

# RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL VALLE DE TULUM - PROVINCIA DE SAN JUAN

Silvia MÉRIDA\*; Liliana TORES\*\*

Ingenieras Civiles - Especialistas en Tecnologías del Agua

\*INA CRAS SAN JUAN; Avda. J.I.de la Roza 125 Este, Piso 3; CP 5400; San Juan; Argentina

Tel. (54 264) 4214826 / Fax (54 264) 4212415 - E-mail: [meridasilvia@yahoo.com.ar](mailto:meridasilvia@yahoo.com.ar)

\*\*DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA; Av. San Martín 750 (O); Capital; CP 5400; San Juan

Tel: (0264) 4306260 – E- mail: [toresli123@yahoo.com.ar](mailto:toresli123@yahoo.com.ar)

## 1. INTRODUCCIÓN

Los acuíferos subterráneos al igual que los cauces superficiales están expuestos a la contaminación producida por procesos naturales o por la acción antrópica. Las propiedades del medio varían de un punto a otro, lo que hace variable el potencial de un acuífero para protegerse, esto hace que algunas áreas sean más vulnerables que otras. La vulnerabilidad es, entonces, una propiedad intrínseca de los sistemas de agua subterránea que depende de la sensibilidad de estos a los impactos humanos y/o naturales y es función de los factores hidrogeológicos que determinan la inaccesibilidad de la zona saturada a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos. El estudio y análisis de vulnerabilidad de los acuíferos sirve de guía en la planificación de actividades relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, siendo una herramienta fundamental en el desarrollo de políticas de protección de las aguas subterráneas subyacentes a la superficie.

El presente trabajo tiene como objetivo principal proporcionar una herramienta con sustento científico que permita la toma de decisiones sobre un planeamiento y ordenamiento territorial adecuado, a la hora de establecer la distribución urbana, la radicación de emprendimientos industriales o mineros y el tratamiento de efluentes y residuos; de modo de preservar las condiciones naturales del reservorio

subterráneo, asegurando la permanencia de una de las principales fuentes de agua potable de la provincia de San Juan, como es el acuífero del Valle de Tulúm.

De las diversas metodologías para caracterizar la vulnerabilidad de un acuífero, se ha optado por el método denominado GOD, considerándose el primer paso para la determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas con el fin de establecer prioridades y determinar la vulnerabilidad intrínseca, dado que no toma en cuenta el tipo de contaminante. Para la evaluación de la carga contaminante y el riesgo de contaminación se aplicó el método POSH, considerando como cargas puntuales a las industrias establecidas en el Valle de Tulúm y los reservorios de residuos sólidos urbanos.

La interacción entre la zona de influencia de las perforaciones para agua potable y la ubicación y nivel de carga contaminante determinó los puntos de mayor riesgo y a los que la autoridad deberá prestar mayor atención en términos de control.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Proporcionar una herramienta de consulta y ayuda para el planeamiento y desarrollo urbano bajo la premisa del manteniendo de la calidad del agua subterránea para consumo humano, mediante la identificación de zonas con diferentes vulnerabilidades del agua subterránea a la acción antrópica y la evaluación del riesgo de contaminación por efecto de la existencia de focos contaminantes sobre los acuíferos.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Diseñar el mapa de vulnerabilidad del Valle de Tulúm.



obra cabecera del sistema de riego del Tulúm. El valle concentra aproximadamente el 80% de la población y de las actividades económicas y de servicios que se desarrollan en la Provincia.

En la zona de estudio se asienta el conglomerado metropolitano denominado Gran San Juan, que abarca la ciudad Capital y los sectores urbanos de los departamentos aledaños. En cuanto a la provisión de agua potable, la población del mismo es abastecida por los servicios que presta la empresa Obras Sanitarias Sociedad del Estado.

La distribución de la población en el territorio provincial no es uniforme, debido a causas naturales, históricas y socioeconómicas. Entre las condiciones naturales se encuentran las condiciones del relieve, que determinan una preferencia por establecerse en los valles por la disponibilidad del agua, concentrada.

#### **4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO**

##### **4.1. Aspecto Metodológico**

Para el análisis de vulnerabilidad en la zona de estudio se ha adoptado la metodología GOD (Groundwater occurrence - Overall aquifer class – Depth). El método GOD, es simple y sistemático y fue desarrollado por Foster, en 1987.

Es un método empírico que establece la vulnerabilidad relativa como la interacción entre la inaccesibilidad hidráulica y la capacidad de atenuación; factores que poseen relaciones complejas y dependen de gran cantidad de variables difíciles de cuantificar. Para solventar este inconveniente la metodología utiliza la clasificación de tres fases discretas que son la distancia del agua, la ocurrencia del agua subterránea y el substrato litológico.

