

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

4.1 INFORMACIÓN BÁSICA UTILIZADA

4.1.1 Recolección de la Información

Para la realización de este trabajo, se solicitó información disponible del área a estudiar, a instituciones públicas y gubernamentales, así como a empresas privadas que se encargan de la perforación de pozos. El Ministerio del Ambiente suministró información oficial de su banco de datos, lo cual corresponde a la carta vea 6646. (Ver apéndice C).

Se hizo una recopilación de información básica de la zona (topografía, suelos, geología del acuífero, planos cartográficos, climatológicos, entre otros, realizándose una revisión bibliográfica, en la cual se pudo constatar que los trabajos de Tahal (1970), Ramos (1998), y el Sistema de Información Ambiental de la Cuenca de Valencia (SIACLAV) (1992, 2003) son los estudios que se han realizado con más detalle en la zona.

4.1.2 Procesamiento de la Información

Al analizar la información, se pudo constatar que la nomenclatura de los pozos es diferente, tanto la utilizada por Ramos, Tahal y la del Ministerio del Ambiente. En el procesamiento de los datos se encontraron ambigüedades, tanto en la designación del nombre de los pozos, como pozos con igual coordenado, diferentes nombres y datos básicos como cota, NE, Q, NB.

Para la revisión de la información se generó con el software Excel una base de datos de la información suministrada, como la información de los pozos utilizada en muchos casos no estaba completa, faltando muchos datos de estos por lo cual se hizo necesario aplicar métodos alternativo, para la deducción de datos faltantes en los pozos.

Con la finalidad de la automatización de los datos de los mapas de suelo y geología, se transformó la información de estos mapas a formato digital a través del proceso de digitalización, el cual se realizó por medio del escaneado del material cartográfico, y posteriormente georeferenciado utilizando una hoja de cálculo de Excel realizada por el. Mora M. (2004) con este fin.

Analizando y comparando la información de estos mapas con la información suministrada, se procedió a producir información actualizada y realizar una base de datos, para visualizar los mapas en imágenes tipo raster.

- **Identificación o nombre de los pozos**

Se mantuvo la identificación de los pozos del Ministerio del Ambiente, por ser la oficial. Esta representada por un código compuesto de diez dígitos, los primeros dos dígitos corresponden al estado en que se encuentran ubicados los pozos, los cuatro siguientes la sección en la que fue dividida, los tres últimos corresponden al número del pozo, por ejemplo, AR6258062A corresponde a un identificador "AR6258" AR estado 6258 corresponde a la extensión donde se ubica 062 el numero del pozo y la letra A, el estado de funcionamiento en que se encuentra el pozo en el momento del inventario. (Activo) para efectos del presente trabajo de cartografiado se tomara solo en numero del pozo. (62). Ver Apéndice C

- **Ubicación de los pozos**

Como la ubicación de los pozos estaba en coordenadas geográficas, estas fueron transformadas en coordenadas cartesianas, norte-este, debido a que los diferentes programas a utilizar en lo sucesivo requieren información en coordenadas UTM, esto se hizo mediante la utilización del programa de transformación de coordenadas del CIDIAT, MCTRANS efectuado por García y V Vilachá. Posteriormente se realizó la delimitación cartográfica del área de estudio, y realización del mapa base. (Anexo II Fig. II.1) Para la delimitación del área de estudio se escogió la zona donde había mayor densidad de pozos obteniéndose las siguientes coordenadas:

Coordenadas	Mínimo	Máximo
X	649500	661100
Y	1129500	1138500

- **Cotas del terreno**

Debido a que la mayoría de la zona de estudio se encuentra en una zona urbana el mapa suministrado por cartografía nacional a escala 1.25000, no posee información de las curvas de nivel en muchas áreas, por lo que fue necesario hallar por medio de interpolación, las cotas del terreno, para ello se realizo una base de datos de los pozos. Esta base de datos consta de la información de 164 pozos: coordenadas norte y este, nombre del pozo y la cota medida, procediendo a realizar un análisis geoestadístico, con en el programa SURFER 8 de Golden Software Inc .Ver Anexo I, Tabla I.1.

Para ello el primer paso fue la realización del kriging ordinario, el cual consistió en elaborar el variograma a partir de la nube inicial de puntos, es decir, un análisis geoestadístico para el cual se realizó un análisis estructural creando para ello un variograma experimental con los valores de las cotas medidas. Dicho ajuste se realiza en el menú *model* de la ventana de

propiedades del variograma, en este menú podemos ajustar la propiedades del mismo añadiendo el tipo de modelo, optimizando los parámetros de la meseta, alcance y la anisotropía y así escoger el de mayor similitud con el variograma muestral. Es de hacer notar que la búsqueda de este modelo experimental es de ensayo y error llevándonos a escoger de una forma subjetiva el modelo que creamos que mejor se ajuste al modelo teórico.

