

filtración y de la capacidad de retención de la zona de aeración. Al sobrepasar la cantidad del líquido infiltrado, los h.c.c. penetran en el cuerpo de agua subterránea debido a su mayor densidad y fluyen hasta la base del acuífero.

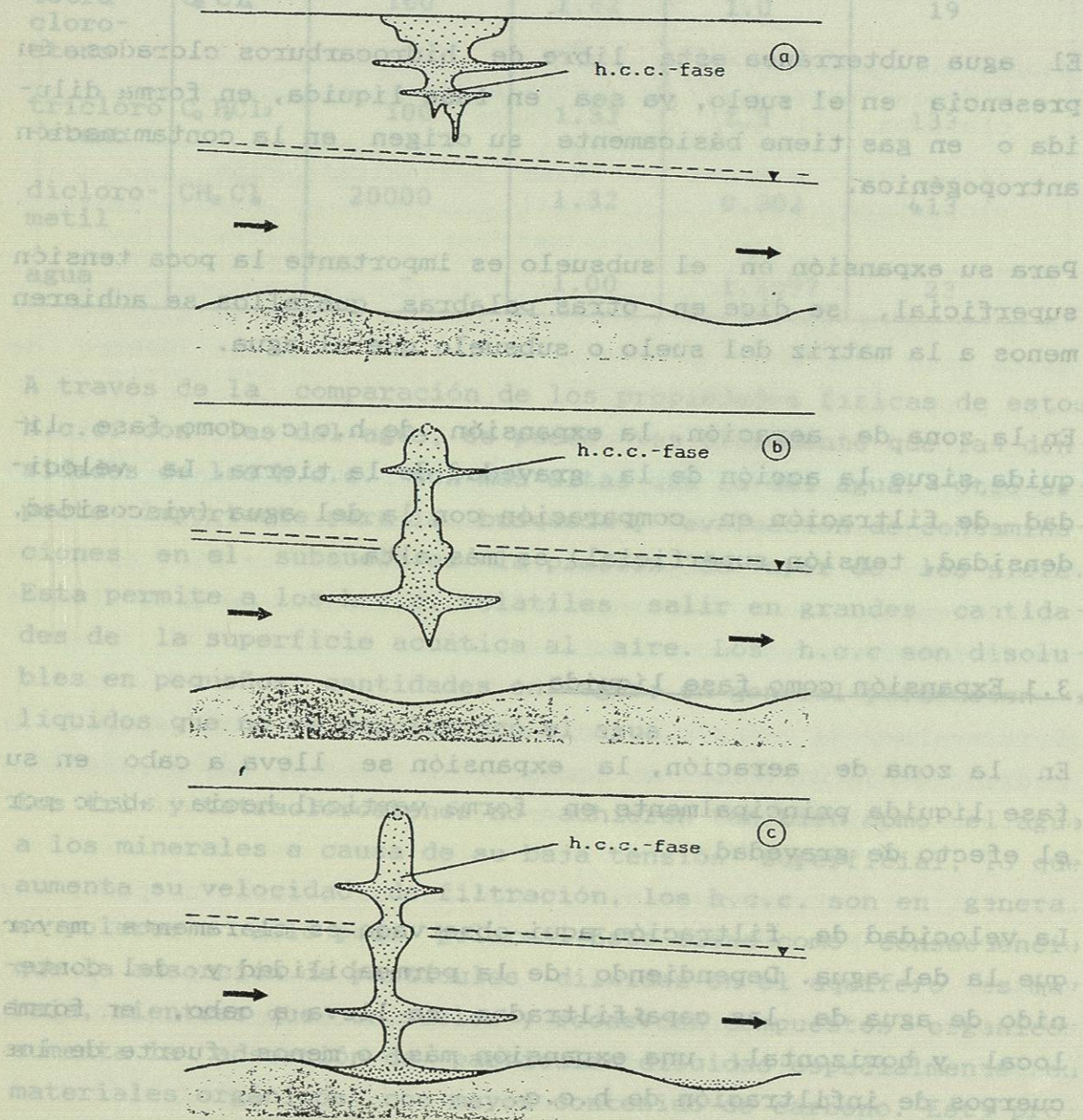


Fig. 2: La expansión de h.c.c. como fase líquida

La expansión como fase líquida de los h.c.c. va a finalizar, si no se encuentran juntos formando un cuerpo. Si forman algunas islas o gotas, los h.c.c. se van a disolver hasta la saturación residual y van a ser inmóviles. En cuencas endorreicas los h.c.c. se pueden acumular en la base del acuífero en concentraciones más alta que la saturación residual. La capacidad de retención depende de la permeabilidad de las capas y es más alta en la zona saturada que en la zona de aeración.