La vulnerabilidad según el método se calcula como el producto de los siguientes factores:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = G \cdot O \cdot D$$

Donde:

G = Índice por condición de confinamiento del acuífero u ocurrencia del agua subterránea

O= Índice del substrato litológico en términos de grado de consolidación y características litológicas

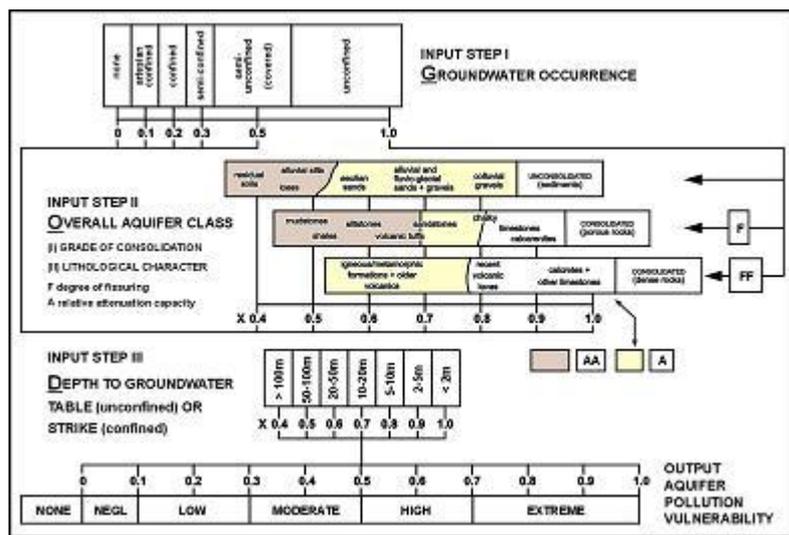
D = Índice por profundidad del nivel del agua o techo del acuífero confinado.

Cada uno de los factores posee valores entre cero y uno. A mayor valor, más desfavorable es la condición. Este método solo asigna un peso indirecto a las variables a través de sus valores - Figura N°2.

Otra característica del método, es que solo toma en cuenta la posible atenuación antes de alcanzar la zona saturada, sin tomar en cuenta la dilución y dispersión en el acuífero.

Se considera vulnerabilidad muy baja si el valor es menor a 0.1; baja si el valor está entre 0.1 y 0.3; moderada si está entre 0.3 y 0.5; alta si está entre 0.5 y 0.7 y extrema si es mayor a 0.7.

Figura N°2 - Caracterización de la vulnerabilidad GOD (Foster e Hirata, 1991)



## 4.2. Análisis de la información para cada parámetro

### 4.2.1. Geología

Desde el punto de vista geológico, la provincia de San Juan presenta afloramientos de cordones montañosos correspondientes a las unidades morfoestructurales denominadas Sierras Pampeanas, Precordillera y Cordillera.

En referencia al Valle de Tulum, éste es una depresión intermontana de origen tectónico que se desarrolla en el sector centro sur de la provincia de San Juan, entre la Sierra de Pie de Palo al este y las sierras Chica de Zonda y de Villicúm y las lomas de Las Tapias y del Salado al oeste. El Valle se encuentra relleno por materiales pétreos y rocas sedimentarias del Cuaternario y del Terciario respectivamente. Contiene un reservorio o cuenca de agua subterránea de unos 3.700 Km<sup>2</sup>, con acuíferos libres, semiconfinados y confinados dependiendo de las condiciones geológicas del subsuelo.

Se considera como el basamento hidrogeológico (unidad no acuífera) de la cuenca de agua subterránea, a sedimentitas de edad terciaria. Por su parte los materiales sedimentarios del cuaternario (unidad acuífera más importante) que rellenan la

