceites minerales, en especial por fuel-oil de uso doméstico, se han desarrollado con especial intensidad en las zonas frías de Norteamérica y Europa, donde el número de instalaciones de almacenamiento para calefacción industrial son muy numerosas.

Contaminación por detergentes

Desde los principios de la década de 1940, el empleo de los detergentes en la industria y en los usos domésticos ha crecido de forma muy importante y actualmente su empleo es general. El consumo de los mismos puede situarse entre 2 y 10 Kg/año por habitante en los países con un cierto grado de desarrollo. No de los tipos de sustancias tensoactivas más importante es el constituido por los alquilbencenosulfonatos (ABS), cuya resistencia a la degradación es elevada, de modo que en ocasiones pueden utilizarse como trazadores de propiedades aceptables. En algunos lugares se ha encontrado detergentes en aguas subterráneas de edad de hasta 1 año (McKee y Wolf, 1963), lo que señala su baja degradabilidad en el terreno.

Las reglamentaciones de varios países, entre ellos España, han establecido normas sobre la fabricación de los detergentes y obligan a la sustitución parcial o total de los del tipo ABS por los del tipo LAS (Alquilsulfonatos lineales) que son más fácilmente degradables, en especial por acciones microbiológicas.

Los detergentes no son especialmente perjudiciales para la salud hasta concentraciones algo elevadas, pero dan o favorecen malos gustos, propios o añadidos al agua, y originan espuma que es desagradable y por lo tanto afecta a la potabilidad. Los detergentes pueden favorecer, debido a la reducción de la tensión superficial, la penetración en el terreno de partículas finas, microorganismos y virus, favoreciendo por lo tanto la contaminación⁵⁴; también interfieren dificultando los procesos de depuración. Según, algunos autores, los detergentes-pueden ser mejores trazadores del movimiento de los virus intestinales que las bacterias coliformes.

En el medio no saturado domina la oxidación que los degrada a productos inertes; por el contrario en medio saturado anaerobio los residuos de degradación pueden ser a veces causa de problemas de sabor y olor del agua.

Contaminación por compuestos nitrogenados

Los compuestos nitrogenados están normalmente relacionados con residuos humanos o animales, pero también están relacionados con abonos y con cultivos de leguminosas.

La tendencia más usual es la de oxidarse a nitratos; estos procesos tienen lugar en el terreno no saturado y con menor intensidad en el medio saturado, todo ello a expensas del oxígeno disponible. Como se ha dicho en el apartado 3.4, cuando el oxígeno se ha consumido, puede iniciarse una reducción a N_2 y NH_4^+ y también NO_2^- ; el primero se escapa o queda simplemente disuelto y el segundo se incorpora a los iones disueltos; si se restablece el suministro de oxígeno, el NH_4^+ se oxida a NO_3^- . Parte del NH_4^+ formado puede quedar retenido en el terreno (Huisman y Van Haaren, 1966), pero ello no impide su paso a nitrato cuando la concentración de oxígeno se eleva por encima de 0,5 ppm. El ion nitrato en ausencia de reducción, se comporta como un buen trazador (Scalf et al., 1969). En ocasiones se ha observado que la reducción de los nitratos se inicia aún cuando el oxígeno no se ha consumido totalmente (Baars y Boorsma, 1957).

Los procesos de oxidación y reducción descritos son en gran manera de origen.

Contaminación por pesticidas

Con el nombre genérico de pesticidas se incluyen los insecticidas, herbicidas, alguicidas, fungicidas, etc., aunque este englobe no sea del todo correcto. En general se trata de compuestos de notable resistencia a la degradación, en sí mismos o porque se les ha acondicionado para que lo sean. Son con frecuencia, muy nocivos para los seres vivos, los cuales tienden a acumularlos en sus tejidos pudiendo crear así una toxicidad diferida. En los últimos años se ha insistido mucho en la peligrosidad del DDT y en muchos países del mundo ya se han iniciado campañas conducentes a prohibir su uso y/o producción.

En ocasiones tales productos pueden ser detectados en el agua subterránea aún después de varios años. Si la infiltración se realiza lentamente a través del terreno no saturado, existen posibilidades de retención y de una cierta degradación por acción biológica, pero si llegan directamente al acuífero, su eliminación por acciones biológicas es muy lenta o nula. Los mayores problemas se originan en las aplicaciones masivas incontroladas en los vertidos concentrados accidentales y en los arrastres producidos por lluvias muy intensas; en cambio, parece que el uso agrícola correcto no causa perjuicios importantes a las aguas subterráneas.

La movilidad de los pesticidas en los acuíferos depende mucho de la estructura de éstos y de la composición química de aquellos. En general los pesticidas con molécula complicada, como el DDT, son retenidos por el terreno (Scalf et al., 1969) pero pueden ser cedidos de nuevo cuando se tienen condiciones favorables, incluso a mayor concentración, como sucede en los pozos de recarga que en un momento dado son utilizados como pozos de bombeo; las primeras fracciones extraídas pueden estar altamente concentradas (elución). En zonas con niveles freáticos profundos, con un tiempo de tránsito de los contaminantes a través del medio saturado muy largo, el problema de la contaminación del agua subterránea puede quedar muy diferido, y aguas actualmente no contaminadas por pesticidas pueden resultarlo en el futuro aunque se suspenda su utilización, puesto que el medio saturado está transportando los utilizados en el pasado. Se trata de una seria amenaza para el futuro de ciertas áreas. Ello explica en cierto modo la frecuente ausencia de pesticidas en las aguas subterráneas en relación con las aguas superficiales.

Según Albinet (1965), en una explotación agrícola bien planeada se emplea por Ha y año de 1 a 2 kg de insecticidas, de 1 a 4 kg de fungicidas y de 1 a 7 kg de herbicidas; según Gros (1971) la cantidad de insecticidas aportados mezclada con los abonos está entre 1,5 y 15 kg/Ha/año en materia activa.