3.2 Expansión como fase disuelta

Entran los hidrocarburos clorados en contacto con el agua en la zona de aeración, entonces se disuelven y migran con el agua infiltrada hasta el espejo del agua freática. Los cuerpos presentes en la zona de aguas freáticas son separados en gotas por el agua subterránea y son de esta manera disueltos. Ya que la densidad de esta solución es sólo ligeramente más alta que la densidad del agua subterránea, no existe una tendencia remarcable para una deposición dentro del acuífero.

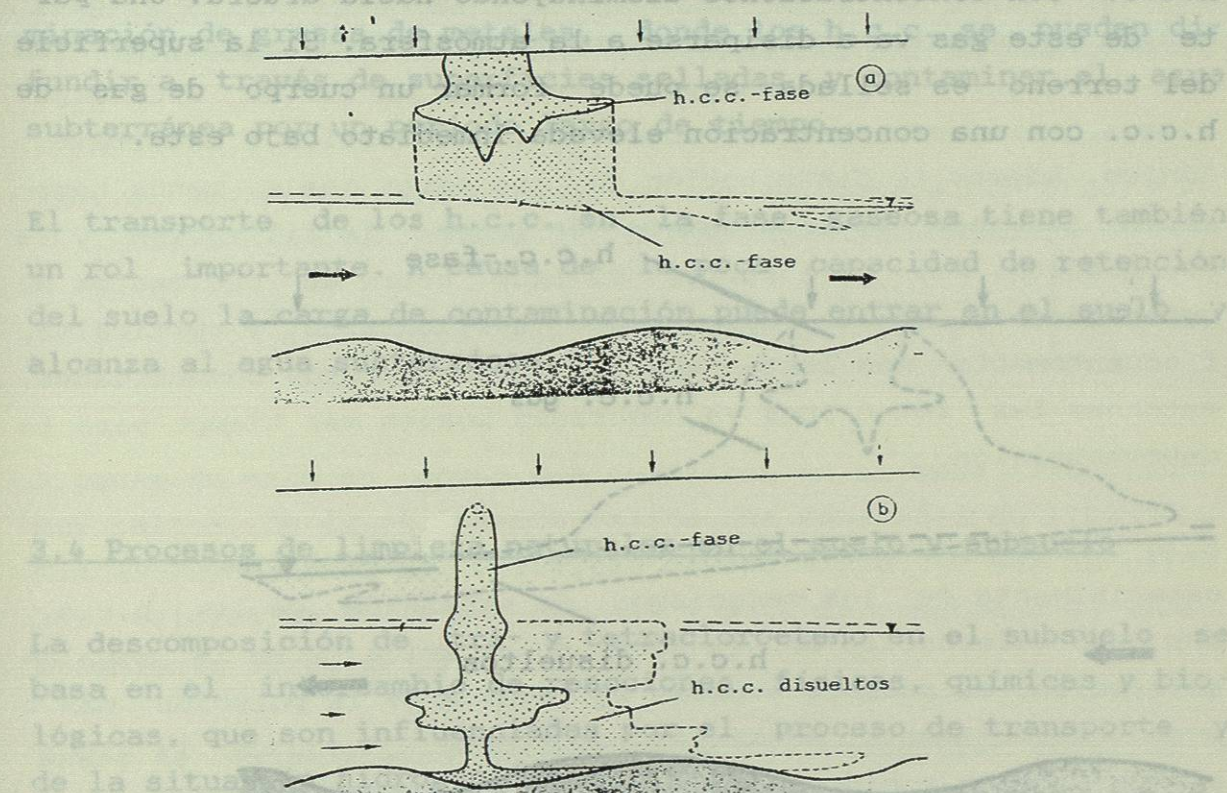


Figura 3: La expansión como fase disuelta

La expansión es determinada por la dirección y velocidad de flujo del agua freática y de la difusión transversal. Por ejem. en acuíferos de gravas se encuentra una difusión transversal de sólo pocos porcientos (max. 10 mts. en 100 mts. de distancia de flujo).

3.3 Expansión como fase gaseosa

Penetra el agua infiltrada en la zona no saturada un cuerpo de h.c.c., el agua percolada toma los h.c.c. hasta la saturación residual y avanza como solución saturada al nivel de agua subterránea. También si durante la infiltración el agua atraviesa la zona gaseosa grande alrededor del cuerpo de polución, esta se contamina y puede en su camino siguiente ensuciar el subsuelo.