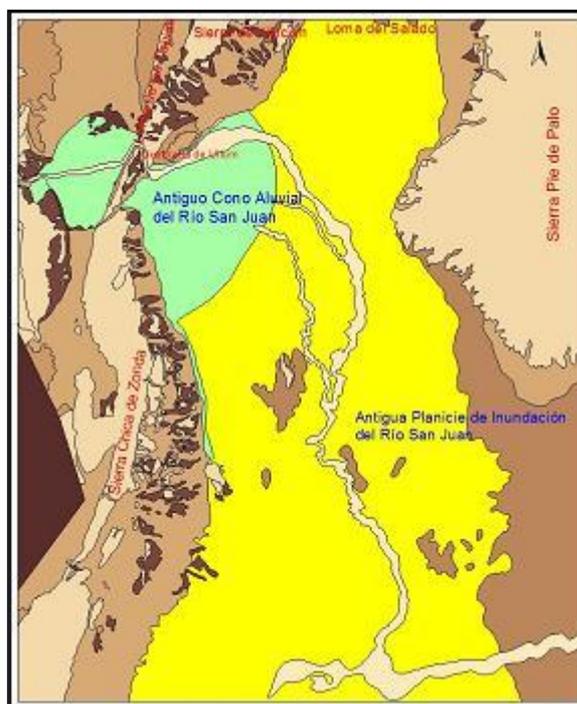
cuenca fueron depositados principalmente por el río San Juan, quien atraviesa el valle de norte a sur. El río es de carácter semipermanente con marcadas variaciones de tipo estacional e interanual.

Desde el punto de vista fisiográfico y siguiendo la clasificación efectuada por Rocca, J. A (1969), el Valle de Tulúm está integrado principalmente por dos unidades fisiográficas caracterizadas por presentar diferentes pendientes: una ubicada en el sector centro-oeste del valle correspondiente al antiguo cono aluvial del río San Juan -Figura N° 3, verde-, y la otra correspondiente a la antigua planicie de inundación del río -Figura N° 3, amarillo.

Este cono aluvial posee una superficie de aproximadamente 300 Km<sup>2</sup>, representando alrededor del 10% del área total del Tulúm. Su pendiente media es de 7,2 m/Km.

La antigua planicie de inundación del río San Juan, ocupa una superficie de unos 3.000 Km<sup>2</sup> y superficialmente está compuesta por arenas, limos y arcillas; su pendiente media es de unos 1,25 m/Km. Las variaciones en el proceso de acumulación fluvial han dado como resultado, el depósito de sedimentos gruesos, medianos y finos, que muestran un cierto grado de selección granulométrica. De acuerdo a datos de

**Figura N° 3 - Fisiografía del Valle de Tulúm.**  
Fuente: Atlas Socioeconómico de San Juan



perforaciones y geofísica, se concluye que estos sedimentos están distribuidos en el

subsuelo en formas de capas lenticulares de grava, gravilla y arena y arena fina a gruesa, constituyendo los principales acuíferos debido a su buena permeabilidad, e intercalaciones de limos y arcillas, que desempeñan el papel de capas acuicludas o confinantes debido a su baja permeabilidad.

En general, el aluvión que rellena el Valle varía de granulometría más fina hacia el norte, este y sur, a medida que se aleja del cono aluvial del río San Juan.

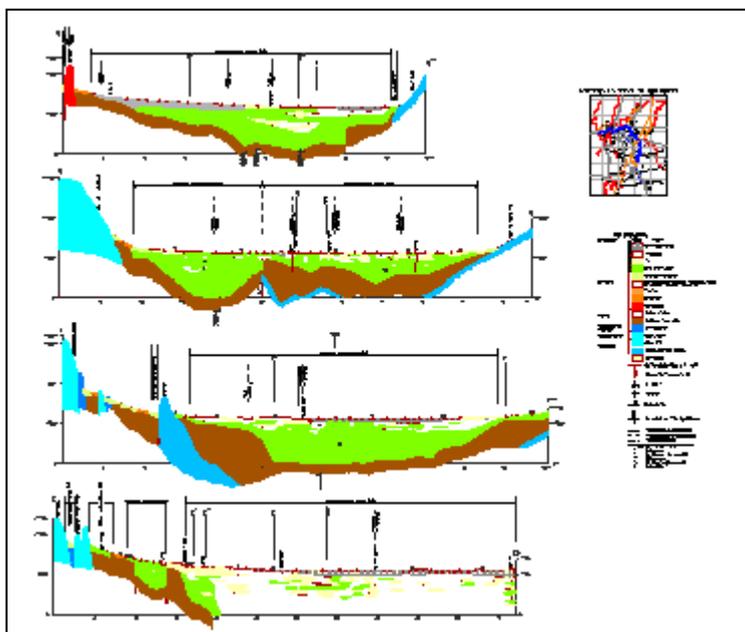
En base a la documentación existente se concluye que existen dos formaciones acuíferas y dos confinantes o acuicludas principales al oeste de la falla Tulúm y una acuífera y una acuicluda al este de la falla.