Referente a los distintos tipos de pesticidas cabe decir (Custodio, 1973):

Los pesticidas organoclorados (DDT, endrina, lindane, etcétera) son muy tóxicos y acumulativos para los mamíferos. Suelen ser poco solubles, pero pueden llegar a alcanzar en el agua niveles peligrosos.

Su retención crece con el contenido en materia orgánica en el terreno y en parte se eliminan por volatilización. No obstante pueden perdurar varios años, pues su destrucción es muy lenta. Son pocos los casos en que se han encontrado en el agua subterránea, pero puede ser porque aún no han recorrido el trayecto en el medio no saturado, tal como se dijo anteriormente.

Los pesticidas organofosforados no son acumulativos en el cuerpo y su toxicidad es menor. En el suelo se destruyen con mayor facilidad que los organoclorados, y perduran sólo pocas semanas; en general son más solubles que aquellos, en especial en terrenos con escasa materia orgánica. El riesgo de paso al acuífero es mayor y no se conoce suficientemente su comportamiento en el medio saturado, aunque se presume una rápida degradación.

Los compuestos carbamatados (herbicidas e insecticidas) son poco tóxicos y no acumulativos, y parecen fácilmente degradables en el terreno, aunque por su novedad son poco conocidos.

Los herbicidas a base de ácidos jenoxialquílicos no son tóxicos, pero comunican sabor y olor con contenidos superiores a 0,01 a 0,1 ppm, y lo que es peor, pueden ser degradados a clorofenoles, que comunican mal olor y sabor con sólo 0,002 ppm. Son fácilmente lixiviables, con lo cual afectan fácilmente al acuífero, con una persistencia propia o de sus productos de descomposición que puede llegar a varios años.

Los herbicidas a base de nitrofenol son muy tóxicos y probablemente acumulativos, y al ser notablemente solubles pueden alcanzar al acuífero. Algo similar sucede con los herbicidas a base de piridilo, excepto en suelos arcillosos, donde son fuertemente retenidos.

Además de la contaminación de los propios pesticidas, debe considerarse la de sus vehículos (disolventes, diluyentes, etc.), que aunque no sean tóxicos, pueden causar malos olores y sabores y un aspecto desagradable, en especial si existen fenoles o aceites pesados e hidrocarburos, que pueden llegar a notarse a veces a concentraciones de sólo 0.5 u.g/l.

Contaminación por compuestos orgánicos varios

En general los compuestos orgánicos tienden a ser retenidos por el terreno y en presencia de oxígeno destruidos por acciones bacterianas. Sin embargo, el resultado final depende no sólo de la resistencia de los compuestos, sino también del tiempo de permanencia en el terreno no saturado o en un ambiente oxidante adecuado. También puede existir una destrucción bacteriana anaerobia si existe posibilidad de tomar oxígeno de nitratos, sulfatos u óxidos férricos, pero estas acciones son más lentas y menos efectivas.

Ciertos colorantes son especialmente resistentes a la degradación y pueden originar una contaminación difícil de combatir.

En campos petrolíferos en los que se han realizado numerosos sondeos, puede aparecer una contaminación por vertido de lodos de perforación con aditivos o bases orgánicas, que en general originan problemas graves de malos gustos, aun en pequeñas cantidades⁵⁶.

Contaminantes biológicos: bacterias

En terrenos granulares, las bacterias aportadas normalmente eliminadas con rapidez durante el proceso de penetración en el terreno, por filtración y adsorción, y porque muchas de ellas, incluyendo las patógenas, encuentran en el terreno un ambiente muy inhóspito a su vida y reproducción. En los trabajos realizados en varios lugares del mundo (Romero, 1970) se encuentra que en general bastan 2 ó 3 m de terreno para que se tenga una reducción drástica en el contenido en coliformes, y en terrenos no saturados de granulometría fina pueden bastar unos pocos dm de recorrido.

La filtración sólo es efectiva si la proporción de arcilla es elevada. La adsorción se produce sobre arcillas ya saturadas de cationes y con un exceso de cargas positivas; es un proceso reversible, pero la detención favorece otras acciones de descontaminación. Dicha adsorción es mayor en aguas salinas neutras y crece al aumentar la relación superficie/volumen en el terreno granular, pero parece disminuir si el agua contaminada aporta albúmina. La destrucción por organismos aerobios bacteriófagos del terreno, el crecimiento de los cuales origina fangos que reducen la permeabilidad, aumentando así la filtración. La destrucción y muerte se produce también cuando el ambiente es desfavorable en cuanto a temperatura, potencial redox y por la posible aparición de ciertos compuestos antibióticos liberados por los propios microorganismos del terreno. La depuración por dilución tiene en general poca importancia.

