

# EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO MERCEDES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE PAYSANDÚ – COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS GOD Y DRASTIC

Jorge Montaña XAVIER<sup>1</sup>  
Sergio GAGLIARDI<sup>2</sup>  
Hernán VIDAL<sup>2</sup>  
Mauricio MONTAÑO<sup>2</sup>  
Leandson Roberto F. da LUCENA<sup>3</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como fin principal la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero poroso en los alrededores de la Ciudad de Paysandú, en el NW de Uruguay mediante los métodos GOD y DRASTIC. En el primer método intervienen solamente parámetros y características intrínsecas del sistema acuífero; en el segundo intervienen además parámetros externos como recarga, topografía e impacto de la zona no saturada. Como resultado de la aplicación de estos sistemas se obtuvieron dos mapas de vulnerabilidad, que permiten visualizar las regiones más sensibles a la contaminación, y que constituyen una herramienta importante para la elaboración del ordenamiento territorial del área, basado en la protección de los recursos hídricos subterráneos. Estos mapas definen indirectamente zonas más o menos aptas para la implantación de las diferentes actividades a desarrollarse en función del impacto que estas pueden tener sobre los recursos hídricos subterráneos del área. También indican las zonas en las que no debería implementarse ningún tipo de actividad o en las que deberían llevarse a cabo modificaciones físicas que impidan la llegada de contaminantes. La aplicación de los sistemas GOD y DRASTIC posibilitó además la comparación de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de cada método y su valoración en función de los requerimientos de información que cada metodología implica.

**Palabras Clave:** acuífero, vulnerabilidad, Paysandú, GOD, DRASTIC

## ABSTRACT

The aim of this work is to evaluate the vulnerability of the porous aquifer located around Paysandú city, NW of Uruguay, using GOD and DRASTIC methodologies. In GOD there are only involved intrinsic parameters and characteristics. In DRASTIC there are also involved external parameters like recharge, topography and impact in the vadose zone (or unsaturated). The use of these methodologies have produced two vulnerability maps. These maps allow us to visualized the most sensitive areas to contamination, and they constitute an important tool for the territorial arrangement of the area based on the protection of groundwater resources. In addition, these maps indirectly define zones more or less apt for the development of different activities as a function of the impact they could have in the groundwater resources. Also, they show zones where no activity should be done or the modifications that has to be taken in order to prevent the contaminant's arrival. The use of GOD and DRASTIC methodologies allow too the comparison between the obtained results in both methodes and their value as a function of the required information in each methodology.

**Key words:** aquifer, vulnerability, Paysandú, GOD, DRASTIC

<sup>1</sup> Departamento de Geología, INGEPA - Facultad de Ciencias – UDELAR. Iguá 4225. C.P. 11400. Montevideo, Uruguay. Fax: (0598-2) 5258617; (montanox@movinet.com.uy).

<sup>2</sup> Estudiantes de la Universidad de la República - Facultad de Ciencias – INGEPA. Iguá 4225. C.P. 11400. Montevideo, Uruguay. Fax: (0598-2) 5258617.

<sup>3</sup> Laboratorio de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH) da UFPR; Curitiba-PR, Brasil

### 1. Introducción

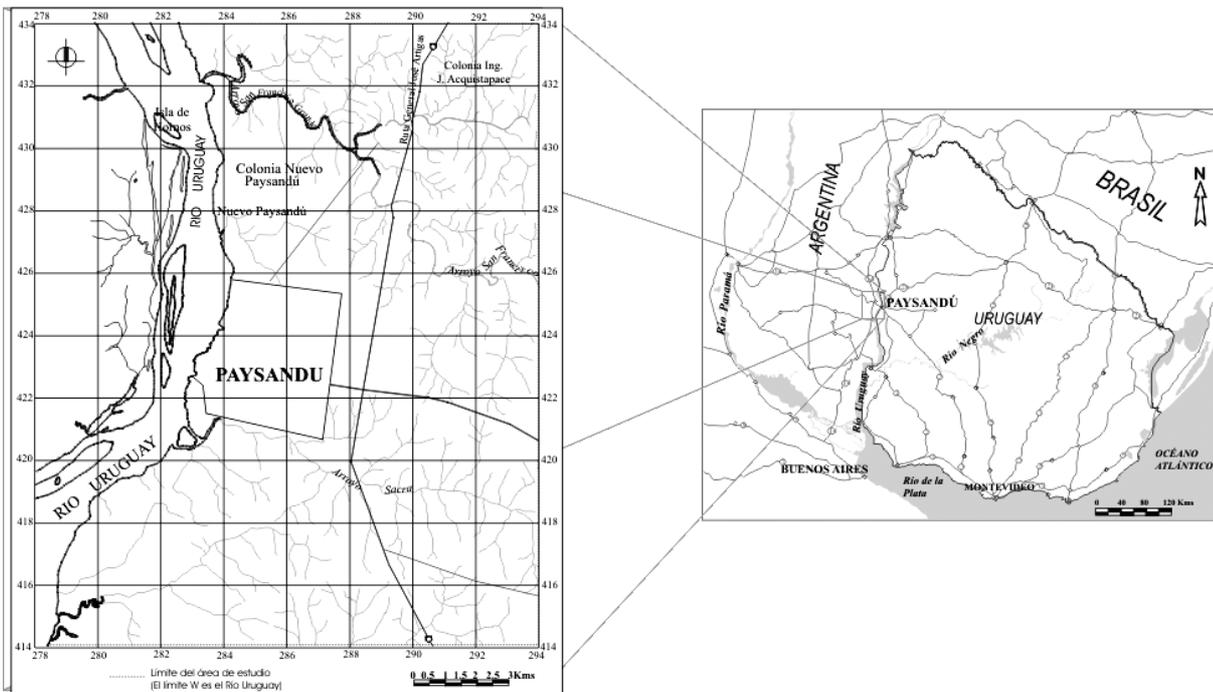
El acuífero Mercedes es el principal reservorio de agua subterránea en el área periurbana de la Ciudad de Paysandú (Uruguay). La evaluación de la Vulnerabilidad de este acuífero, realizada en el presente trabajo mediante los métodos GOD (FOSTER & HIRATA, 1991) y DRASTIC (EPA 1985), posibilita la delimitación de las áreas más susceptibles a la contaminación. Permite además la comparación de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de cada método y su valoración en función de los requerimientos de información que cada metodología implica. Esta valoración puede ser base para la selección del método de evaluación a utilizar en función del grado de