Las formaciones acuíferas constituyen un paquete más o menos continuo de material grueso dominante aunque con algunas intercalaciones arenosas y limosas. En las denominadas acuicludas se invierte esta relación, ya que están formadas principalmente por limos y arcillas con intercalaciones más bien delgadas de arena y grava, especialmente hacia el centro del valle, constituyendo un complejo de baja permeabilidad.

Las características del aluvión en superficie son distintas debido a que aflora solamente una cubierta areno-limo-arcillosa de color generalmente pardo claro y de espesor variable, de

origen fluvio lacustre y en parte eólico. Esta cubierta constituye un suelo de tipo

Figura N°4: Cortes Geológicos. Rocca (1970)



aluvial, aprovechado por el hombre para implantar sus cultivos. En gran parte, este suelo está salinizado debido al proceso actual de concentración de sales por evaporación de agua mineralizada que asciende del subsuelo por capilaridad, originando costras de salitre blanco, o negro, dependiendo de sus componentes constitutivos.

A partir de información obtenida con método geofísico de geoeléctrica o sondeos eléctricos verticales (SEV) se confeccionaron cortes geofísico – geológicos transversales a la cuenca (Rocca 1970). -Figura N°4.

#### **4.2.2. Piezometría y profundidad de niveles freáticos**

Los niveles estáticos tomados en el acuífero tienen variaciones anuales e interanuales, vinculadas a los balances hidrogeológicos del reservorio; en cuyas ecuaciones intervienen los ingresos (recarga) y los egresos (bombeos y descargas naturales) y consecuentemente por diferencia las variaciones del almacenamiento.

La información disponible de niveles del agua fue proporcionada por el INA-CRAS (período 1973/2005), por el Plan Agua Subterránea para el Noroeste Argentino (PAS, período 1966/72) y por el Departamento de Hidráulica ( período1957/2010). Para poder determinar el escenario más desfavorable ante el riesgo de contaminación del acuífero, se analizaron los registros existentes, encontrándose en septiembre de 1988 las menores profundidades del agua subterránea observadas en las cuatro décadas con disponibilidad de información de niveles.

#### **4.2.3. Limite del Acuífero**

La cuenca de agua subterránea del Valle de Tulúm, presenta una zona de acuífero libre ubicada al oeste del valle; y una zona de acuíferos semiconfinados a confinados situados en general al este y sur de la depresión.

La zona de acuífero libre abarca el abanico aluvial del río San Juan, desde su sector apical hasta la parte distal, donde se produce un cambio de fases granulométricas y la presencia de materiales finos de tamaño de limos y arcillas, intercalados entre sedimentos de mayores dimensiones. Este cambio da origen a condiciones de semiconfinamiento y luego confinamiento de los acuíferos. Asimismo se incluye como área de acuífero libre, la franja norte – sur que se extiende al este de la llanura aluvial pedemontana de la Sierra Chica de Zonda, constituida por materiales de granulometría gruesa. Los sedimentos en los cuales se desarrolla el acuífero libre poseen elevadas porosidades efectivas y altas permeabilidades, constituyendo la mejor unidad acuífera de todas las conocidas en el Valle de Tulúm. Asimismo, el abanico aluvial del río San Juan constituye una excelente zona de infiltración y recarga de la cuenca de agua subterránea.

Teniendo como base la información de perforaciones, sondeos eléctricos e informes realizados por el INA CRAS San Juan y el Departamento de Hidráulica se determinó el límite entre acuíferos.

#### **4.2.4. Análisis de parámetros**

La vulnerabilidad del acuífero en el Valle de Tulúm se obtiene a partir de la conjunción y análisis de los mapas geológicos, de profundidad de niveles y de límites de acuíferos, conjuntamente con la clasificación de Foster para caracterizar la vulnerabilidad (GOD). La diferencia entre los valores fue individualizada por colores

- Cuadro N°1 y Figura N° 3. Aplicando la siguiente valoración:

G=1 para acuífero libre y G=0,3 para acuífero semiconfinado

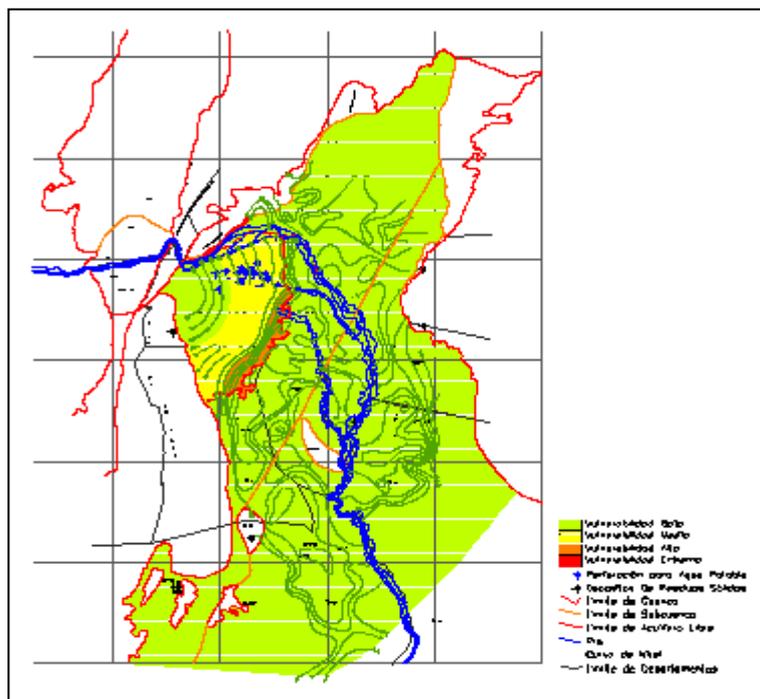
O= 0,6 para arenas y gravas aluviales

D= valores originales sugeridos por Foster según Figura N°2

Cuadro N°1 - Clasificación de la vulnerabilidad en el Valle de Tulum - Método GOD												
Prof. del nivel freático (m)	Índice para acuífero libre						Índice para acuífero semiconfinado					
	G	O	D	Vulnerabilidad	Clasificación	Color	G	O	D	Vulnerabilidad	Clasificación	Color
>100	1	0,6	0,4	0,24	bajo	verde	0,3	0,6	0,4	0,07	despreciable	celeste
100-50	1	0,6	0,5	0,3	bajo	verde	0,3	0,6	0,5	0,09	despreciable	celeste
50-20	1	0,6	0,6	0,36	mod	amarillo	0,3	0,6	0,6	0,11	bajo	verde
20-oct	1	0,6	0,7	0,42	mod	amarillo	0,3	0,6	0,7	0,13	bajo	verde
10-may	1	0,6	0,8	0,48	mod	amarillo	0,3	0,6	0,8	0,14	bajo	verde
05-feb	1	0,6	0,9	0,54	alto	naranja	0,3	0,6	0,9	0,16	bajo	verde
<2	1	0,6	1	0,6	alto	naranja	0,3	0,6	1	0,18	bajo	verde

En función del análisis del Cuadro N° 1 (método GOD) y de las características hidrogeológicas del Valle de Tulum surge el mapa de vulnerabilidad en la zona estudio- Figura N° 5.

Figura N° 5- Mapa de Vulnerabilidad Valle de Tulum



## 5. ANÁLISIS DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUIFERO

El análisis del riesgo de contaminación está orientado a determinar el posible efecto de las industrias y los vertederos de residuos sólidos sobre las aguas subterráneas del Valle de Tulum. Para la evaluación de la carga contaminante se aplicó el método POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulically) creado por Foster e Hirita en 1988 y revisado por Foster et al. en 2001.

### 5.1. Caracterización de la carga contaminante

Con la aplicación del método se puede clasificar la carga contaminante del subsuelo y establecer criterios de protección del agua subterránea, a partir de la estimación de la vulnerabilidad del acuífero.

Se basa en dos características fácilmente estimables: el origen del contaminante y su sobrecarga hidráulica y genera tres niveles cualitativos de “potencial de generación de carga contaminante al subsuelo”: reducido, moderado y elevado.

Las cargas analizadas en este trabajo corresponden a fuentes de contaminación puntual, de acuerdo a la clasificación de las actividades potencialmente contaminantes por su distribución espacial. Las mismas son:

- **Actividad Industrial**

En términos generales, cualquier actividad industrial puede generar una carga contaminante al subsuelo como resultado de la emisión de efluentes líquidos y de la inadecuada disposición de residuos sólidos (Pankow, et. al., 1984; Bernardes et. al., 1991) y de materiales no deseados, conjuntamente con accidentes que involucren fugas de productos químicos peligrosos (Sax, 1984).

Siguiendo la clasificación, dada por Foster (2002), según las características químicas, se determina el índice de contaminación potencial del agua subterránea

en función del tipo de industria - Cuadro N°2. La probabilidad de concentraciones problemáticas de efluentes del proceso se clasifica en: ● baja, ●● moderada, ●●● alta.