3. Mapas temáticos Elaborados

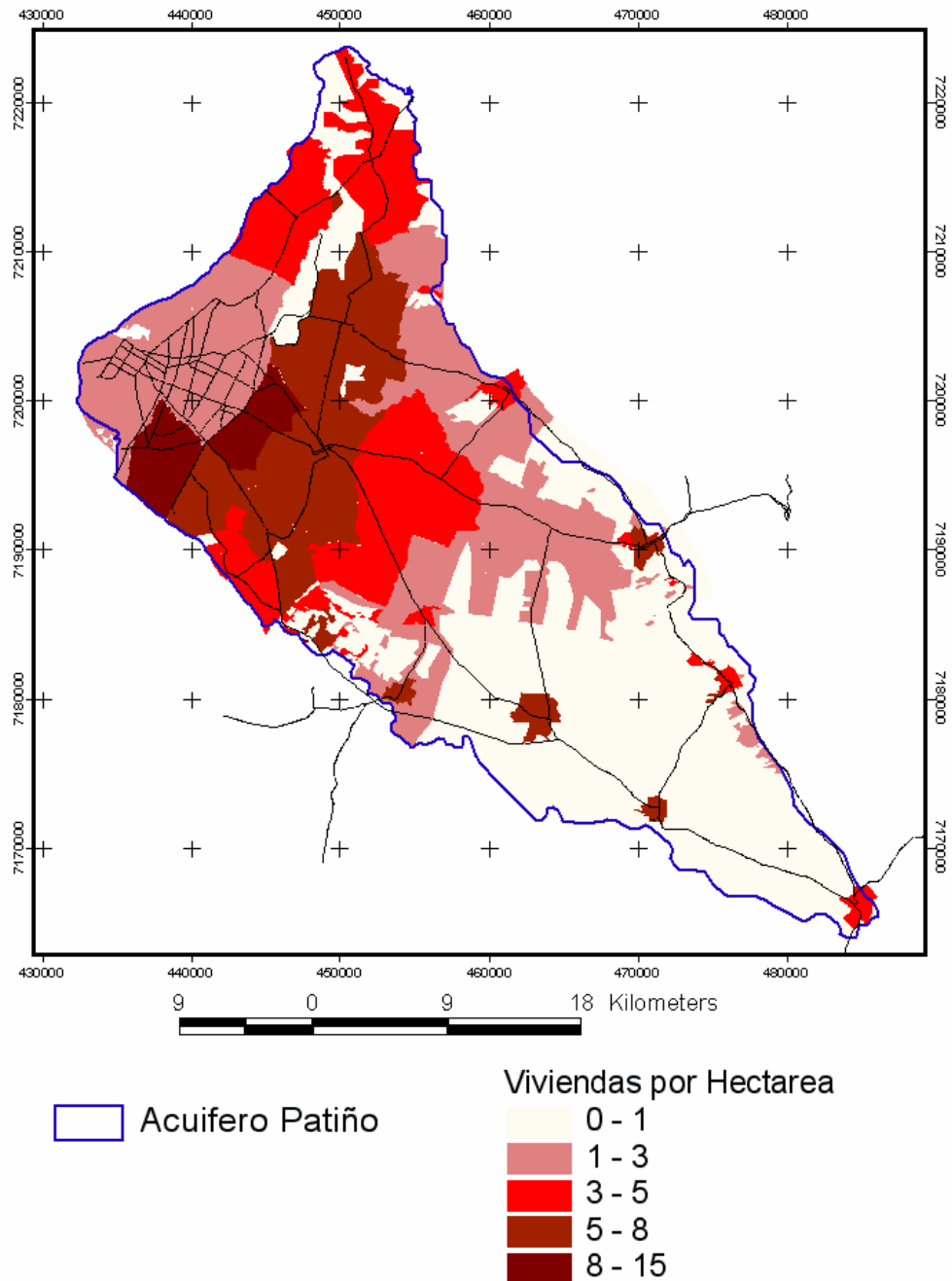
En base a la información recopilada del Censo 2002 se clasifico cada tipo de infraestructura en base diferentes usos de los mismos como ser Talleres, estaciones de servicio, mataderías, tambos, los cuales en base a cada uno de dichos usos pueden ser potenciales contaminadores del agua subterránea.

Esta información es muy importante para poder definir si un pozo se encuentra contaminado, en base al tipo de contaminante cual es la pósito causa del mismo teniendo en cuenta la dirección del flujo del agua en la zona. Toda esta información se encuentra en formato gis lo cual hace muy fácil la superposición con los datos de los pozos y toda la información que se encuentra en la base de datos elaborado con el proyecto.

A continuación se presentan algunos de los diferentes mapas temáticos de la información incluida en la Base de datos

a. Contaminación Difusa por presencia de pozos ciegos en viviendas

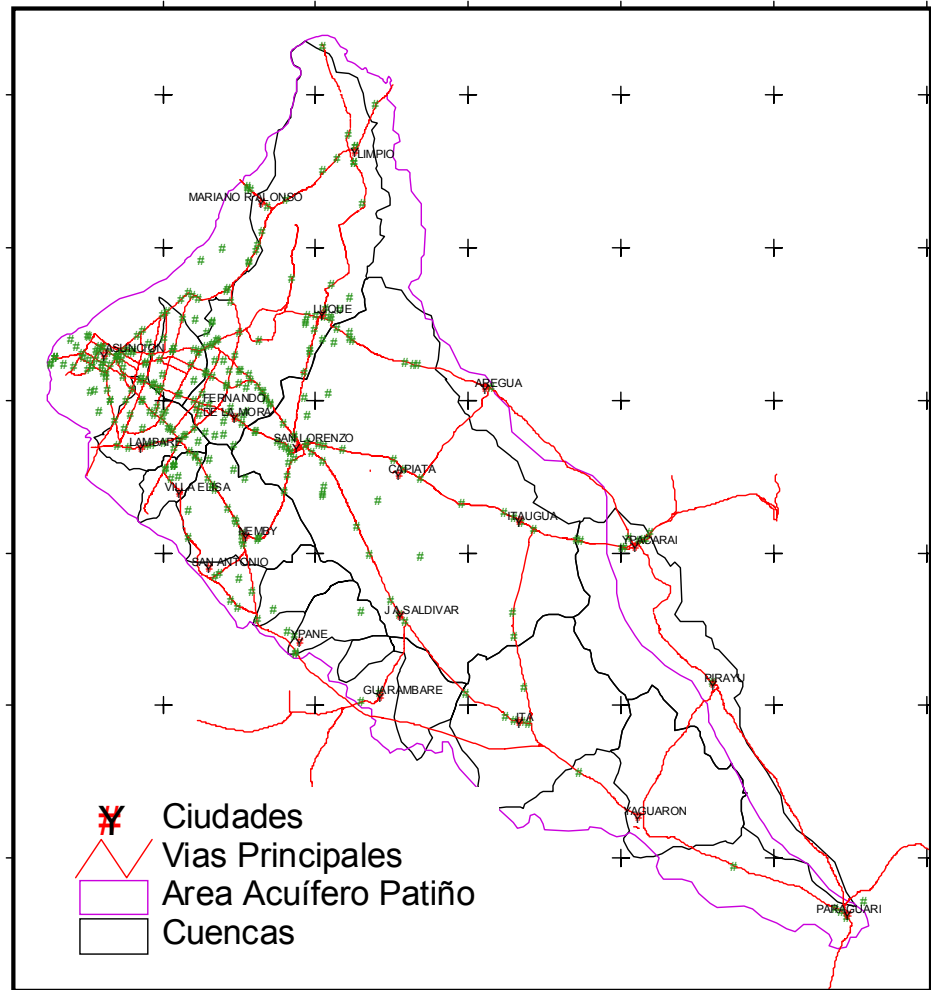
**CONTAMINACION DIFUSA
VIVIENDAS CON POZO CIEGO**