conocimiento que se tenga, o sea en cuanto al detalle de la información con la que se cuenta.

Como objetivo principal se realiza la evaluación de la vulnerabilidad del Acuífero Mercedes mediante el método GOD y DRASTIC. Además se comparan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los Métodos y se analiza la eficacia de la aplicación de los mismos.

El área de estudio comprende la zona periurbana de la Ciudad de Paysandú, limitada por el Arroyo San Francisco al N, el Arroyo Sacra al S, el Río Uruguay al O y al E el meridiano 294. Las coordenadas geográficas (UTM) que delimitan la zona son: X: 278, X': 294; Y: 414, Y' 434 (Figura 1).

Figura 1. Mapa de Ubicación

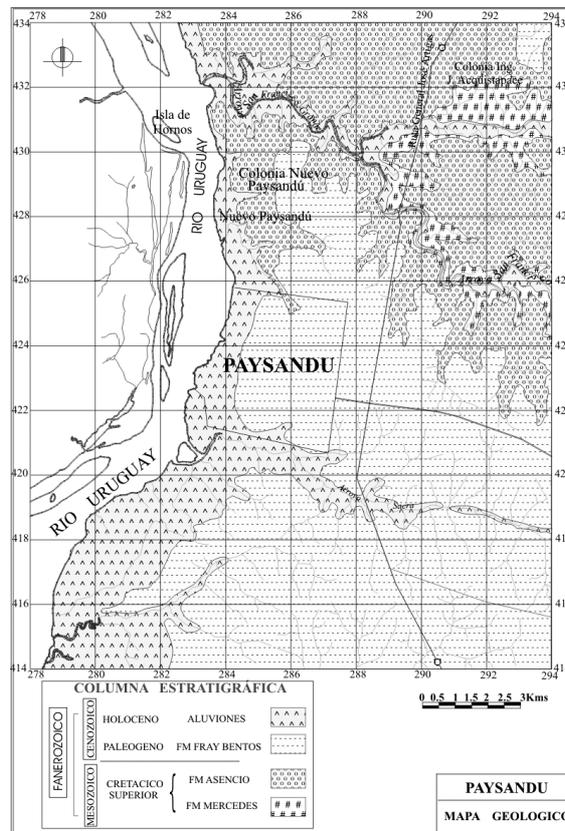


### 2. Geología

El subsuelo del área de estudio está compuesto por sedimentos de edad cretácica, correspondientes a las formaciones Mercedes (Bossi J, 1966) y Asencio (Bossi J, 1966),

cubiertos hacia el sur por litologías pertenecientes a la formación Fray Bentos (Bossi J, 1966) y ocasionalmente por depósitos cuaternarios (Figura 2 y cuadro 1).

Figura 2. Mapa Geológico



Cuadro 1. Estratigrafía sintética

Era	Período	Época	Formación	Litología
<b>Cenozoico</b>	<i>Cuaternario</i>	<i>Holoceno</i>	<u>Reciente y Actual (Q)</u>	-Aluviones modernos y actuales. -Arenas recientes
	<i>Terciario</i>	<i>Oligoceno Superior</i>	<u>Fray Bentos (Fb)</u>	Limo arcilloso con CaCO <sub>3</sub> , rosado
<b>Mesozoico</b>	<i>Cretácico Superior</i>		<u>Asencio (As)</u>	Arena fina a media con óxido de Fe, rojiza.
			<u>Mercedes (Mc)</u>	Arena media a gruesa, blanca, con niveles de gravas y cantos, se observa silicificación.

Las formaciones Asencio y Mercedes tienen incidencia hidrogeológica, pues representan los acuíferos de mayor potencial de la zona. Estas dos formaciones, de edad *Cretácico Superior*, están constituidas por depósitos esencialmente arenosos y conglomerádicos (formación Mercedes) y por sedimentos arenosos (formación Asencio), típicos de un ambiente continental. El techo de la formación Guichón (BOSSI, 1966), sobre el cual la formación Mercedes se apoya concordantemente, se considera límite vertical del presente trabajo.

La Formación Fray Bentos se depositó durante el período Cenozoico. Está constituida por sedimentos limo-arcillosos rosados con presencia de carbonato de calcio, originado en un ambiente continental peridesértico a desértico.

Por su baja permeabilidad se comporta como acuitardo, aunque ocasionalmente pueden observarse permeabilidades mayores, generadas por disolución de carbonato de calcio cuando este se presenta en altos tenores y por aumento de la fracción arenosa.

El Reciente y Actual (Cuaternario), está representado por aluviones cuyos depósitos son restrictivos a la zona costera del Río Uruguay y algunos arroyos, y forman acuíferos libres de baja potencialidad. Estos depósitos están constituidos mayormente por arenas finas a medias, cuarzosas -feldespáticas, redondeadas.