Cuadro N°2 - Tipo de Industrias e Índice de Contaminación Potencial del Agua Subterránea									
Tipo de Industria	Uso relativo del Agua	Carga salina	Carga de nutrientes	Carga orgánica	Hidrocarburos	Patógenos fecales	Metales Pesados	Orgánicos sintéticos	Índice de Contaminación Potencial del Agua Subterránea
Textiles y Pinturas	***	●●	●●	●●●	●	●	●	●●	2
Vidrios	**	●●	●	●	●	●	●●●	●	2
Cerámicas	**	●●	●	●	●	●	●	●	1
Farmacéutica	***	●●●	●●	●●●	●	●●	●	●●●	3
Jabón y Detergentes	**	●●	●	●●	●●	●●	●	●	2
Jugo	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Bodegas	**	●●●	●●●	●●●	●●	●	●	●	2
Pasas	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Hielo y Soda	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Encurtidos	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Aceites	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Embutidos	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Conservas	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Lácteos	**	●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	1
Mataderos	***	●●●	●●●	●●●	●	●●●	●	●	3
Vitivínicas de Molienda y Traslado	**	●●●	●●●	●●●	●●	●	●	●	2
Plantas de Tratamiento	***	●●	●	●●	●●●	●●	●●	●●●	3
Estaciones de Servicio.	*	●	●●	●●●	●●●	●	●	●●	3

Fuente: Elaboración propia en base a la clasificación de Foster (2002)

En la provincia de San Juan, hay un total de 599 industrias. El 13.53 % de las industrias poseen plantas de tratamiento de efluentes en buen funcionamiento, el 81% se encuentran en trámite de regularización del tratamiento y el resto vierte

directamente los efluentes sin tratar al terreno. Del total de industrias registradas el 62 % producen efluentes con elevada carga orgánica y salina (industrias vitivinícolas y olivícolas). En la gran mayoría de estos casos los efluentes reciben un tratamiento primario, un tratamiento biológico (cámara séptica) y luego son infiltrados en el terreno o vertidos al mismo para riego de cultivos, campos de chéptica o plantaciones de árboles o son derivados a lagunas de evaporación (industrias olivícolas). Hay un 9 % de estaciones de servicios y lavaderos de automotores que producen efluentes con contenidos de hidrocarburos en escasa cantidad pero de alto grado de contaminación si alcanzan las capas subterráneas. En estos casos el tratamiento consiste en desbaste primario y trampas de grasas, luego se infiltra el agua residual. Hay un 4% de plantas de tratamientos cloacales que reciben tratamiento primario y secundario y luego, en la mayoría de los casos se infiltra a través de lechos percoladores o se vierte a sistemas de drenajes o desagües.

En todos los casos, ya sea que se traten o no los efluentes hay posibilidades de contaminación de las capas de agua subterráneas, y es aquí donde centramos nuestro estudio a la hora de valorar la peligrosidad de contaminación del recurso subterráneo.

- ***Disposición de Residuos Sólidos Urbanos***

La carga contaminante al subsuelo generada a partir de la disposición inadecuada de un vertedero de residuos o relleno sanitario es función de la probabilidad de existencia de sustancias contaminantes en el agua subterránea y de la generación de una carga hidráulica suficiente para lixiviar tales contaminantes.

El tipo de contaminantes presentes está relacionado principalmente con el origen del residuo y las reacciones bio-químicas que ocurren dentro del propio residuo y en la

zona no saturada subyacente -(Nicholson et. al., 1983). La evaluación de la calidad real del lixiviado requiere un programa de monitoreo detallado, pero puede también ser estimado en términos generales sobre la base del origen del residuo (residencial, urbano, industrial o minero) y la construcción y edad de la instalación de disposición. Para este trabajo, los residuos sólidos considerados son de origen doméstico, comercial e institucional y se excluyen a aquellos denominados como peligrosos según la Ley Nacional 24.051 y sus decretos reglamentarios.

Los residuos sólidos analizados en los vertederos de la provincia están formados por materiales como: restos de comida, papeles, cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, madera y residuos de jardín. La fracción inorgánica está formada por artículos como vidrio, cerámica, latas, aluminio y metales férricos. También se encuentra entre ellos una cantidad variada de productos que representan un riesgo potencial, a la salud pública o a los organismos vivos. Estos materiales son pilas, sustancias ácidas, remedios, insecticidas, pinturas, artículos de limpieza, etc.

Actualmente San Juan cuenta con una serie de once vertedero oficiales distribuidos en los departamentos que constituyen el Gran San Juan. En la mayoría de ellos se observa la práctica de incineración de los residuos y en muy pocos se efectúa el enterramiento, para evitar la proliferación de insectos y otros animales.