MANEJO DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACION

b. Estaciones de Servicio

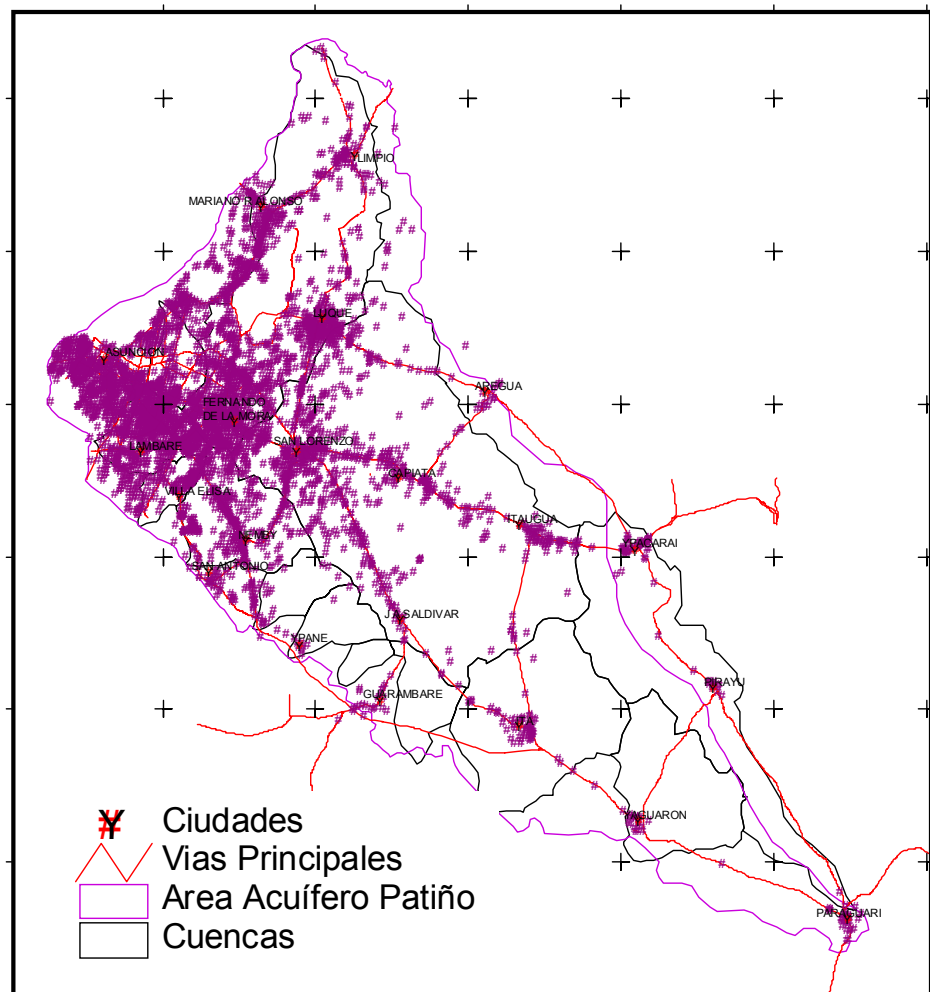
Puntos Potenciales de Contaminación



c. Automotores

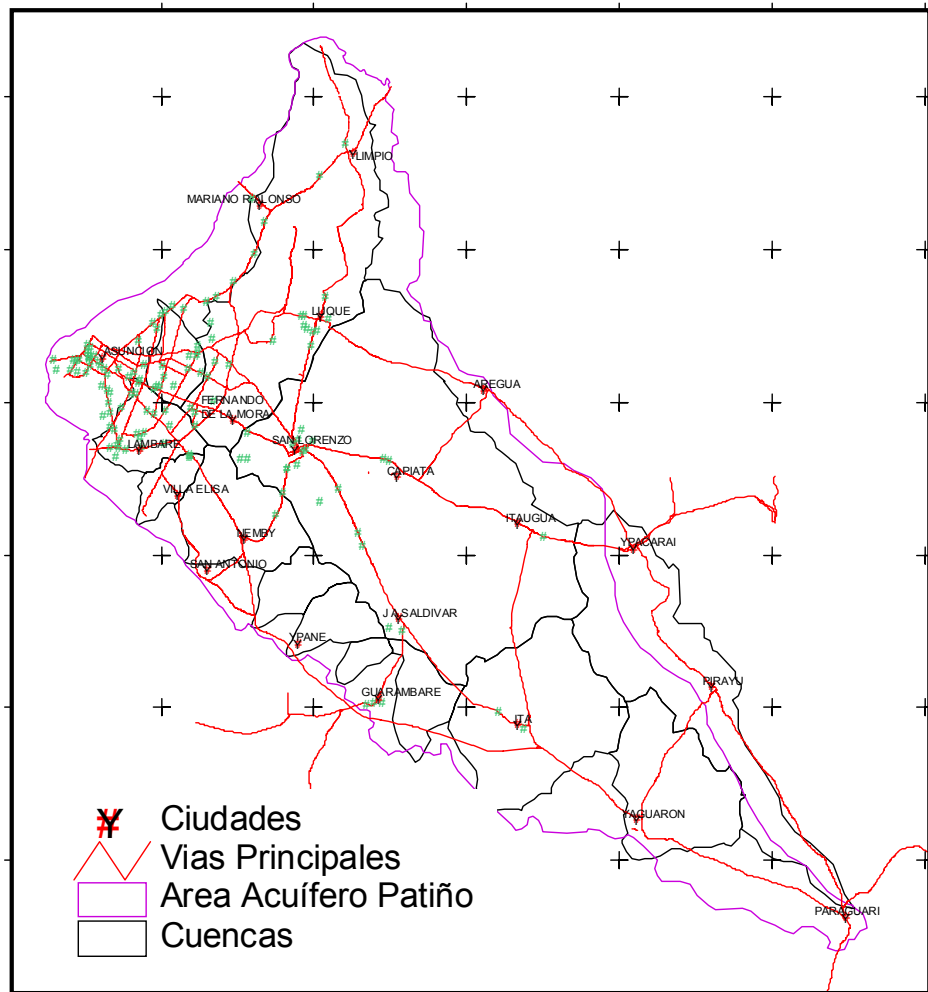
En esta clasificación se encuentra todo tipo de infraestructura que tiene relación con la contaminación producida por el mantenimiento y reparación de vehículos como ser venta de acumuladores, lubricantes, talleres mecánicos, talleres de auto partes, talleres de motos, paradas de ómnibus, refrigeración entre otros. Dentro de esta clasificación se cuenta con una sub clasificación que incluye lo anteriormente citado.