En la fig 4.1 puede observarse el modelo teórico esférico considerado el modelo que mas se ajusto a la variable cotas medidas.

La finalidad de este paso es obtener la estimacion más precisa del valor en un punto cuando los datos siguen una distribución probabilidad normal, y simultáneamente determinar la varianza de la estimación y con ello detectar errores sistemáticos.

Variable cotas
 Modelo Esférico
 Efecto Pepita 2
 Meseta 179
 Alcance 6500

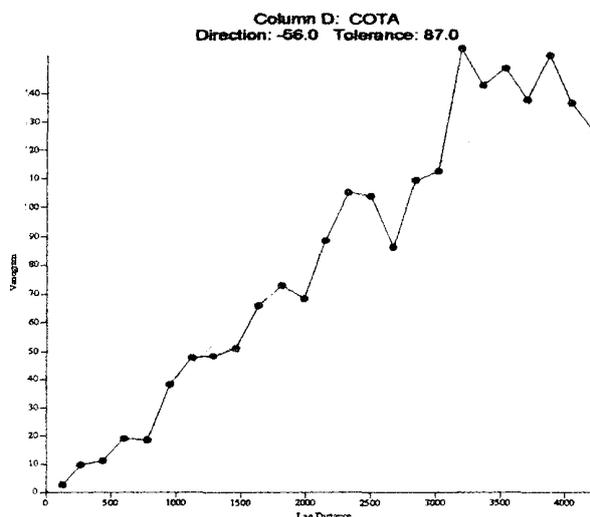


Figura 4.1 Variograma experimental y teórico de las cotas

La estimación por krigeado se realiza a través de archivo de datos tipo excel (xls) o ASCII (dat), y el variograma ajustado, posteriormente se introduce en el menú Grid Data en Opciones para finalmente realizarse la estimación de las cotas.

Se procedió entonces a estimar las cotas faltantes de los pozos, para ello se realizó un archivo.grd con lo cual se pudieron estimar los datos faltantes, y realizar el mapa definitivo con todos los pozos para obtener así un modelo del terreno definitivo y generar cotas con mayor confiabilidad. Con los puntos obtenidos se elaboro, el mapa de curvas de nivel. Ver figura. 4.2.

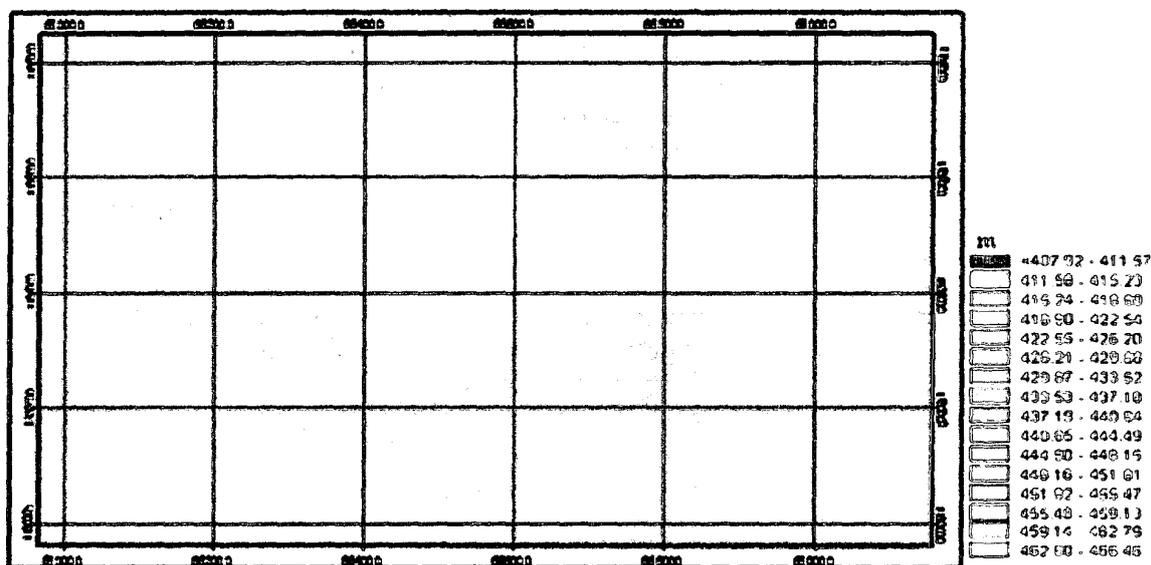


Fig. 4.2. Cotas del terreno (m)

