

# Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea por Depósitos Sólidos e Industrias en el Valle de Tulum - Provincia de San Juan

*Mérida, Silvia Andrea*

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

RESUMEN: El recurso de agua subterránea suele ser un recurso confiable para el suministro de agua por estar geológicamente protegido. No obstante ello, las aguas subterráneas presentan una permanente amenaza de contaminación ocasionadas por acciones antrópicas, tales como el desarrollo urbano o las actividades industriales, mineras o agrícolas; constituyendo esto un riesgo para el ecosistema y para la salud si se considera al recurso subterráneo como proveedor de agua para consumo humano.

El presente trabajo consiste en la aplicación de un método paramétrico de valoración de la vulnerabilidad del acuífero y un análisis del peligro y riesgo de contaminación del recurso hídrico subterráneo del Valle de Tulum, en la provincia de San Juan.

El método aplicado, se denomina GOD y establece la vulnerabilidad del acuífero como una función de la inaccesibilidad a la zona saturada de contaminantes, desde el punto de vista hidráulico, y de la capacidad de atenuación de los estratos ubicados encima de la zona saturada.

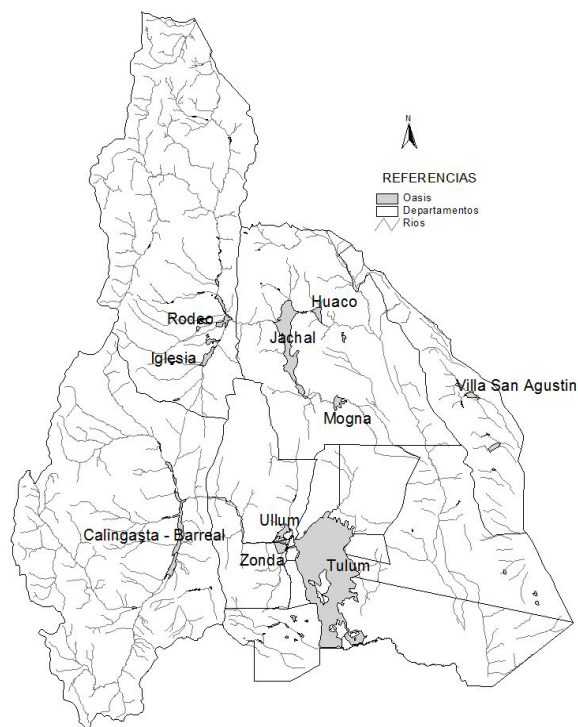
La metodología toma como punto de análisis el área del Valle, asumiendo como agentes de contaminación los depósitos de residuos sólidos y las industrias existentes en el mencionado Valle. A partir de allí se trata de evaluar la vulnerabilidad y el peligro de contaminación de las aguas subterráneas utilizadas para refuerzo de la red de agua potable.

Los resultados obtenidos son una serie de mapas indicativos de la vulnerabilidad del acuífero freático, los peligros relacionados a cada una de las amenazas planteadas y los riesgos asociados al uso del agua subterránea como fuente de agua para el consumo humano.

El elaborar el mapa de vulnerabilidad, permite dividir al Valle en pequeñas unidades que muestran potencialidades diferentes para propósitos o usos específicos; constituye una herramienta sencilla pero fundamental para la toma de decisiones en respuesta al planeamiento, manejo y control de los recursos hídricos.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

San Juan está situada en la región de Cuyo. Posee una superficie de 92.800 km<sup>2</sup>, dentro de la cual se destaca un relieve montañoso de escasa vegetación, fértiles oasis, ríos del deshielo cordillerano, serranías e importantes yacimientos mineros y paleontológicos.