Puntos Potenciales de Contaminación



d. Lavadero de vehículos

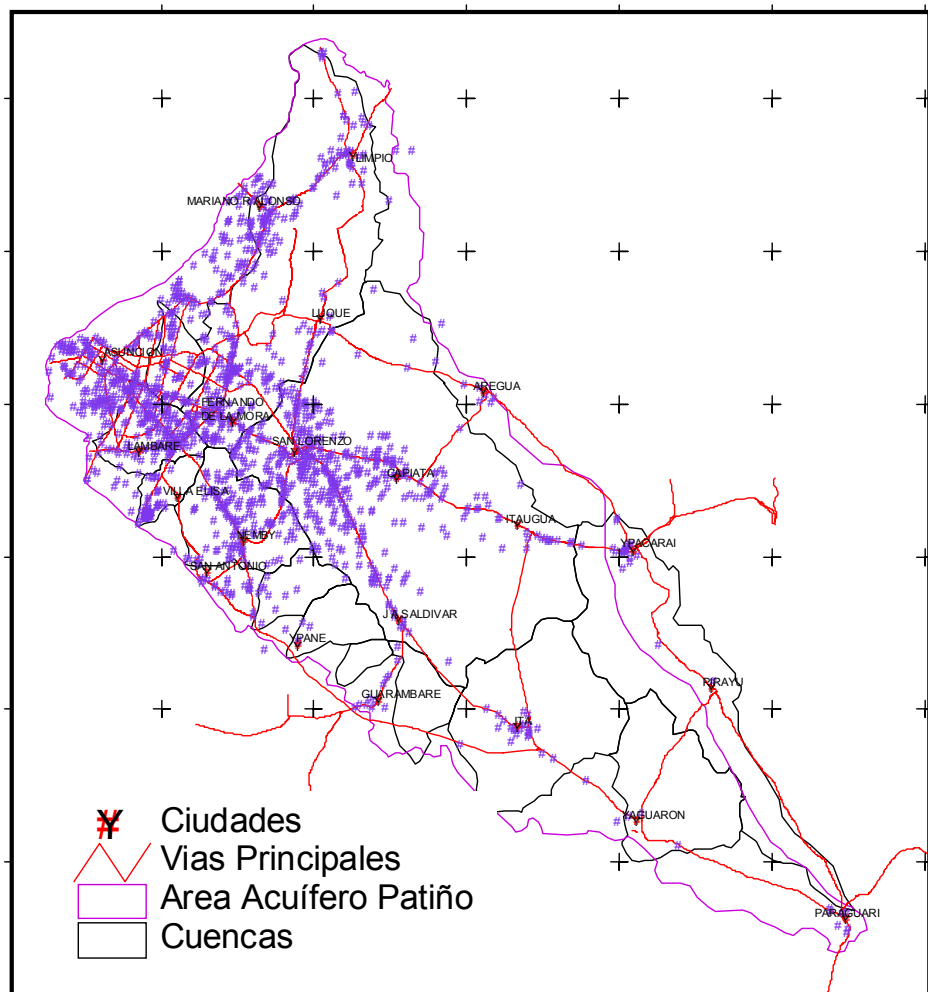
Puntos Potenciales de Contaminación



e. Metales

En esta clasificación se encuentra todo tipo de infraestructura que tiene relación con la elaboración y uso metales en la fabricación como ser herrerías, metalúrgicas, fundiciones, tornerías entre otros. Dentro de esta clasificación se cuenta con una sub clasificación que incluye lo anteriormente citado.