- *Niveles piezométricos*

Los datos de los niveles estáticos (NE), en algunos pozos que poseían información anómala la cual no correspondía a los valores medios medidos en la zona se despreciaron y en los pozos que no poseía esta información, tuvieron que deducirse aplicando la misma tecnología de las estimaciones de las cotas del terreno. El nivel piezométrico se calculo de la siguiente manera:

$$NP = \Delta_p - NE \quad (4.1)$$

Donde:

NP: nivel piezométrico.

Δ_p : cota del pozo.

NE: nivel estático.

Se utilizo la ecuación (4.1) con el trazado de curvas piezométricas, se interpoló linealmente dicha superficie, utilizándose el método del krigado esta decisión conduce a una suavización de las superficies equipotenciales, eliminando zonas particulares donde la variación de los niveles piezométricos es muy marcada, lo cual es razonable al no tener referencia sobre las condiciones en que se realizó la deducción de niveles figura 4.3.

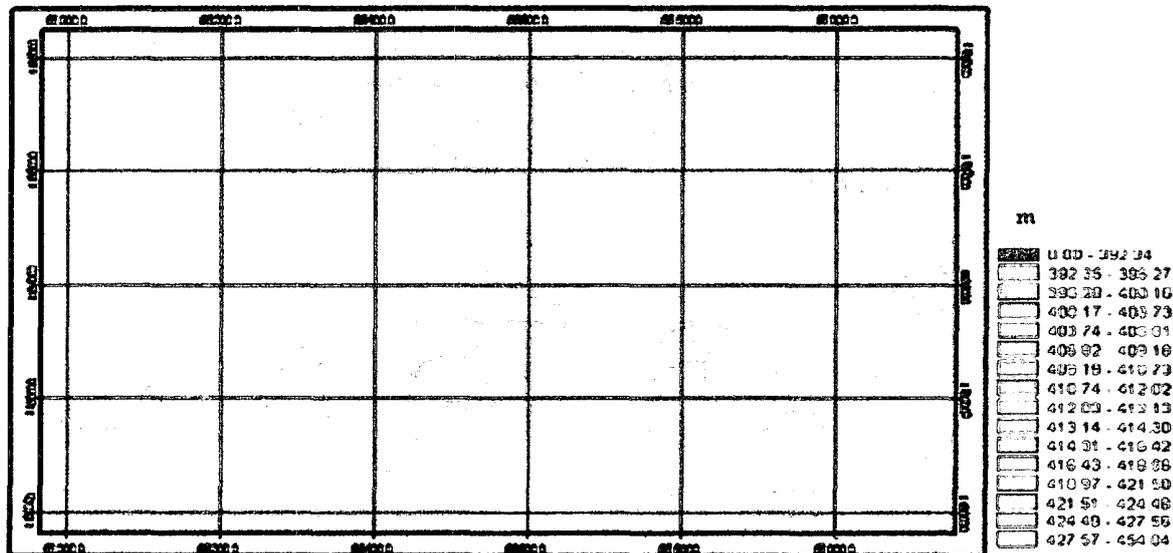


Figura 4.3 Niveles piezométricos. (m)

- **Capacidad específica**

Se obtuvo a través del cociente del caudal extraído durante el ensayo de bombeo y el abatimiento, para ello se utilizó la información suministrada por el MARNR.

$$C_E = \frac{Q}{s} \tag{4.3}$$

Donde:

C_E = Capacidad específica.

Q : caudal extraído.

s : abatimiento del pozo en metros .

- **Transmisividad**

La transmisividad, T de un acuífero, es la razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical de acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo, cuando el gradiente hidráulico es igual a 1(uno), o sea 100 %.

La transmisividad indica cuanta agua se mueve a través de la formación y el Coeficiente de Almacenamiento indica que cantidad puede ser obtenida por bombeo o drenaje. Si en un acuífero particular se pueden determinar, ambos coeficientes, se podrán efectuar predicciones de gran significación como la capacidad específica de pozos de diferentes tamaños, abatimiento en el acuífero a diversas distancias del pozo de bombeo y abatimiento en un pozo en cualquier tiempo después de haber comenzado el bombeo.

Tabla 4.1 Pruebas de bombeo.