**Figura N° 1:** Ríos y Oasis de San Juan  
Fuente Atlas Socioeconómico de San Juan

La zona de estudio, el Valle de Tulum - (Figura N° 1)- se encuentra ubicada en el centro sur de la provincia de San Juan, rodeado de un relieve montañoso. Su clima se caracteriza por ser desértico, con escasas precipitaciones, considerable aridez y una importante oscilación térmica tanto anual como diaria. El principal río del Valle es el río San Juan, el cual ha desarrollado un importante cono aluvial, en cuyo ápice se encuentra emplazada la presa Quebrada de Ullúm, obra cabecera del sistema de riego del Tulum. 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, cuya fuente principal es obtenida del recurso superficial con refuerzos de aguas subterráneas a través de perforaciones distribuidas en la zona a servir. La población se extiende en el territorio provincial de forma no 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.

El objetivo primordial de este trabajo, es 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.

## DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD

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.

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

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = G \times O \times D \quad (1)$$

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 y 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.

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. Describir metodología.

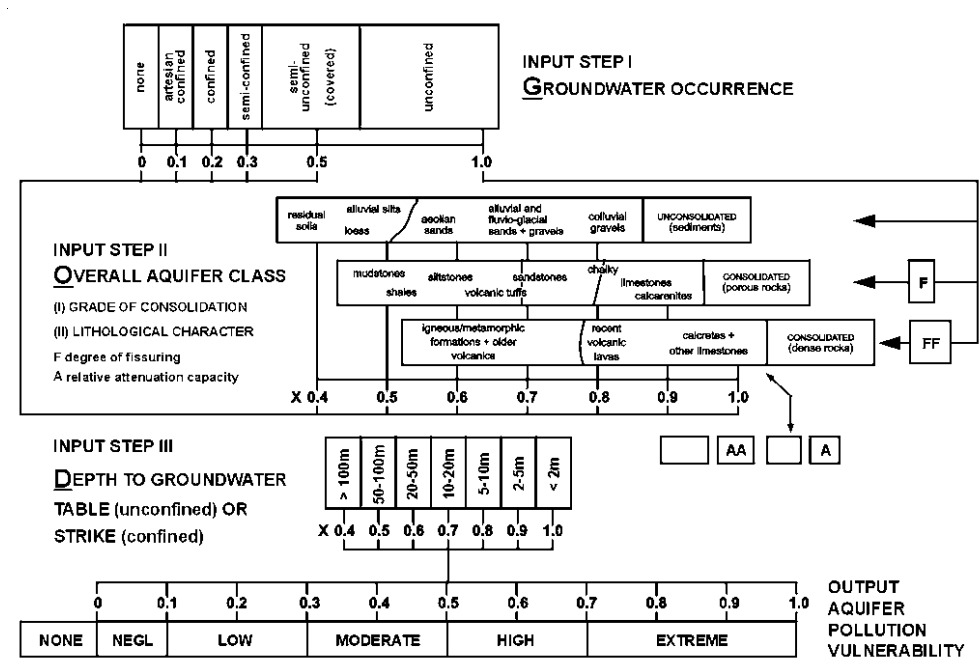


Figura N°2 - Caracterización de la vulnerabilidad GOD (Foster e Hirata, 1991)

## Geología

El Valle de Tulúm, 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.

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, y la otra correspondiente a la antigua planicie de inundación del río.

### *Piezometría y profundidad de niveles freáticos*

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

### *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.

### *Resultados. 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 - Tabla N°1 y Figura N°2.

Aplicando la siguiente valoración:

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

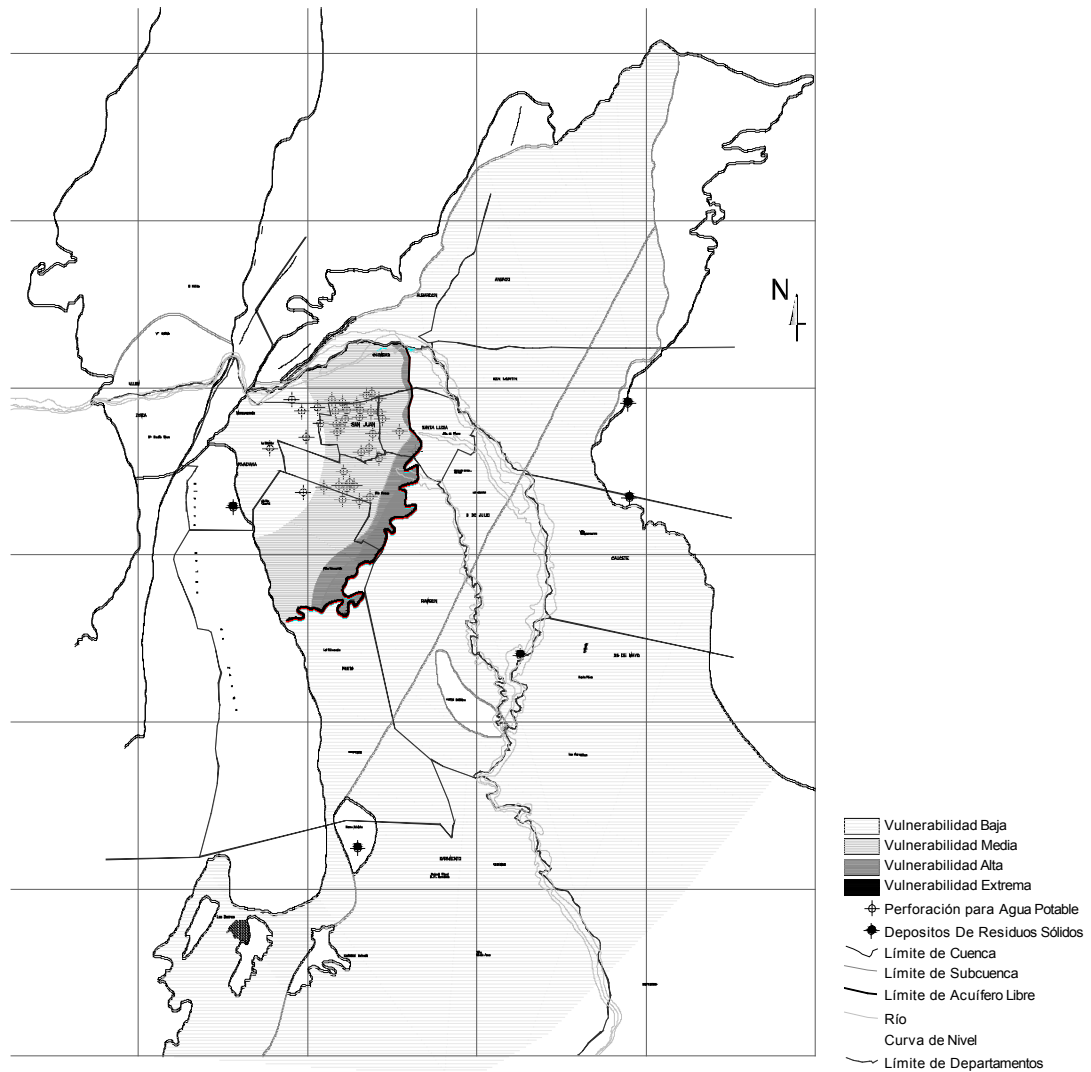
$O= 0,6$  para arenas y gravas aluviales

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

**Tabla 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	Gris claro	0,3	0,6	0,4	0,07	despreciable	blanco
100-50	1	0,6	0,5	0,3	bajo	Gris Claro	0,3	0,6	0,5	0,09	despreciable	blanco
50-20	1	0,6	0,6	0,36	mod	Gris medio	0,3	0,6	0,6	0,11	bajo	Gris Claro
20-10	1	0,6	0,7	0,42	mod	Gris medio	0,3	0,6	0,7	0,13	bajo	Gris Claro
10-05	1	0,6	0,8	0,48	mod	Gris medio	0,3	0,6	0,8	0,14	bajo	Gris Claro
05-02	1	0,6	0,9	0,54	alto	Gris oscuro	0,3	0,6	0,9	0,16	bajo	Gris Claro
<2	1	0,6	1	0,6	alto	Gris oscuro	0,3	0,6	1	0,18	bajo	Gris Claro

En función de los valores obtenidos en Tabla N°1 se traza el mapa de vulnerabilidad (método GOD) - Figura N° 3.