### 3. Hidrogeología

Los acuíferos presentes en el área son porosos. Los sedimentos presentan porosidad intergranular o primaria por lo que conforman medios continuos para el almacenamiento y la

circulación del agua. Se distinguen las siguientes unidades hidrogeológicas:

**Unidad hidrogeológica Fray Bentos:** Esta unidad se desarrolla en el contacto de las formaciones Fray Bentos y Asencio. Es un acuífero de tipo libre a semilibre, altamente sensible a las variaciones climáticas (sequía o abundancia de precipitaciones), en función de las cuales se producen ascensos o descensos de los niveles piezométricos. En el área es explotado mediante pozos de gran diámetro o brocales, de escasa profundidad (< 20m).

**Sistema Hidrogeológico Asencio – Mercedes:** Abarca dos niveles permeables portadores de agua subterránea que pertenecen a dos formaciones geológicas distintas: Asencio y Mercedes. La primera está constituida por arenas finas y medias de permeabilidad media y espesores que no superan los 10m; hacia la base se encuentra una capa de limos arenosos que se comporta como acuitardo, formando el límite con la zona permeable de Mercedes. Se puede decir que este acuífero (Formación Asencio) tiene una importancia relativamente menor, debido a su escaso espesor y a que presenta discontinuidades laterales, por ello la prospección de agua en el área se enfoca a los niveles permeables de Mercedes.

La Formación Mercedes es el principal acuífero. Se desarrolla en toda el área, pero presenta discontinuidades tanto en su potencia como en sus características litológicas que causan variaciones de porosidad y permeabilidad en zonas silicificadas o con cemento calcáreo. El piso del acuífero está constituido por la formación Guichón, límite vertical del presente estudio. Es un acuífero de tipo semiconfinado en toda el área menos en la zona de afloramiento de la formación, donde se comporta como acuífero libre. La dirección de flujo principal es hacia el W con descarga hacia el Río Uruguay.

La conductividad hidráulica (k): 0.12 m/h. La Trasmisividad (T): varía entre 5 en la zona W-SW y 100 m<sup>2</sup>/día hacia el E, asociado probablemente al aumento del espesor y conductividad hidráulica de la Formación Mercedes. Los valores de Coeficiente de Almacenamiento (S) obtenidos son del orden de 10<sup>-2</sup> confirmando el carácter de semiconfinamiento del sistema. El Gradiente Hidráulico (i) es aproximadamente 0.025 (25 m/km) con algunos valores de 0.007 (7 m/km). Los caudales de las perforaciones varían entre 20 a 25 m<sup>3</sup>/h. El caudal específico (q) varía de 0.1 a 3.42 m<sup>3</sup>/h/m, correspondiendo los valores más altos a los pozos de la zona este.

#### **4. Cálculo de la Vulnerabilidad del acuífero Mercedes mediante el Sistema GOD**

El primer método seleccionado para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Mercedes es el Sistema GOD (FOSTER & HIRATA, 1991). Se basa en 3 parámetros: **G** (groundwater: comportamiento hidráulico del acuífero, Tipo de ocurrencia del agua subterránea); **O** (overall: características de la cobertura del acuífero referidas a grado de consolidación y litología); **D** (depth: profundidad del agua).

**Comportamiento hidráulico:** Distinguimos en el área de estudio 3 situaciones:

1. **Semiconfinamiento del acuífero Mercedes:** cuando se encuentra cubierto por las Formaciones Fray Bentos y Asencio (Fb + As) y ocasionalmente con materiales cuaternarios sobre Fray Bentos (Q + Fb + As). El valor asignado en el Sistema GOD es de 0.4.
2. Acuífero Mercedes cubierto por la Formación Asencio y ocasionalmente por Cuaternario y Asencio (al N del área). Consideramos en este caso al acuífero como **No Confinado Cubierto**, distinguiendo así esta zona de otras en que el acuífero se presenta como libre. Se le asigna un valor de 0.6.
3. Formación Mercedes aflorado: se considera el acuífero como **no confinado (libre)**, asignándosele un valor de 1.

**Características de la cobertura del acuífero:** En función de las descripciones litológicas de las perforaciones existentes en el área, se verificó que la cobertura del acuífero Mercedes se constituye mayormente por areniscas consolidadas (formaciones Asencio y Mercedes) o limolitas consolidadas (formación Fray Bentos). Consideramos entonces un sustrato litológico consolidado (F), asignando un valor de 0.7 correspondiente a areniscas y de 0,6 correspondiente a las limolitas.

**Profundidad del sistema acuífero:** La profundidad de acuífero o del agua varía entre 5 y 30m, distinguiéndose 2 situaciones:

1. **Acuífero No confinado (Mercedes aflorante) y No Confinado Cubierto** (Formación Asencio sobre Mercedes). Para la zona no confinada se toma el valor de nivel estático (NE) para valuar la profundidad del agua en el sistema GOD. Los NE se encuentran normalmente entre 5 y 20 metros para esta zona, por lo que se le asigna un valor a este factor de 0.7.
2. **Acuífero semiconfinado.** La profundidad de la Formación Mercedes se obtuvo de las descripciones geológicas de las perforaciones. La profundidad de acuífero

(distancia al agua) se estimó teniendo en cuenta también la ubicación de la tubería filtro en cada perforación. A partir de este análisis se establece que la profundidad del acuífero es siempre mayor a los 20m, variando normalmente entre 25 y 35m, por ello se le asignó el valor de 0.5 en el sistema GOD.