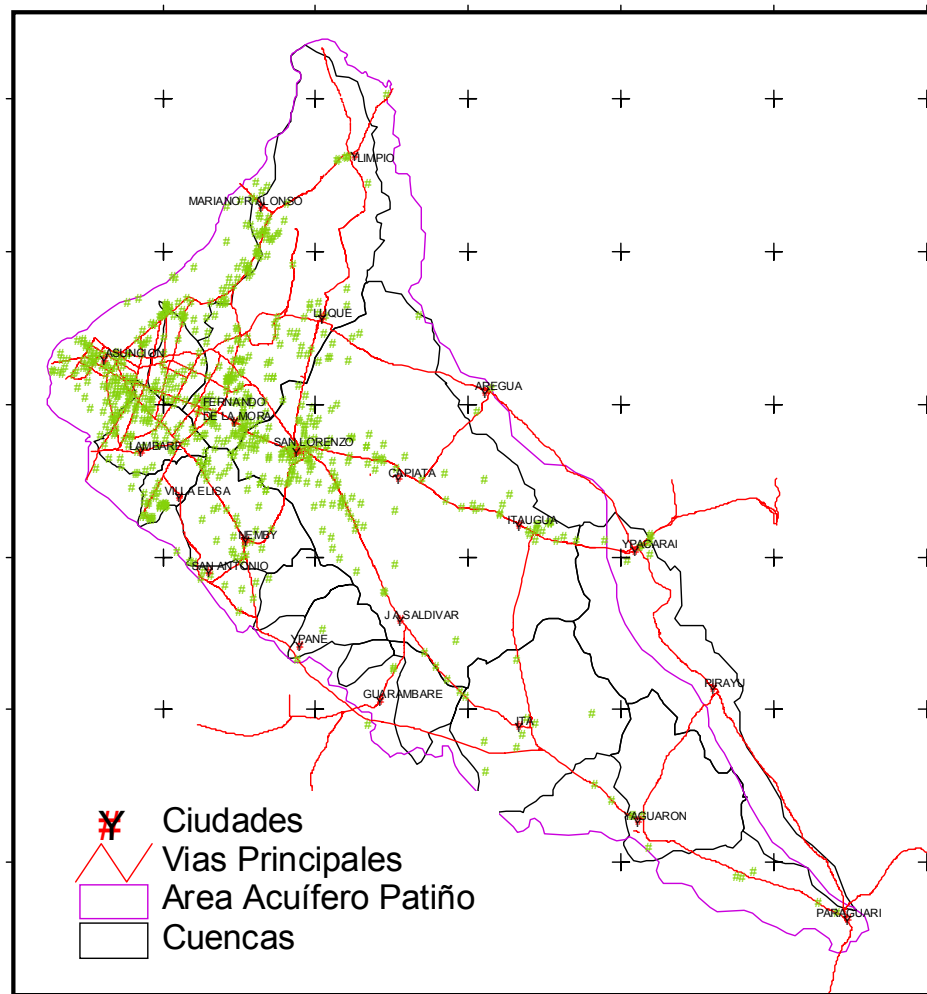
Puntos Potenciales de Contaminación



f. Fabricas

En esta clasificación se encuentra todo tipo de fabricas que no se encuentra en las demás clasificaciones como ser fabricas de pintura, ropas, aceites, calzados, jabones, lácteos entre otros. Dentro de esta clasificación se cuenta con una sub clasificación que incluye lo anteriormente citado.

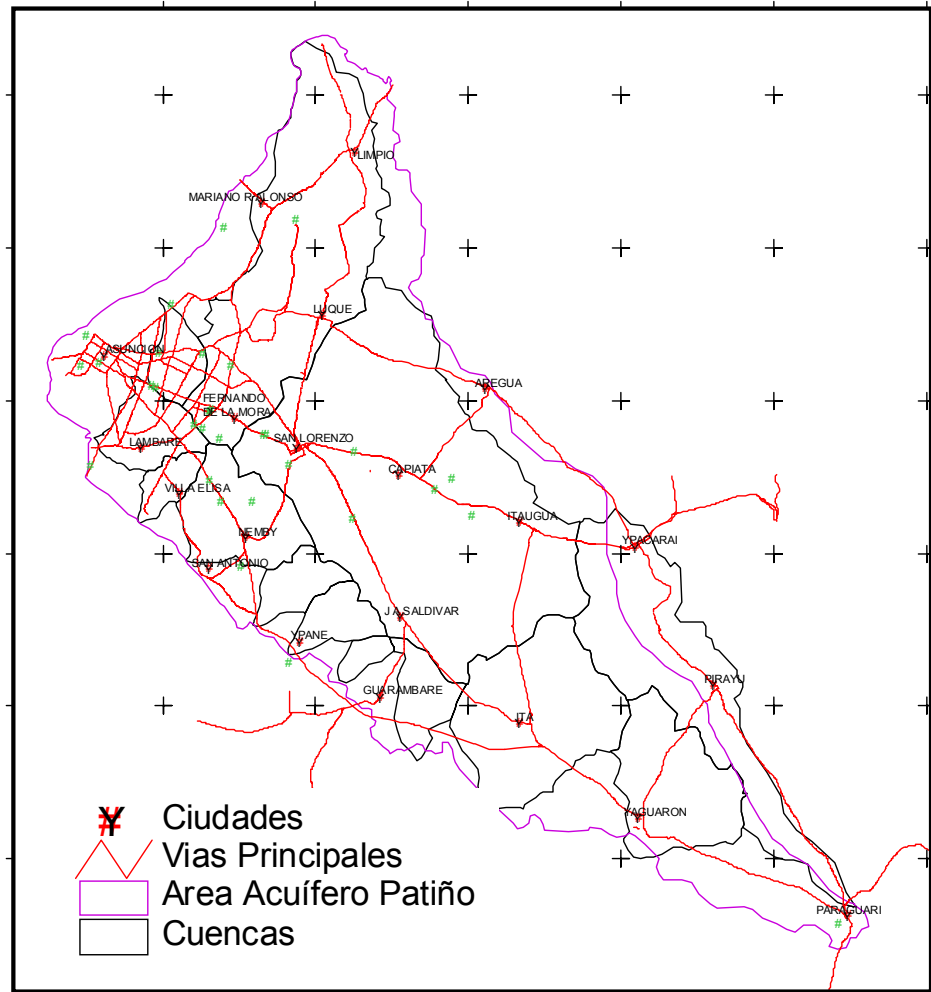
Puntos Potenciales de Contaminación



g. Bebidas

Esta clasificación es un potencial sobreexplotador del acuífero por eso es importante su clasificación en un mapa temático