**Figura N° 3-** Mapa de Vulnerabilidad Valle de Tulum

### ANALISIS DEL RIESGO DE CONTAMINACION DEL ACUIFERO

En este trabajo, 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.

#### *Caracterización de la carga contaminante*

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. 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*

Siguiendo la clasificación, dada por Foster (2002), según las características químicas, se determinó el índice de contaminación potencial del agua subterránea en función del tipo de industria.

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*

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 ferreos. 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 han sido definidos como residuos peligrosos, tales como: pilas, sustancias ácidas, remedios, insecticidas, pinturas, artículos de limpieza, etc.



Actualmente San Juan cuenta con una serie de once vertederos 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 tapado, para evitar la proliferación de insectos y otros animales.

La clasificación del potencial relativo de generación de carga contaminante al subsuelo se pudo 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. En San Juan, la categorización de las fuentes contaminantes analizadas según el método POSH, partiendo de la precipitación media, que es menor a 200mm/año, y por el tipo de residuos, dio para todos los vertederos analizados un Potencial reducido.

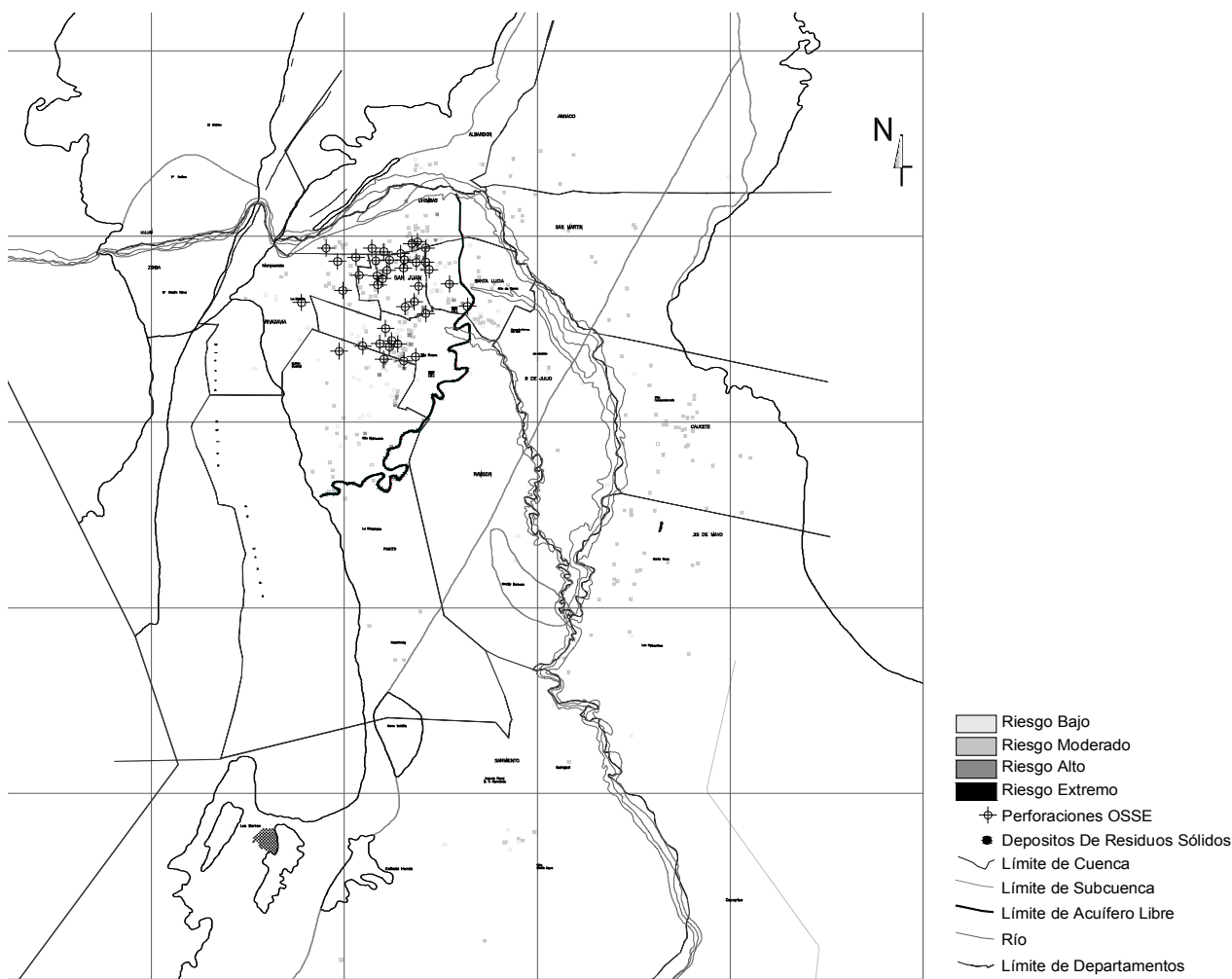
## EVALUACION DEL RIESGO

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).

El riesgo de contaminación de acuíferos en cualquier localización dada fue determinado considerando la interacción entre: la carga contaminante sub-superficial que es, será o podría ser aplicada en el subsuelo como resultado de las actividades humanas y 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, propuesto por Foster (2002), 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.