La clasificación del potencial relativo de generación de carga contaminante al subsuelo se puede obtener por la interacción del origen del residuo, que indica la posible presencia de contaminantes del agua subterránea y la sobrecarga hidráulica probable estimada a partir de la precipitación en el sitio de disposición de residuos.

Finalmente, la categorización de las fuentes contaminantes analizadas según el método POSH, se muestra en el Cuadro N°3, donde se considera: Industria tipo 1:

carpinterías, fábricas de alimentos y bebidas, destilerías de alcohol y azúcar, procesamiento de materiales no metálicos, materializadas en color amarillo; Industrias tipo 2: fábricas de caucho, pulpa y papel, textiles, artículos eléctricos, fertilizantes, detergentes y jabones, materializadas en color verde e Industrias tipo 3: talleres mecánicos, refinerías de gas y petróleo, manufacturas de pesticidas, plásticos, productos farmacéuticos y químicos, curtidurías, fábricas de artículos electrónicos, procesamiento de metal, materializadas en color rojo.

<b>Cuadro N°3- Categorización de fuentes puntuales de contaminación de acuerdo al método POSH</b>		
Potencial por Generación de Carga Contaminante al Subsuelo	Disposición de residuos sólidos	Sitios Industriales
Elevado	Residuos de industrias tipo 3 o residuos de origen desconocido	Industrias tipo 3, cualquier actividad que maneje >100kg/d de sustancias químicas
Moderado	precipitación >500 mm/a con residuos residenciales, industrias tipo 1, agroindustriales o todos los otros casos	Industrias tipo 2
Reducido	precipitación <500 mm/a con residuos residenciales, industrias tipo 1 o agroindustriales	Industrias tipo 1

Fuente: Guía técnica Protección para la Calidad del Agua Subterránea, Foster et. al. (2002)

En San Juan, partiendo de la precipitación media, que es menor a 200mm/año, y del tipo de residuos, se da en todos los vertederos analizados un Potencial reducido.

## 5.2. Evaluación del Riesgo.

El riesgo de contaminación del agua subterránea lo definimos como la probabilidad que un acuífero experimente impactos negativos a partir de una actividad antrópica dada hasta un nivel tal que su agua subterránea se torne inaceptable para el consumo humano, de acuerdo con los valores guía de la OMS para calidad de agua potable -(Foster, 2002).

En el caso de productores de residuos y efluentes considerados, en áreas de suelo permeable, no es fácil recolectar muestras de infiltración para análisis de lixiviados, por este motivo los datos disponibles para definir las concentraciones de contaminantes son muy limitados. Tanto las industrias como los vertederos de residuos sólidos se consideran fuentes puntuales. A partir de la información disponible se obtuvo un valor estimado del riesgo potencial basado en la clase de contaminantes involucrados y la probable carga hidráulica asociada, dada la incertidumbre sobre la concentración y su disposición.

El riesgo de contaminación de acuíferos se determinó considerando:

- \* La carga contaminante sub-superficial que es, será o podría ser aplicada en el subsuelo como resultado de la actividad humana.
- \* La vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, que depende de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del terreno.

El método utilizado, es un método de interacción entre ambos componentes y consiste en un gráfico de doble entrada y su intersección nos da el grado de riesgo.

El Cuadro N°4 resume los resultados de la evaluación del riesgo para contaminación considerando las industrias y los vertederos de residuos sólidos establecidos en el lugar de estudio.

<b>Cuadro N°4 Grado de Riesgo según Vulnerabilidad y Clasificación de Industrias</b>				
Nivel de Carga Contaminante	Nivel de Vulnerabilidad			
	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
Reducido	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Elevado	Moderado	Alto	Extremo	Extremo