4.1. Evaluación de la vulnerabilidad - GOD

Los resultados del cálculo de la vulnerabilidad se resumen en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Cálculo de la Vulnerabilidad del Acuífero Mercedes. Sistema GOD**

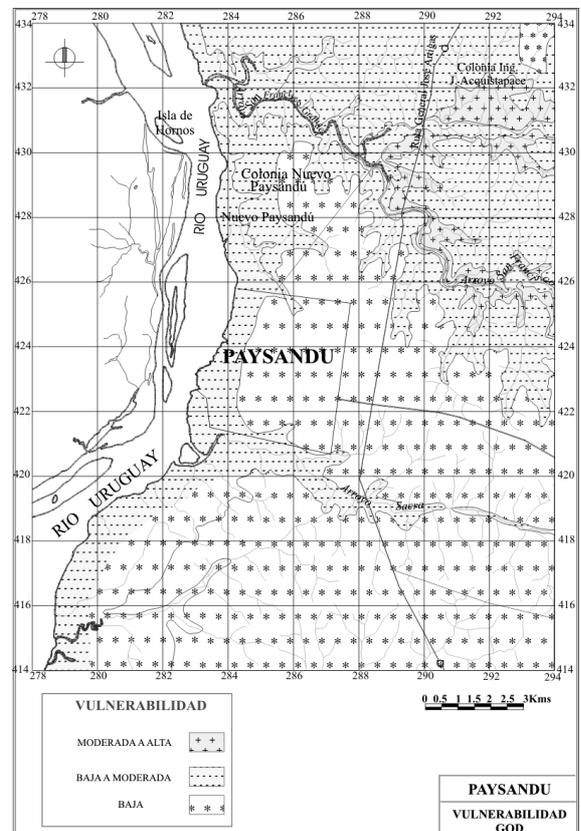
<b>GEOLOGÍA</b>	<b>Fb – As – Mc (Q - Fb – As – Mc)</b>	<b>As – Mc (Q – As - Mc)</b>	<b>Mc (Q – Mc)</b>
<b>Comportamiento hidráulico</b>	Semiconfinado	No confinado cubierto	No confinado (libre)
	0.4	0.6	1
<b>Características de la cobertura del acuífero</b>	Limolitas consolidadas	Areniscas consolidadas	Areniscas consolidadas
	0.6	0.7	0.7
<b>Profundidad del agua</b>	25m a 45m	5m a 20m	5m a 20m
	0.5	0.7	0.7
<b>Totales</b>	0.12	0.294	0.49
<b>VULNERABILIDAD</b>	<b>BAJA</b>	<b>BAJA - MODERADA</b>	<b>MODERADA – ALTA</b>

Q: Cuaternario; Fb: Fm Fray Bentos; As: Fm Asencio; Mc: Fm. Mercedes (acuífero del área)

En la figura 3 se puede observar el Mapa de Vulnerabilidad por el Sistema GOD. Se tomó una franja linderera al Río Uruguay (zona W) de aproximadamente 1000 m de ancho en la cual se considera que los sedimentos de la formación Fray Bentos (limos) fueron erosionados por la acción fluvial, y solamente se encontrarían sedimentos cuaternarios sobre la Formación Asencio, por lo que la vulnerabilidad obtenida es baja a moderada. La misma consideración se toma para las áreas linderas a los arroyos y demás corrientes de agua donde afloran sedimentos cuaternarios (figura 2), excepto en la zona donde el Cuaternario se apoya directamente sobre la Formación Mercedes, donde, como ya fue especificado, la vulnerabilidad resultante es moderada – alta.

resumen en el cuadro 3, donde se detallan los rangos y valores asignados a cada una de ellas:

**Figura 3. Mapa de Vulnerabilidad Método GOD**



**5. Cálculo de la Vulnerabilidad del acuífero Mercedes mediante el Sistema DRASTIC**

Es un sistema estandarizado de evaluación (EPA 1985). La sigla DRASTIC corresponde a las iniciales de los parámetros utilizados para evaluar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos: D = Depth (Profundidad); R = Recharge Net (Recarga); A = Aquifer Media (Acuífero); S = Soil Media (Suelo); T = Topography – Slope (Topografía, Pendiente); I = Impact of the Vadose Zone Media (Impacto zona vadosa); C = Conductivity Hidraulic of the Aquifer (Permeabilidad).

Factor: Profundidad del agua (D): Para este factor se distinguen 3 situaciones, que se

**Cuadro 3. Factor: Profundidad del agua. Valores asignados.**

Descripción	Rango (m)	Valor asignado
<u>Ac. Mercedes semiconfinado:</u> (Fb+As+Mc o Q+Fb+As+Mc). Como fue visto anteriormente las profundidades varían entre 25 y 35m. Se toma una media de 30 m.	22.9-30.5	<b>2</b>
<u>Ac Mercedes cubierto con Asencio:</u> (As+Mc o Q+As+Mc)	15.2 – 22.9	<b>3</b>
<u>Ac Mercedes aflorante:</u> (Mc o Q+Mc)	9.1-15.2	<b>5</b>

Ac: Acuífero Q = Cuaternario. Fb: Fm Fray Bentos. As: Fm Asencio Mc: Fm Mercedes

**Factor: Recarga neta (R)**

En función del Balance Hídrico realizado para el área se estimó la infiltración profunda o recarga del acuífero en 37.38 mm anuales. La recarga se da fundamentalmente en la zona de afloramiento de sedimentos cretácicos y durante los meses de invierno (junio y julio), en el resto del año existe déficit hídrico en el suelo, o sea

que la Precipitación Efectiva (Precipitación real – Escurrimiento) es menor que la Evapotranspiración Potencial. Para este factor se distinguen 2 situaciones que se resumen en el cuadro 4, en el que se detallan los rangos y valores asignados a cada una de ellas:

**Cuadro 4. Factor: Recarga. Valores asignados.**

Descripción	Rango (mm/año)	Valor asignado
<u>Acuífero Mercedes semiconfinado:</u> En esta zona el acuífero se encuentra cubierto por la formación Fray Bentos, por lo que puede considerarse una recarga casi nula. (Fb+As+Mc o Q+Fb+As+Mc)	0-50	<b>1</b>
<u>Zona de afloramiento de sedimentos cretácicos:</u> Consideramos que esta zona es el área de recarga del acuífero. Aquí se toma el valor de recarga neta calculado (37.4mm). (As+Mc o Q+As+Mc o Mc aflorante)	0-50	<b>1</b>

Q = Cuaternario. Fb: Fm Fray Bentos. As: Fm Asencio Mc: Fm Mercedes

**Factor: Roca del Acuífero (A):** La Formación Mercedes está constituida mayormente por arenas medias a gruesas, blancas, con niveles de gravas y cantos, cementadas, en ocasiones con cemento silíceo. Consideramos esta la constitución tipo del acuífero, y la incluimos dentro del rango Areniscas masivas, asignándole un **valor 6** constante para toda el área de estudio, valor típico marcado en el Sistema DRASTIC para estas litologías.

**Factor: Suelos (S):** En la zona se distinguen tres unidades de suelos:

**Unidad Bañado de Farrapos (BF):** se desarrolla sobre sedimentos cuaternarios y está constituida por los suelos más finos del área

**Unidad Young (Y):** se desarrolla sobre la Formación Fray Bentos, y está constituida por suelos mayormente franco arenarillosos

**Unidad Algorta (Al):** se desarrolla sobre las formaciones Mercedes y Asencio, y está conformada por suelos de granulometría más gruesa.

En la figura 4 se observan los porcentajes de arcilla, limo y arena que tienen a grandes rasgos los suelos que constituyen cada unidad (Bf, Y, Al). La distribución geográfica de las distintas unidades de suelos (figura 5) está directamente condicionada por la distribución de las diferentes formaciones geológicas, cuyos materiales son los generadores de los distintos tipos de suelo encontrados.

Se destaca que en la categorización del DRASTIC no existen rangos dentro del factor Tipo de Suelos que se corresponda con los suelos encontrados en el área. Tomamos para la Unidad Algorta el valor correspondiente a Marga arenosa, para la Unidad Young el correspondiente a Margas aluviales y para Bañado de Farrapos el correspondiente a Margas arcillosas. Se distinguen entonces para el factor Tipo de Suelo 3 situaciones, que se resumen en el cuadro 5, donde se detallan los rangos y valores asignados a cada una de ellas.

Figura 4. Textura de los suelos del área

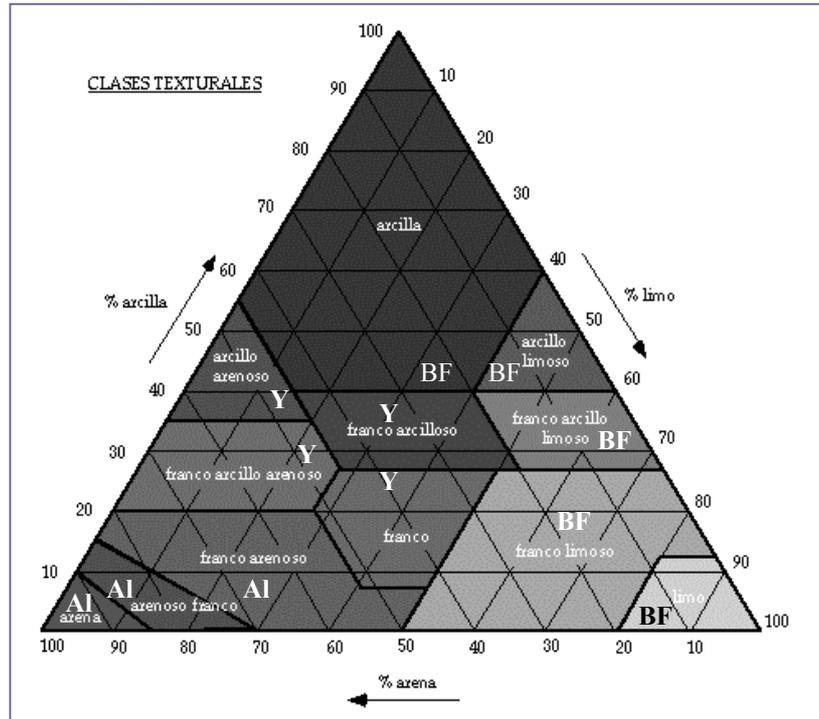
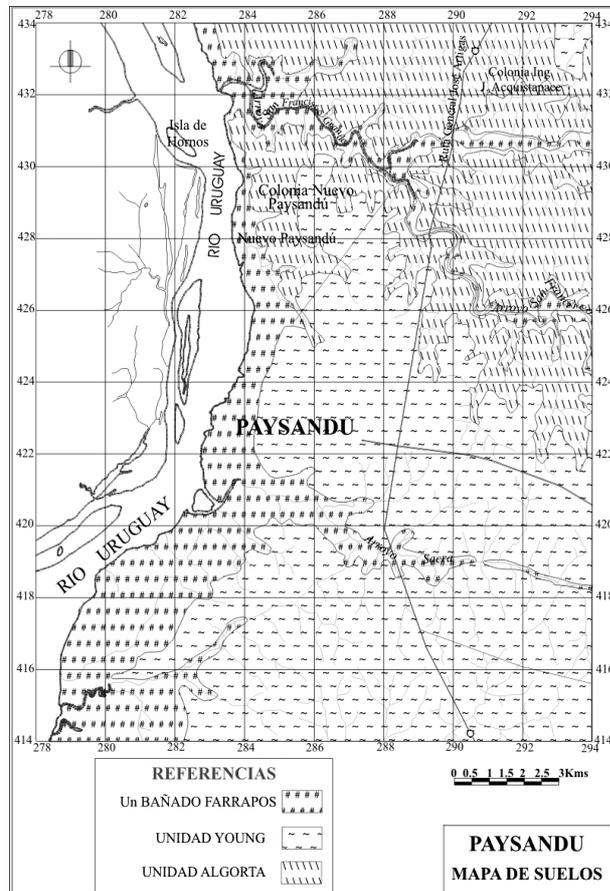