<i>POZO</i>	N_E Inicial (m)	N_E Final (m)	s (m)	Fecha de Inicio	Hora Inicio	Fecha Final	Hora Final	Tiempo
564	52	60	8	22-abr- 98	8 a.m.	22-abr- 98	4 p.m.	8 h.
565	52	104.5	2.5	8-may 98	8 a.m.	8-may 98	p.m.	8 h.
566	11	17.1	6.1	13-may 98	8 a.m.	13-may 98	4 p.m.	5 h.
551	56	65.59	9.59	10-may 98	9 a.m.	10-may 98	6 p.m.	9 h.

Se tomaron los datos realizados en ensayos de bombeos a caudal constantes en los pozos, 564, 565, 566 en el estudio Inventario de Pozos en el Acuífero de Maracay, Ramos (1998) En la Tabla 4.1, se pueden observar las mediciones registradas durante el ensayo de bombeo.

Determinación de la Transmisividad. Con la información de las pruebas de bombeo calcularon los coeficientes de transmisividad del acuífero. La determinación de este parámetro, se hizo usando el programa GWW (Ground Water Software for Windows), mediante su uso se puede conocer directamente las características del acuífero, ya que el mismo aplica a los datos diferentes metodologías con el fin de conseguir la curva que mejor se ajuste. Ver Figura 4.4 . y Anexo II, figuras II.2 a II.4.

En este caso en particular, los datos de la prueba de bombeo se ajustan con la curva por lo que se puede inferir que el acuífero presenta las siguientes condiciones: es confinado. El diámetro del pozo de bombeo se tomo igual a 0.40 m

El resultado de la transmisividad en los pozos, 564, 565. 566 fue 40, 30, 131 (m³/día/m), respectivamente, usando la ecuación 4.3. Se halló C_E como se muestra en la Tabla 4.2.

Well Ident. AR64	Description		
Distance 0.20	Aver.Pumping Rate 6.000001	Duration 480.0000	Initial Sat. Thickness
RESULTS			
Transmissivity 39.04805	Storage Coeff.	Leakance 0.4359717	Estimation Error 0.10
Aquifer Maracay	Fit Method	Hantush Method	

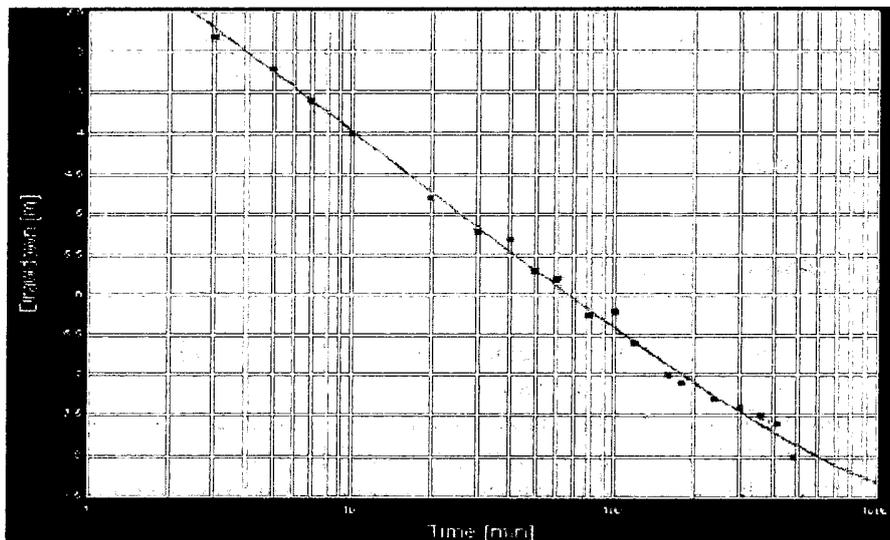


Figura 4.4 Resultado de la prueba de bombeo pozo AR658564 según el método de Hantusth

Tabla 4.2 Valores de pruebas de bombeo transmisivilidad y capacidad especifica

POZO	Caudal (l/s)	Transmisividad (m ² /día/)	Abatimiento (m)	Capacidad Especifica (l/s m)
564	6	40	8	0.75
565	46	30	52.5	0.88
566	36	131	6.1	5.90
551	13	71.24	9.59	1.36

Se realizó un análisis de regresión graficando la T vs. C_E para hallar la ecuación que mejor se ajuste, cuyo resultado se pueden observar en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Análisis de regresión realizadas

Regresión	Ecuación	R ²
Logarítmico	$T = 47.33 \ln(C_E) + 48.673$	0.9573
Exponencial	$T = 34.662e^{0.2322 C_E}$	0.766
Polinomial	$T = -5.3926 (C_E)^2 + 54.05 C_E$	0.9602
Lineal	$T = 17.544 C_E + 29.347$	0.9608
Potencial	$T = 44.47 C_E^{0.6423}$	0.8528

Donde:

Y = Transmisividad.