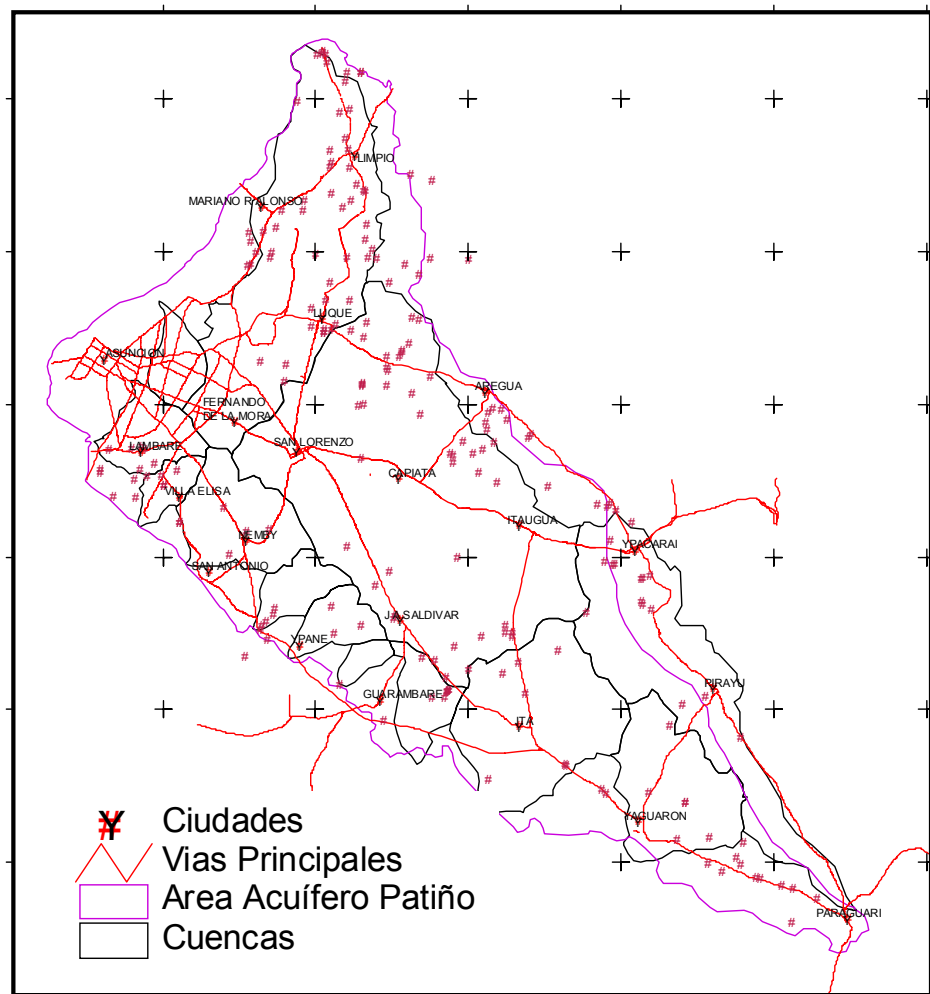
Puntos Potenciales de Contaminación



h. Contaminación de Origen Animal y Vegetal

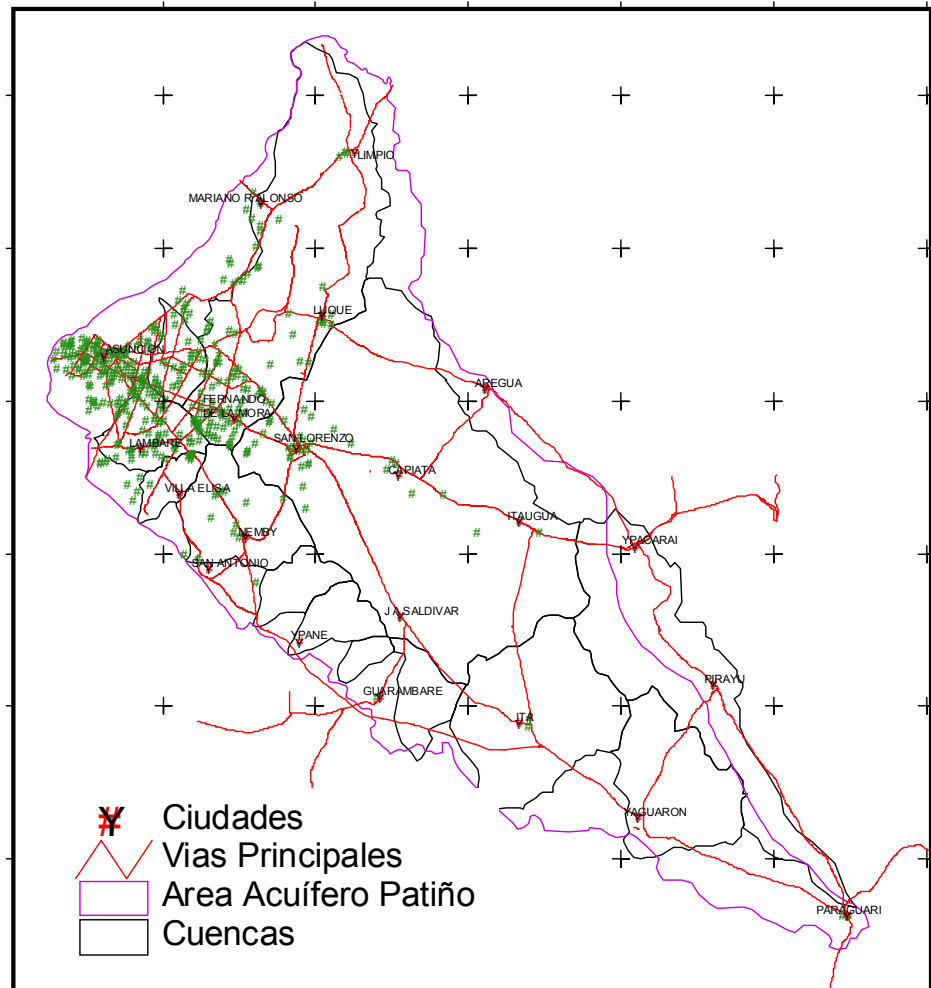
En esta clasificación se encuentra todo tipo de sitios en los cuales se cuenta con animales como tambos, gallinerías, chancherías, caballerizas, granjas además de viveros y huertas de mediana producción entre otros. Dentro de esta clasificación se cuenta con una subclasificación que incluye lo anteriormente citado