Alrededor de un cuerpo de h.c.c. se forma una capa de gas de h.c.c. con concentraciones disminuyendo hacia afuera. Una parte de este gas va a disiparse a la atmósfera. Si la superficie del terreno es sellada se puede formar un cuerpo de gas de h.c.c. con una concentración elevada inmediato bajo esta.

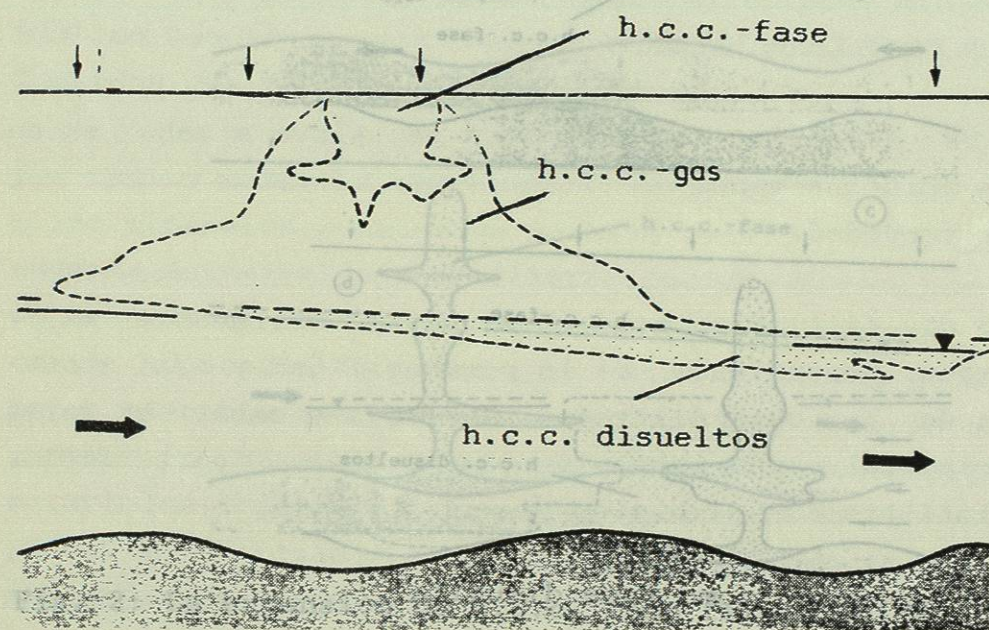


Fig. 4: La expansión como fase gaseosa

Los procedimientos de vaporación dentro del suelo constituyen la base para la localización de contaminación del subsuelo por medio de mediciones de aire en el suelo.

Tab.2: Número de vaporación y calor de vaporación (HARRESS & HOLZWARTH 1983)

medio de disolución	Número de vapor.	calor de vap. (Joule/g)
Tricloroeteno	3	241
Tetracloroeteno	9,5	210
Agua	80	2264

Según el grado de la volatilización se pueden diferenciar:

Medio de disolución volátil fuerte-Número de vaporación <10

Medio de disolución volátil medio-Número de vaporación 10-35

Medio de disolución volátil difícil-Número de vaporación >35

Elevadas concentraciones de h.c.c. en el aire son conocidos de otros eventos de polución, como por ejem. en fábricas de eliminación de grasas de metales, donde los h.c.c. se pueden difundir a través de superficies selladas y contaminar el agua subterránea por un período largo de tiempo.

El transporte de los h.c.c. en la fase gaseosa tiene también un rol importante. A causa de la poca capacidad de retención del suelo la carga de contaminación puede entrar en el suelo y alcanza al agua subterránea.

3.4 Procesos de limpieza naturales en el suelo y subsuelo

La descomposición de tri- y tetracloroeteno en el subsuelo se basa en el intercambio de reacciones físicas, químicas y biológicas, que son influenciadas por el proceso de transporte y de la situación hidrogeológica.

Sobre la descomposición biológica en sistemas acuáticos no se pueden dar datos exactos a causa de la falta de informaciones e investigaciones. En general es válido que microorganismos no pueden descomponer el tri- y el tetracloroetano y si pueden descomponerlos, sólo lo hacen un poco lenta y difícilmente.