X = Capacidad Específica.

R² = Coeficiente de correlación.

El modelo que presenta mejor correlación con una confiabilidad del 96,08 %, como se puede observar en la tabla 4.3 es la regresión lineal, como lo demuestra la ecuación de Thiem (ec. 4.4), por se toma la ecuación lineal representada por la curva de la figura 4.5 determinada a partir de la transmisividad de 37 pozos que poseían datos de niveles de bombeo, en la información pertenecientes a la hoja cartográfica 6646 suministrada por la división de hidrogeología del MARNR.

La ecuación deducida para el cálculo de la transmisividad se muestra a continuación.

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln(R) \quad (4.4)$$

Este rango de las variaciones de transmisividad nos refleja el cambio en el espesor del acuífero y variaciones en la conductividad hidráulica. Usando las ecuaciones (4.3) y (4.4), se calculo la transmisividad a los restantes pozos que no poseían datos de niveles de bombeo (Anexo I, Tabla I.2.).

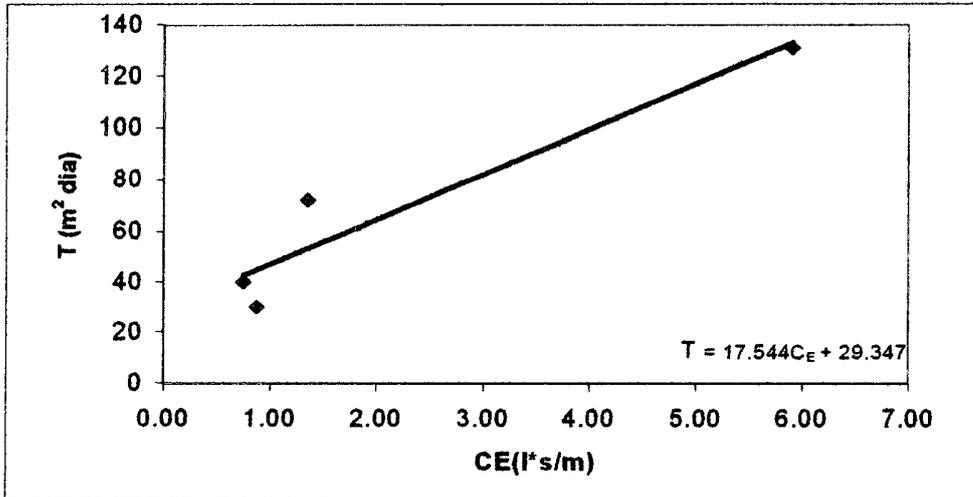


Figura 4.5 Regresión lineal

Se procedió a realizar el análisis estructural para definir el modelo geoestadístico de la transmisividad, es decir, el comportamiento estadístico de la variable espacialmente, tal como se realizó con los parámetros anteriormente discutidos. El modelo que mejor se ajustó fue el esférico observándose los valores del variograma de la figura 4.6.