Puntos Potenciales de Contaminación



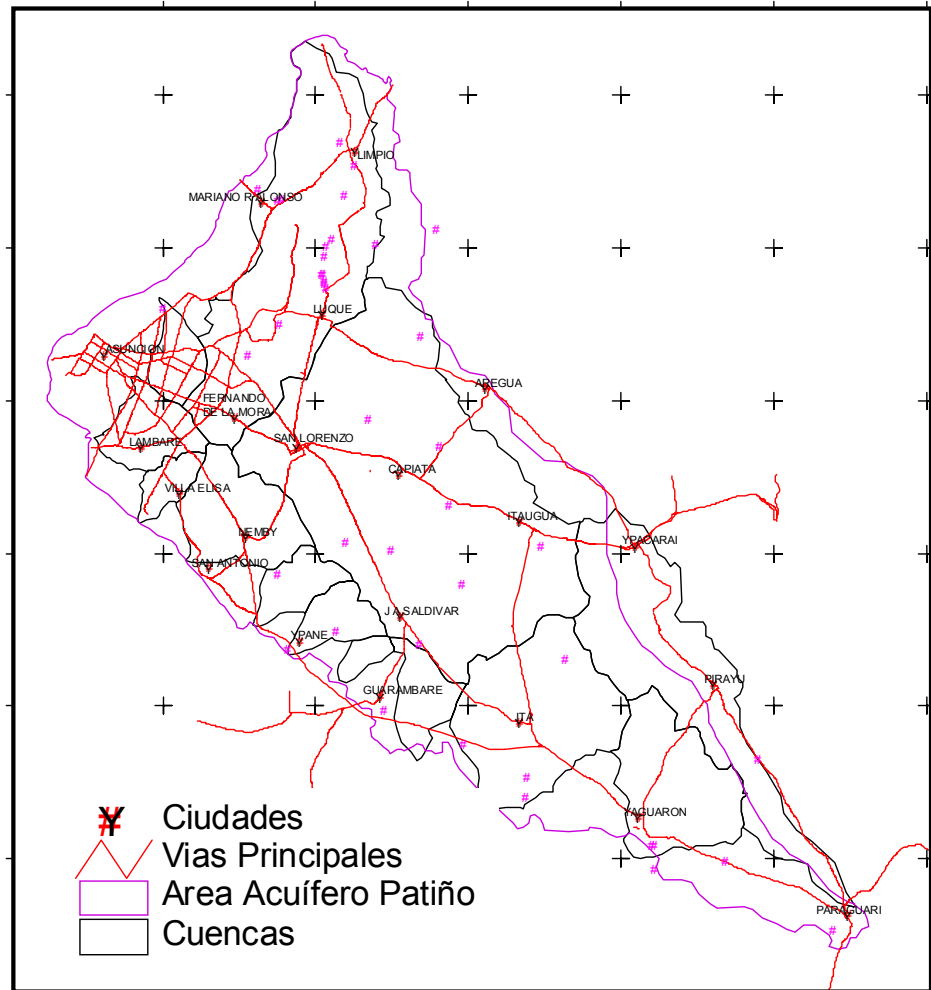
i. Lavanderias

Puntos Potenciales de Contaminación



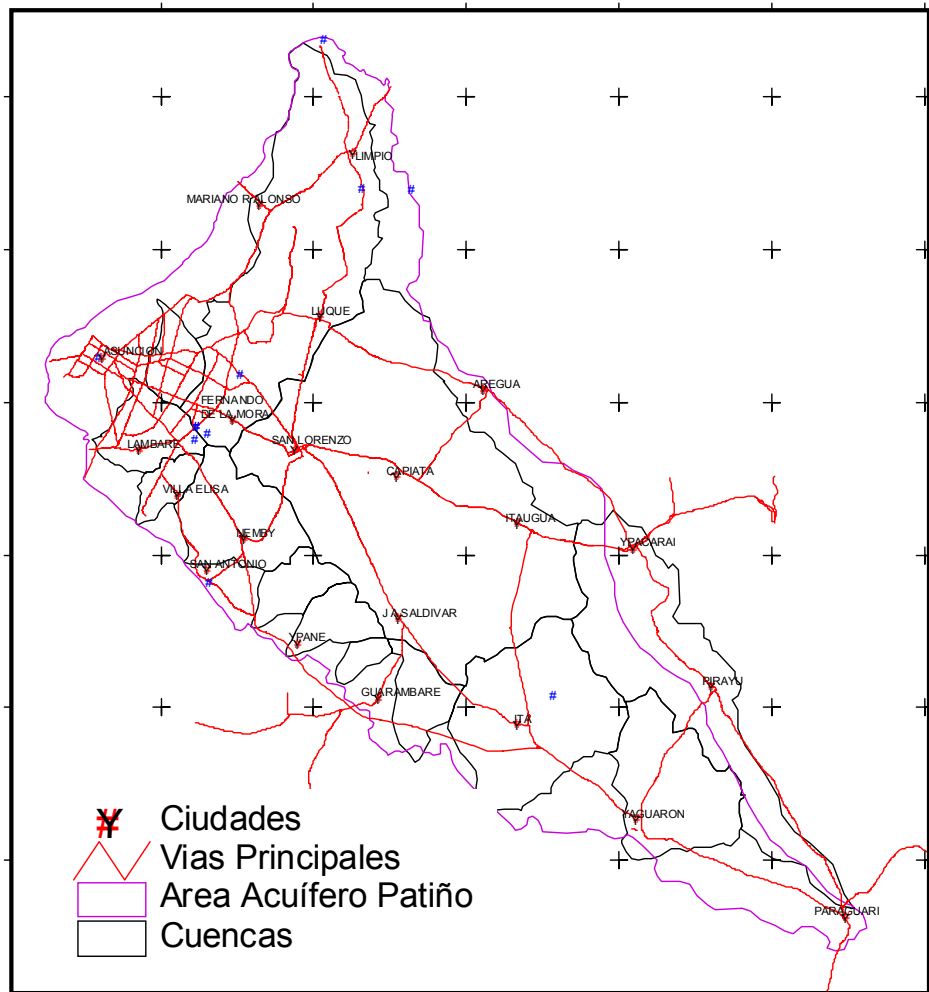
j. Mataderos

Puntos Potenciales de Contaminación



k. Frigoríficos

Puntos Potenciales de Contaminación



4. Bibliografía

DGEEC, 2002, Censo Nacional de Población y viviendas 2002, Asunción Paraguay

Custodio E, Llamas M. Hidrología Subterránea Tomo II Segunda Edición . Ediciones Omega.