La fotólisis, la oxidación, la vaporización y la hidrólisis son las más importantes factores de descomposición abiótica. Sobre estos procesos, en situaciones comparables, también no existen muchos datos exactos hasta hoy. La intensidad de estas reacciones naturales es diferente. En la zona saturada los procesos de disolución y precipitación juegan un papel importante, en la zona de aeración otras reacciones tienen una importancia más grande. El máximo de intensidad de la descomposición se espera en horizontes de suelo con la mayor actividad bacterial.

La capacidad de limpieza es generalmente más alta en sedimentos no consolidados que en sedimentos consolidados; los sedimentos no consolidados poseen una porosidad más alta y por eso una superficie más grande para la colonización de microorganismos, así como para la absorción, desorción e intercambio iónico. Además la distribución de los poros más o menos homogénea favorece el intercambio de gases, la filtración y la evaporación. Por otra parte, el agua corre en sedimentos no consolidados, en las direcciones horizontales y verticales, frecuentemente más lenta que en las sedimentos consolidados, entonces las reacciones ya nombradas poseen más tiempo para la descomposición.

Sólo con las informaciones de todos los factores nombrados y especialmente de los mecanismos de expansión de los h.c.c., con sus diferencias en la zona de aeración y en la zona de saturación, es posible evaluar la medida de la polución más o menos correctamente. Además, es importante conocer la situación geológica e hidrogeológica del área de contaminación.

Fig. 4: La expansión como fase gaseosa

4. La contaminación del agua subterránea en un área urbana

En este caso se presenta un ejemplo por un área contaminada en una ciudad grande, donde toda la superficie esta sobreconstruida. Casas, calles, caminos y patios interiores impiden el paso de la lluvia casi totalmente al suelo. En este ejemplo se trata de la ciudad de Munich, en el Sur de Alemania.

La situación geológica del subsuelo más profundo es muy bien conocida por la construcción del metro y de perforaciones de pozos en esta área. El subsuelo se constituye de un acuífero de gravas de 10 a 18 m. de espesor, del tiempo glacial de Riß y de Würm de la "Münchener Schotterebene".

Las diferencias en los espesores de los sedimentos cuaternarios no consolidados sobre el Terciario, son atribuidas a la pendiente general de la superficie del terreno de SE-NW. La morfología del Terciario muestra por el contrario una clara diferencia en la forma, con una loma cerca del centro del área de investigación. Las gravas cuaternarias poseen una composición de granos en promedio como sigue:

Tab. 3: Distribución de granos en los sedimentos cuaternarios

ϕ mm	50	50-20	20-10	10-2	2
%	6,5	para cada caso		20-30	14-22

A causa de esto es común que aparezcan en el agua velocidades muy altas, de igual manera existe una capacidad de almacenamiento mayor. Para la velocidad de distancia se pueden calcular valores de 10-20 mts por día y para la capacidad de almacenamiento cerca de 30 Vol.%.

Abajo de estas gravas cuaternarias se encuentran arcillas y margas de "Flinz" que funcionan como un aquitardo.

La situación hidrogeológica se presenta como sigue. La figura 5 muestra las líneas piezométricas en el área de investigación antes de la contaminación (situación en Agosto del '81). Se reconoce si los dueños extraen agua el nivel se abate considerablemente en esta área.

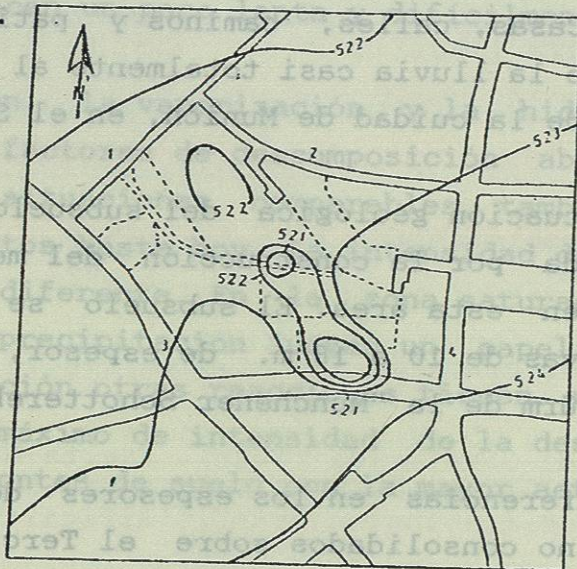


Fig. 5: Líneas piezométricas (Agosto 81)

Después de la contaminación los dueños no pudieron usar el agua de la primera capa bajo la superficie y la extracción fue parada. A causa de eso se presenta de nuevo el sistema de flujo natural. Las figuras 6, 7 y 8 muestran las líneas piezométricas al tiempo de las tres días de muestreo (Junio en '86, Agosto en '86 y Noviembre '86). Claramente se puede ver la dirección general de la corriente de SE a NW. Las desigualdades de la corriente natural se deben a la extracción de agua en los pozos uno o dos días antes de la toma de pruebas.