Figura 5. Mapa de Suelos



**Cuadro 5. Factor: Suelos. Valores asignados.**

Descripción	Rango	Valor asignado
<u>Unidad Bañado de Farrapos:</u> Se desarrolla sobre sedimentos cuaternarios. Suelos arcillosos, limosos y francolimosos (Molfino 1995)	Marga arcillosa	3
<u>Unidad Algorta:</u> Se desarrolla sobre sedimentos cretácicos. Suelos mayormente arenosos y arenosos francos. (Molfino 1995)	Marga arenosa	6
<u>Unidad Young:</u> Se desarrolla sobre sedimentos de la Fm. Fray Bentos. Suelos franco arenosos y arcillosos. (Molfino 1995)	Marga aluvial	4

Factor: Topografía (P): Los rangos y valores asignados para este factor se resumen en el cuadro 6:

**Cuadro 6. Factor: Topografía. Valores asignados.**

Descripción	Rango	Valor asignado
<u>Unidad Bañado Farrapos:</u> Pendiente muy suave	0-2%	10
<u>Unidad Young:</u> Pendiente suave a moderada (1-6%)	2-6%	9
<u>Unidad Algorta:</u> Pendiente moderada	2-6%	9

Factor: Impacto de la zona no saturada (I): Se reconocen tres situaciones (cuadro 7), en función de lo cual la zona no saturada quedará compuesta por Limos (Fb), areniscas (As) o Arenas y gravas (Cuaternario en las áreas cercanas a arroyos y ríos y cuando el cuaternario se apoya directamente sobre el acuífero, o Mercedes aflorante). La zona no saturada

quedará compuesta entonces por Limos (Fb), areniscas (As) o Arenas y gravas (Cuaternario en las áreas cercanas a arroyos y ríos y cuando el cuaternario se apoya directamente sobre el acuífero, o Mercedes aflorante). En el siguiente cuadro, onde se detallan los rangos y valores asignados a cada una de ellas:

**Cuadro 7. Factor: Impacto de la zona no saturada. Valores asignados.**

Descripción	Rango (constitución de la ZNS)	Valor asignado
<u>Fb sobre Acuíf Mercedes</u> <u>o (Q + Fb) sobre Acuífero Mc</u>	Limo/arcilla	2
<u>As sobre Acuíf Mercedes</u>	Areniscas	6
<u>Q sobre Acuíf. Mercedes o Mc aflorante</u>	Arenas y gravas	8

Q = Cuaternario      Fb: Fm Fray Bentos      As: Fm Asencio      Mc: Fm Mercedes

Factor: Conductividad Hidráulica (C): En el capítulo de hidrogeología se estableció que la Conductividad hidráulica (k) del acuífero es de 0.12 m/h, lo que equivale a 2,88 m/día. A los efectos de la presente evaluación, consideramos ese valor constante para todo el acuífero. Estaríamos en el rango de 0.004 a 4 m/día; asignamos para este factor un valor de 1.

3 zonas de vulnerabilidades diferentes. La distribución geográfica de estas áreas está directamente relacionada con la distribución de las diferentes formaciones geológicas encontradas en el área.

A los efectos de realizar una comparación relativa de los distintos grados de vulnerabilidad definidos mediante los índices DRASTIC se adoptó el siguiente cuadro comparativo (cuadro 8):

### 5.1. Resultados

Se calculó la vulnerabilidad mediante el sistema DRASTIC tanto con los pesos generales como con los pesos para pesticidas. Se definen

**Cuadro 8. Cuadros comparativos – vulnerabilidad relativa**

VULNERABILIDAD GENERAL		VULNERABILIDAD PESTICIDAS	
Indice	Vulnerabilidad relativa	Indice	Vulnerabilidad relativa
23 a 64	MUY BAJA	26 a 73	MUY BAJA
65 a 105	BAJA	74 a 120	BAJA
106 a 146	MODERADA	121 a 167	MODERADA
147 a 187	ALTA	168 a 214	ALTA
188 a 230	MUY ALTA	215 a 260	MUY ALTA

En el cuadro 9 se resumen los resultados de la Evaluación de la Vulnerabilidad mediante el Sistema DRASTIC. Se destaca que los valores marcados con \* en dicho cuadro corresponden a la presencia de la Unidad Bañado Farrapos.