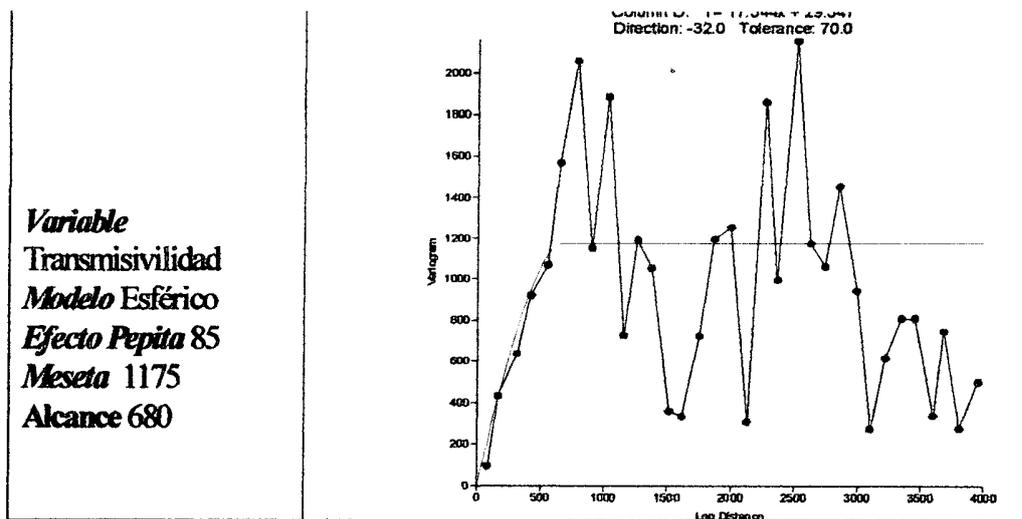


Figura 4.6 Variograma de la transmisividad

Con este variograma (ver fig. 4.6) se puede observar una variabilidad errática de los datos, que lo indica el marcado efecto pepita de 550, que puede ser debido a varios factores, entre las

cuales se podría citar la poca cantidad de pruebas de bombeo, se contaba solo con tres pruebas lo cual hace que se realice un modelado en base de datos imprecisos.

Una vez ajustado el variograma teórico se procede a realizar la estimación espacial de la variable por kriging, con esta la estimación de la transmisividad, se procede a deducir los valores para los pozos que no tenían pruebas de bombeo.

En la figura 4.7 se observa el mapa de transmisividad, donde se pueden observar una transmisividad en un rango predominantemente mayor de 67 m/día que es el promedio de la transmisividad media calculada.

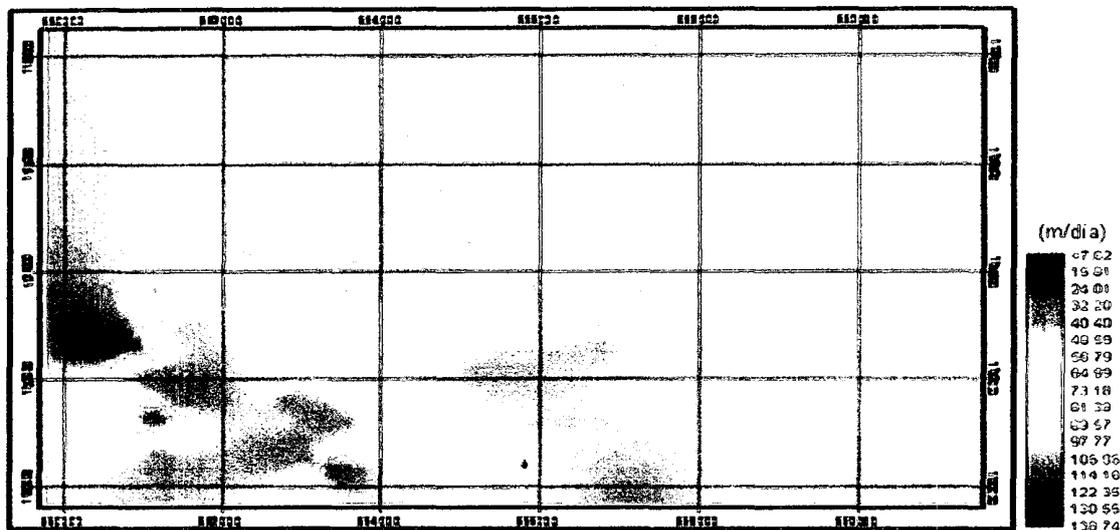


Figura 4.7 Transmisividad (m/día)

- **Litología**

Se trata de un medio heterogéneo donde no se pudo establecer una correlación entre dos pozos perforados, no se puede establecer la continuidad de los estratos impermeables que definen la barrera que puede confinar al acuífero por el tope, con los calculo de la transmisividad (T), y coeficiente de almacenamiento, calculado en la prueba de bombeo nos indica que el acuífero es confinado.

En el área, la información litológica es muy escasa, por lo que se utilizo la información complementaria, del banco de datos suministrados por el MARNR, la cual corresponde a descripción sobre el perfil litológico de los pozos. Tan solo 25 pozos poseían esta información adicional. Se utilizo adicionalmente la información de 7 perfiles de pozos que fueron suministrados por empresas perforadoras al inventario de Ramos (1998), que no estaban

registrados por el MARNR con esta información se realizó el mapa base de los pozos que poseen información de perfiles litológicos (ver Anexo II Figura II.5).

Debido a que el acuífero se compone de capas alternantes de arenas de diferente tamaño de grano y arcillas, teniendo las mismas una distribución irregular, y que los pozos perforados solo penetran una parte del espesor total, no se pudo medir el espesor total las capas acuíferas dentro de la sección total del relleno aluvial. El promedio de profundidad de los pozos fue de 72 metros, dividido en varios estratos permeables e impermeables con espesores variables que definen el acuífero confinado.