Esta evaluación de los riesgos de contaminación del acuífero, es un prerequisite esencial para la protección de los recursos hídricos subterráneos, ya que identifica aquellas actividades humanas que tienen la mayor probabilidad de tener impactos negativos sobre el acuífero y así indica la priorización de las medidas de control y mitigación necesarias.

En la Figura N° 4 se 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°4 - Nivel de Riesgo en función de la localización de industrias y vertederos de residuos**

## CONCLUSIONES

Los resultados del estudio de vulnerabilidad del acuífero del Valle del Tulúm muestran distintas zonas para las formaciones acuíferas existentes y el análisis del riesgo para las industrias indican que veintiuna poseen un grado de riesgo alto y dos riesgo extremo indicando, en qué puntos se deben priorizar los controles. Al solapar el análisis de riesgo realizado, con la información de pozos de bombeo destinados al uso en agua potable, se pudo observar casos particulares como el de una perforación ubicada en calle H. Yrigoyen y 11 de Octubre, en el Departamento Santa Lucia, que se encuentra muy cercana y aguas abajo de una industria con riesgo extremo.

En términos más generales la gran densidad de perforaciones e industrias con un riesgo de grado moderado a alto, que posee al este la ciudad de San Juan indican la necesidad de un estudio más profundo sobre el área de captación de cada perforación, la incidencia del efluente sobre estas áreas y la posibilidad de reducir o eliminar la carga contaminante.

## REFERENCIAS

Foster,S et.al. 2002. Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía Técnica. USA

Salvioli, G. 2007. Estudio y Análisis de la Evolución Hidrológica e Hidroquímica del Acuífero Libre del Valle de Tulúm, Provincia de San Juan, entre los Años 1970 y 2007. Proyecto Código 21/I 779 CICITCA. Facultad de Ingeniería – UNSJ. San Juan. Argentina.

Departamento de Hidráulica. 2010. Registro de Industrias y Perforaciones Privadas en la Provincia de San Juan. San Juan. Argentina.