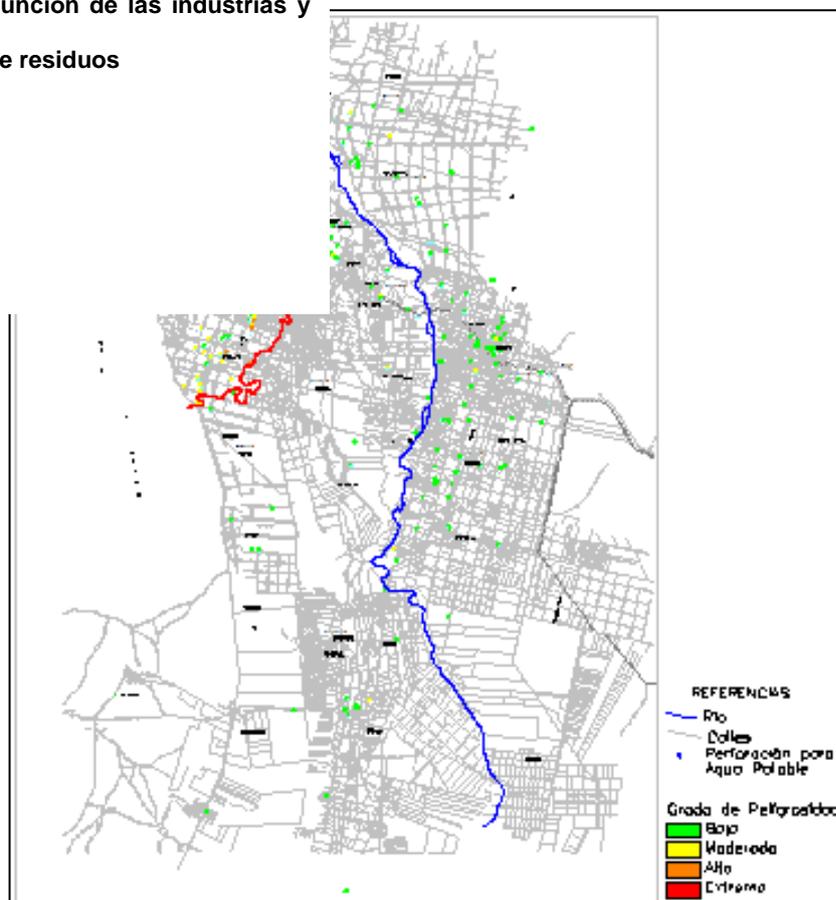
Fuente: Elaboración propia en base a lo determinado por Foster (2002)

La evaluación de los riesgos de contaminación del acuífero, es esencial para la protección de los recursos hídricos subterráneos, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen mayor probabilidad de impactar negativamente sobre el acuífero. Identificadas esto se pueden tomar medidas preventivas de control.

La Figura N° 6 muestra el Grado de Riesgo obtenido para las cargas contaminantes analizadas en este trabajo.

Si las actividades que tienen potencial para generar una carga contaminante elevada al subsuelo ocurren en un área de alta vulnerabilidad del acuífero, la cual está también dentro de una zona de captura de una fuente de abastecimiento subterráneo, existirá un serio riesgo de causar contaminación significativa al abastecimiento de agua y por consiguiente a la población.

Figura N°6 - Clasificación del Nivel de Riesgo en función de las industrias y depósitos de residuos



## 6- CONCLUSIONES

Los resultados del estudio de vulnerabilidad del acuífero del Valle del Tulum mostraron los distintos grados de vulnerabilidad de las formaciones acuíferas a la contaminación, evidenciándose la mayor vulnerabilidad en la franja ubicada en las proximidades del límite entre el acuífero libre y el acuífero semi-confinado, al este de la ciudad de San Juan.

Del análisis de riesgo realizado, en función de los datos de vulnerabilidad y el emplazamiento de industrias y vertederos de residuos sólidos urbanos, se obtuvo que el mayor riesgo de contaminación lo producen las industrias ubicadas en la

misma franja anterior, contabilizando un total de: 21 industrias con un grado de riesgo alto y 3 con un grado de riesgo extremo. De aquí surge la necesidad de intensificar los controles de vertidos de efluentes en las mismas a fin de evitar la contaminación del acuífero.

En otros términos la gran densidad de perforaciones e industrias con un riesgo moderado a alto, que posee el este la ciudad de San Juan indican la necesidad de un estudio más profundo sobre el área de captación de cada perforación, sobre todo en los pozos empleados para uso poblacional; la incidencia de los vertidos de efluentes sobre estas áreas y la posibilidad de reducir o eliminar la carga contaminante.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Foster,S et.al.. *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía Técnica.* USA.Año 2002
- [2] Salvioli, Gerardo. *Estudio y Análisis de la evolución Hidrológica e Hidroquímica del acuífero libre del Valle de Tulum, provincia de San Juan, entre los años 1970 y 2007.* Proyecto Código 21/I 779 CICITCA. Facultad de Ingeniería – UNSJ. San Juan. Argentina. Año 2007
- [3] Departamento de Hidráulica. *Registro de Industrias en la Provincia de San Juan.* San Juan. Argentina. Año 2010.
- [4] Departamento de Hidráulica, provincia de San Juan. *Registro de Perforaciones Privadas en el Valle de Tulúm.* San Juan. Argentina. Año 2010.