Se tomaron los perfiles de pozos, los cuales consistían en alteraciones de arenas de diferentes características granulométricas y lutitas, ver figura 4.8.

COTA (m)	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION
425	0		
	2		ARENA FINA
			ARCILLA
415	20		ARENA FINA
405	40		ARENA MEDIA
	55		
395	60		ARENA FINA
	74		
385	80		ARCILLA
	87		
375	100		ARENA GRUESA
			ARCILLA
	115		ARENA GRUESA
365	120		ARCILLA
	120		ARENA GRUESA
	135		ARCILLA
355	140		
	156		ARENA GRUESA
345	160		ARENA GRUESA
	172		
335	180		ARENA GRUESA
	182		
325	200		ARENA GRUESA
315	220		

Figura 4.8 Perfil litológico Pozo AR258187

Es de hacer notar que la descripción litológica realizada por el MARNR es bastante engorrosa, debido a que no utilizan un criterio determinado para la descripción de esta, por lo que se procedió a redefinir ciertos términos utilizado para la descripción litológica y así unificarlos según indica la tabla 4.4.

Además no se contó con ningún tipo de curva en los registros de perforación, análisis granulométricos de los pozos, se tomo como juicio dividir los estratos en cinco categorías,

arcillas (donde se tomaron como arcillas no solo estas como tal, sino también cualquier material que sea impermeable), arenas arcillosas, arenas finas, arenas medias y arenas gruesas.

Tabla 4.4 Criterios de unificación de la litología en cuatro categorías litológicas.

litología asumida	litología suministrada
Arcilla	Limo, arcilla, lutita, esquistos
Arena arcillosa	Arena arcillosa, arena con limo, limo con arena
Arena Fina	Arcilla con arena fina Arena media con arcilla Arena fina con arena gruesa
Arena Media	Arena gruesa con arena fina Arcilla y grava
Arena Gruesa	Grava fina con arena gruesa y fina Grava con arena gruesa

Se procedió a realizar seis secciones estratigráficas (Figura 4.9, y Anexo II figuras II.5 a II.10), para ello se tomaron los pozos que fueran más representativos, y se descartaron los que no poseían correlación alguna, con ningún pozo cercano o vecino, tomando básicamente como criterio de correlación la profundidad de perforación, y la correlación de arenas. En estas secciones se puede observar la secuencia de depositación.

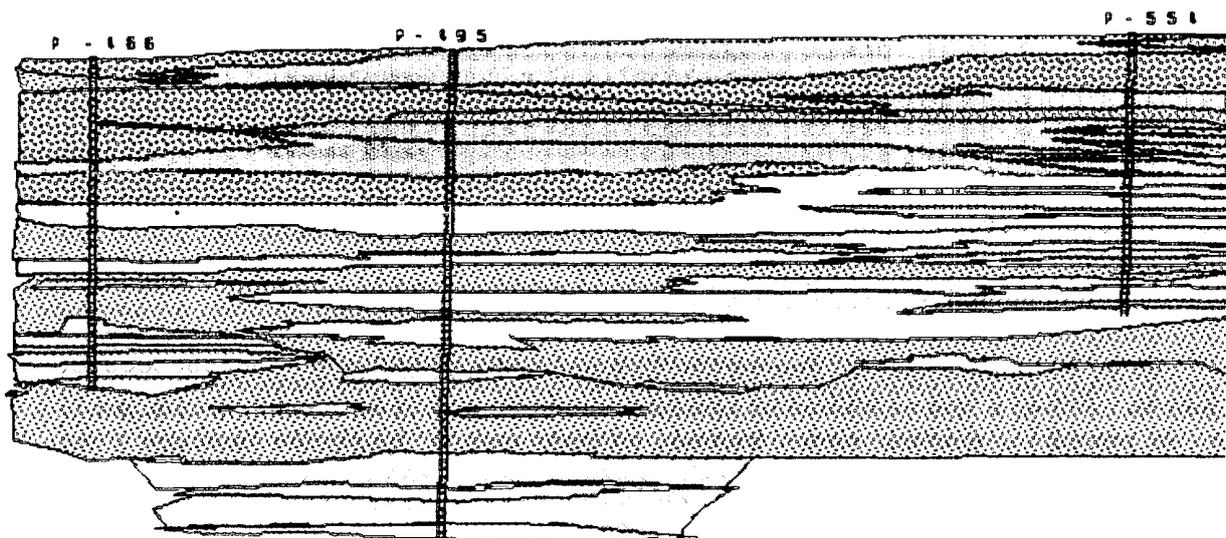


Figura 4.9 Sección estratigráfica en dirección SE pozos 490., 494 y 554.