Para una apropiada toma de muestras en el área de investigación no se necesitaron algunas medidas de preparación. La evaluación del evento de contaminación se facilitó por el gran número de perforaciones en esta área, que fueron realizadas antes y durante la construcción del metro, directamente bajo el suelo del área.

La toma de muestra esencial prosigue después de cerca de 15 min. de extracción de 6 l/s. En estos casos se empleó una bomba de aire a compresión, en donde la circulación del aire no está en contacto con la circulación del agua. Después se mi-

dieron la temperatura y la conductibilidad eléctrica del agua. Posteriormente se tomaron 250 ml. de agua subterránea, se llenaron en botellas de vidrio hasta derramarse y se sellaron.

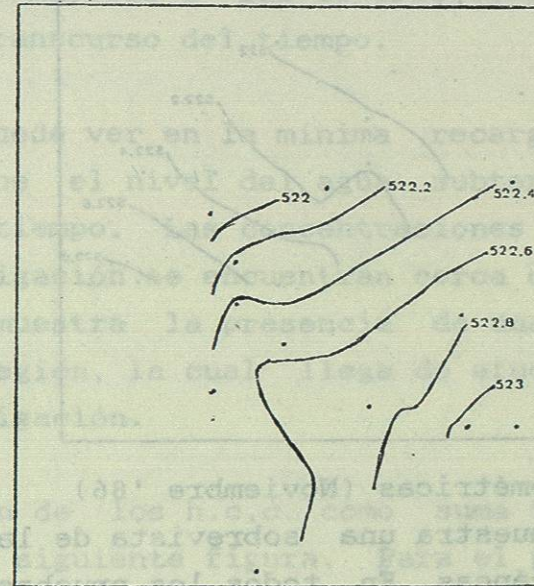


Fig. 6: Líneas piezométricas (Junio '86)

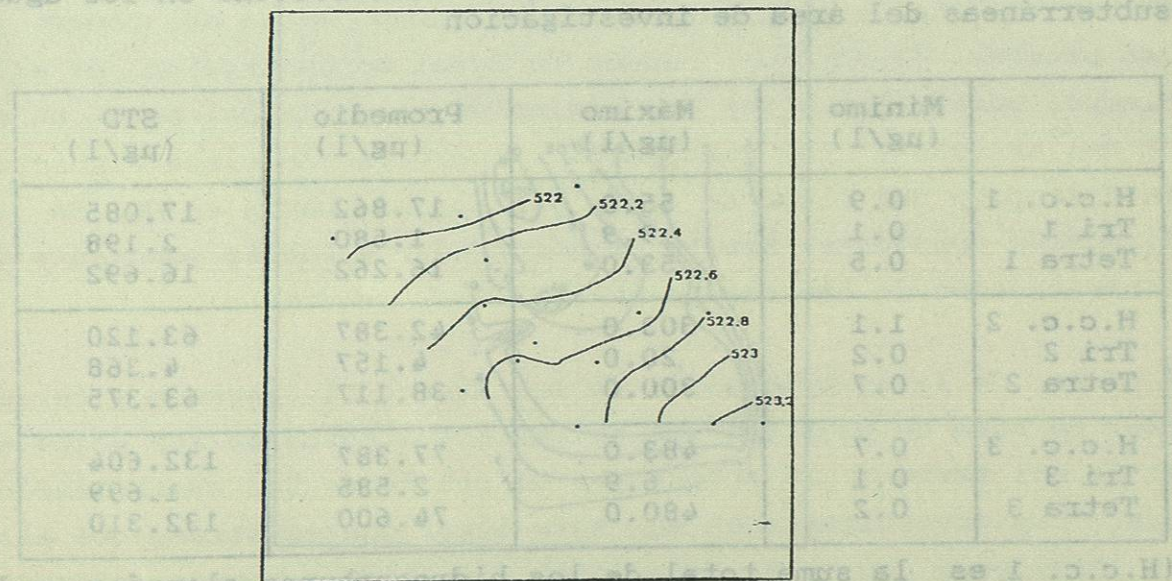


Fig. 7: Líneas piezométricas (Agosto '86)