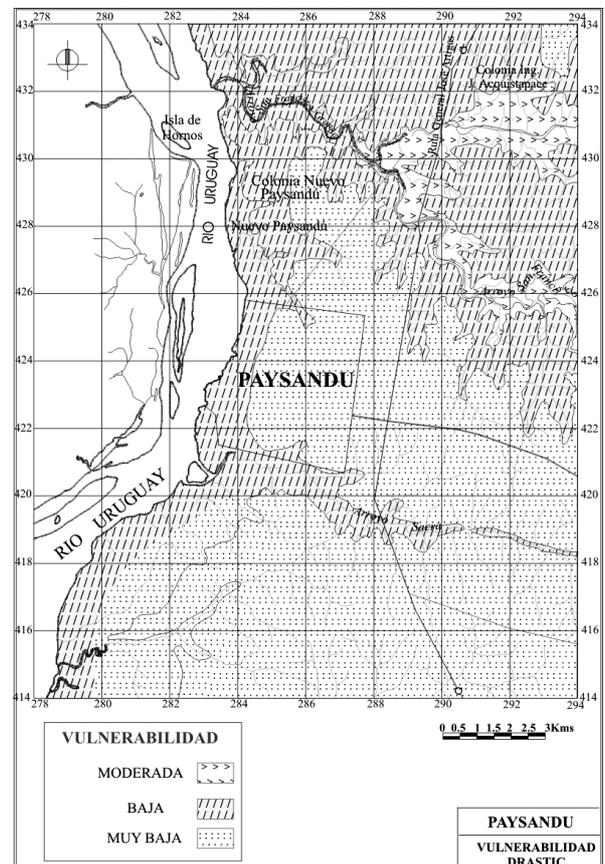
Esta variable no tiene mayor incidencia en el resultado final de la vulnerabilidad, aunque provoca cambios de menor importancia en los índices obtenidos para los factores Tipo de Suelo y Topografía.

**Cuadro 9. Cálculo de la vulnerabilidad**

	Situaciones consideradas																
	Peso general	Peso Pesticidas	Fb -As - Mc (Q-Fb-As-Mc)				As-Mc (Q-As-Mc)				Mc (Q-Mc)						
			Valor	Indice Gral		Indice Pes		Valor	Indice Gral		Indice Pes		Valor	Indice Gral		Indice Pes	
<b>D</b>	5	5	2	10		10		3	15		15		5	25		25	
<b>R</b>	4	4	1	4		4		1	4		4		1	4		4	
<b>A</b>	3	3	6	18		18		6	18		18		6	18		18	
<b>S</b>	2	5	4 o 3*	8	6	20	15	6 o 3*	12	6	30	15	6 o 3*	12	6	30	15
<b>T</b>	1	3	9 o 10*	9	10	27	30	9 o 10*	9	10	27	30	9 o 10*	9	10	27	30
<b>I</b>	5	4	2	10		8		6	30		24		8	40		32	
<b>C</b>	3	2	1	3		2		1	3		2		1	3		2	
<b>INDICES TOTALES</b>				62	61	89	87		91	86	120	108		111	106	138	126
<b>VULNERABILIDAD GENERAL</b>			MUY BAJA				BAJA				MODERADA						
<b>VULNERABILIDAD PESTICIDAS</b>			BAJA				BAJA				MODERADA						

**5.2. Mapa Vulnerabilidad DRASTIC**

En cuanto a la distribución geográfica de la vulnerabilidad (figura 6), se tomó, igual que para el Mapa de Vulnerabilidad con el sistema GOD, una franja lindera al Río Uruguay de aproximadamente 1000 m de ancho en la cual se considera que los sedimentos de la formación Fray Bentos fueron erosionados por la acción fluvial, y solamente se encontrarían sedimentos cuaternarios sobre la Formación Asencio, por lo que la vulnerabilidad obtenida es baja. La misma consideración se toma para las áreas linderas a los arroyos y demás corrientes de agua donde afloran sedimentos cuaternarios, excepto en la zona donde el Cuaternario se apoya directamente sobre la Formación Mercedes, donde, como ya fue especificado, la vulnerabilidad resultante es moderada.



**Figura 6. Mapa de Vulnerabilidad. Método DRASTIC**

## 6. CONCLUSIONES

El subsuelo del área de estudio está constituido por sedimentos pertenecientes a las formaciones geológicas Fray Bentos (Oligoceno Superior-Mioceno Superior), Asencio (Comienzos del Terciario), Mercedes (Cretácico Superior) las cuales ocasionalmente se encuentran cubiertas por Sedimentos Recientes y Actuales - Aluviones (Cuaternario).

Los acuíferos identificados en el área son porosos. Desde el punto de vista hidrogeológico se distinguen dos Unidades, una más superficial y de importancia relativa menor, denominada Unidad Hidrogeológica Fray Bentos, y otra que contiene al acuífero Mercedes, el de mayor importancia del área, denominada Sistema Hidrogeológico Mercedes - Asencio.

El acuífero Mercedes es de tipo semiconfinado, presentando los siguientes parámetros hidráulicos: K: 0.12 m/h, T: 5 y 100 m<sup>2</sup>/día; S: 10<sup>-2</sup>. El gradiente hidráulico *i* es aproximadamente 0.0025 (25 m/km) con algunos valores de 0,007 (7 m/km). El caudal específico (*q*) varía de 0.1 a 3.42 m<sup>3</sup>/h/m. Los caudales de los pozos que captan agua de estos niveles permeables tienen valores de 20 a 25 m<sup>3</sup>/h.

Los suelos de la zona se pueden separar en tres unidades: Unidad Algorta (suelos mayormente arenosos y arenosos francos; Unidad Young (suelos francos y francoarenosarcillosos; Unidad Bañado de Farrapos (suelos limoarcillosos). La distribución geográfica de estas unidades coincide con las de los materiales geológicos que las generan, los cuales son respectivamente Sedimentos Cretácicos (formaciones Asencio y Mercedes), Formación Fray Bentos y Sedimentos Cuaternarios

La recarga neta del acuífero se estimó en 37.38 mm anuales. El volumen de Recarga anual *R* sobre toda la superficie considerada (Cuenca del Río Queguay: 7866 km<sup>2</sup>)  $R = 294,031 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año. Debemos destacar que el valor de recarga neta obtenido debe ser tomado con cierto recaudo, dado que el error acumulado en la estimación es importante, debido fundamentalmente al error implícito en las

medidas realizadas (precipitación, caudal de los ríos, etc).

En función de la evaluación de la vulnerabilidad del Acuífero Mercedes mediante el Sistema GOD (FOSTER & HIRATA, 1991) se distinguen tres zonas, cuya distribución geográfica coincide con la distribución en planta de las tres situaciones geológicas consideradas: la zona más vulnerable es donde aflora la formación Mercedes (MODERADA-ALTA), la situación intermedia se da cuando aflora la Formación Asencio (BAJA-MODERADA) y la zona menos vulnerable se da cuando aflora la Formación Fray Bentos (BAJA).

Mediante el sistema de evaluación DRASTIC (EPA 1985) también se obtuvieron tres zonas de vulnerabilidades distintas: Muy baja, Baja y Moderada, con distribuciones geográficas similares a las obtenidas por el sistema GOD. Se destaca que si se considerara una caracterización de suelos a mayor escala es de esperarse una variación mayor de vulnerabilidades, y una distribución geográfica distinta a la obtenida.

Se destaca la importancia fundamental de la Formación Fray Bentos en cuanto a la protección que da a los acuíferos, debido al desarrollo de suelos con horizontes A y B con gran cantidad de intercambiadores químicos, con probabilidades de retener o intercambiar potenciales contaminantes y a la baja permeabilidad fruto de su constitución limosa; es por esto que los valores más bajos de vulnerabilidad se dan cuando está presente esta formación.

En relación a la comparación de los resultados obtenidos mediante ambas metodologías, se puede afirmar que para una etapa de estudio preliminar y con información a escala regional la aplicación del método GOD resulta más efectiva en cuanto a la menor necesidad de información específica y la mayor rapidez con que se llega a los resultados finales, mientras que para etapas posteriores de trabajo, en el marco de un estudio de mayor detalle y con disponibilidad de información precisa resulta más eficaz la utilización del sistema DRASTIC.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER L. BENNET T. LEHR J. PETTY R. & G. HACKETT. *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. U.S. EPA /600/2-87-036: 1-455. Oklahoma. 1987.
- BOSSI J. *Geología del Uruguay*. Departamento de Publicaciones, Universidad de la República, Montevideo, 469pp, 1966.
- FOSTER S; HIRATA R. *Determinación del riesgo de contaminación del riesgo de agua subterránea*. 2ª Edición. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Perú. OMS. 80p, 1991.

## BIBLIOGRAFIA

- AGORIO C; CARDELLINO G; CORSI W; FRANCO J. *"Estimación de las necesidades de riego en Uruguay. Impacto, magnitud y frecuencia de la lámina neta total"*. MGAP, Dirección general de recursos naturales renovables. División uso y manejo de agua. Uruguay, 1988.
- ALTAMIRANO A; DA SILVA H; DURAN A; ECHEVERRÍA A; PANARIO D; PUENTES R. *Carta de Reconocimiento de suelos del Uruguay (Tomo 1)*. MGAP – Uruguay, 1976.
- DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROGRAFÍA. *Anuario Hidrológico 1992-1993*. DNH, División Recursos Hídricos. Diciembre de 1995, Uruguay, 1995.
- BARREIRO D; WILLIMAN C. *Apuntes de Suelos*. Facultad de Ciencias Agrarias, Uruguay, 2000.
- CUSTODIO E. & LLAMAS M.R. *Hidrología Subterránea*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, España, 1986.
- DURÁN. *Propiedades Hídricas del suelo*. Facultad de agronomía. UDELAR, Uruguay. 4ª Reimpresión, 2000.
- FEITOSA F.A.C. & MANOEL FILHO J. *Hidrogeología: Conceitos e aplicações*. 2ª Edição. Serviço Geológico do Brasil CPRM – Laboratorio de Hidrogeología da UFPE LABHID. Fortaleza, Brasil. 389 p, 1998.
- KAPLAN A.; LABELLA S.; RUCKS L; DURAN A. *Manual para la descripción e interpretación del perfil del suelo*. Departamento de suelos y aguas. Facultad de agronomía. UDELAR - Uruguay. 7ª Reimpresión. Febrero del 2001.
- MOLFINO, H; CALIFRA A, PETRAGLIA C; PERDOMO J; DE LOS HEROS M: *Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay (CAISU) Escala 1:100.000*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP)– Dirección de Recursos Naturales Renovables – División Suelos y Aguas. Sistema de Información Geográfica (SIG). Uruguay. Editado en CD, 1994.
- MONTAÑO J; COLLAZO P., PÉREZ A et al. *"Evaluación de la Contaminación de aguas superficiales y subterráneas por agroquímicos en el departamento de Paysandú. Proyecto N° 4021"*. FCIEN – UDELAR – Uruguay, 2002.
- RODRIGUEZ J. *"Metodología para el estudio hidrológico de proyectos de represas de mediano y pequeño tamaño de cuenca"*. Construir n° 2. Setiembre de 1989. Publicación de la comisión mixta MTOP – UDELAR - Uruguay.
- RUCKS L; GARCÍA F; KAPLAN A.; Ponce De León J. *Propiedades físicas del suelo*. Facultad de agronomía. UDELAR -Uruguay. 2ª Reimpresión. Febrero del 2000.