Una vez realizadas las secciones, se procedió a la estimación del área permeable y establecer así según la ecuación 4.5 la Arena Neta Total (ANT), el espesor del acuífero es decir, la sumatoria de todos los estratos con arenas, que se encontraban por debajo del nivel estático.

$$ANT = \text{Arena fina} + \text{Arena Media} + \text{Arena Gruesa} \quad (4.5)$$

Donde:

ANT= Arena Neta Total

Con estos valores de ANT se procedió a realizar el análisis estructural para definir el modelo geoestadístico de estas y se procedió a realizar la estimación espacial de la variable por kriging, con esta se pudo mejorar la apreciación de los valores de arena neta total, o mapa de espesor del acuífero obteniendo así los valores de ANT para los pozos que no tenían perfil es litológico, ver Figura 4.10.

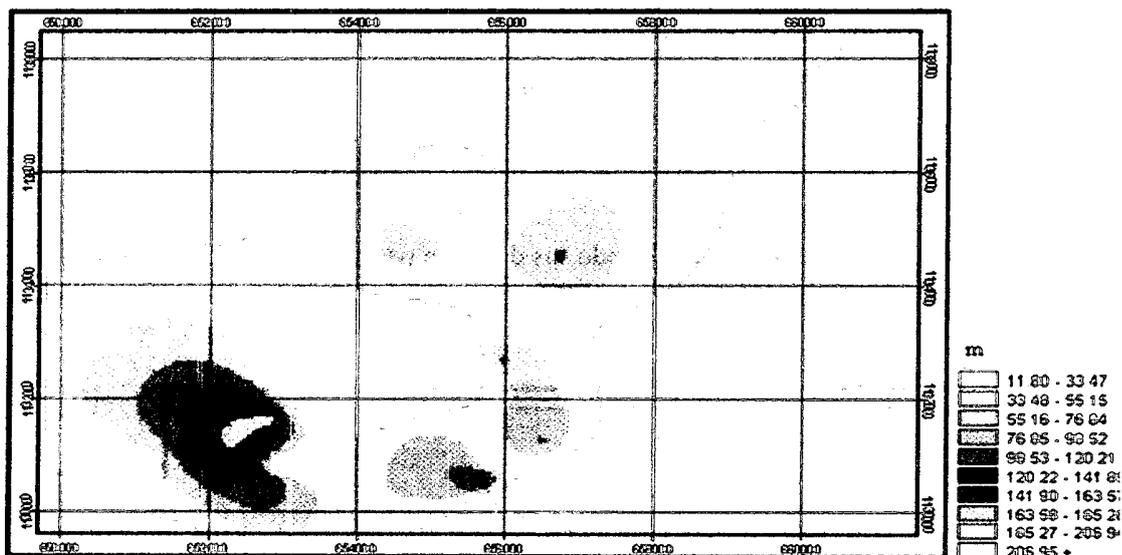


Figura 4.10 Espesor del acuífero (ANT) (m)

- **Conductividad hidráulica**

El coeficiente de permeabilidad, también denominada conductividad hidráulica esta definida según Pulido, (1978), como el caudal de agua que se filtra a través de una sección de terreno de unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario, según la ecuación de Darcy que gobierna la el movimiento de las aguas subterráneas (ecuación. 4.8)

$$Q = K \cdot A \cdot i \quad (4.8)$$

Donde:

Q es el caudal que fluye del acuífero

A es la sección transversal perpendicular al flujo

i la pendiente de la línea piezométrica

Determinación de la conductividad hidráulica La conductividad hidráulica forma parte de las constantes básicas del suelo a ser determinada de acuerdo a los fines de la presente investigación. Dicho parámetro es una manera de tener una idea cuantitativa sobre la mayor o menor facilidad con que se puede mover el agua en un suelo dado, en condiciones de saturación. Una vez determinada la transmisividad de los pozos se procede a determinar la conductividad hidráulica mediante la ecuación 4.9 que define el término de la transmisividad en función del producto la conductividad por el espesor del acuífero figura 4.11.

$$T = K \cdot b \quad (4.9)$$

Donde:

b espesor saturado del acuífero

T transmisividad

K conductividad hidráulica

El espesor saturado fue establecido utilizando los datos de perforaciones y de la geología de superficie y calculado por la diferencia existente entre la profundidad del pozo y el nivel estático, ver Anexo I. Tabla I.3.

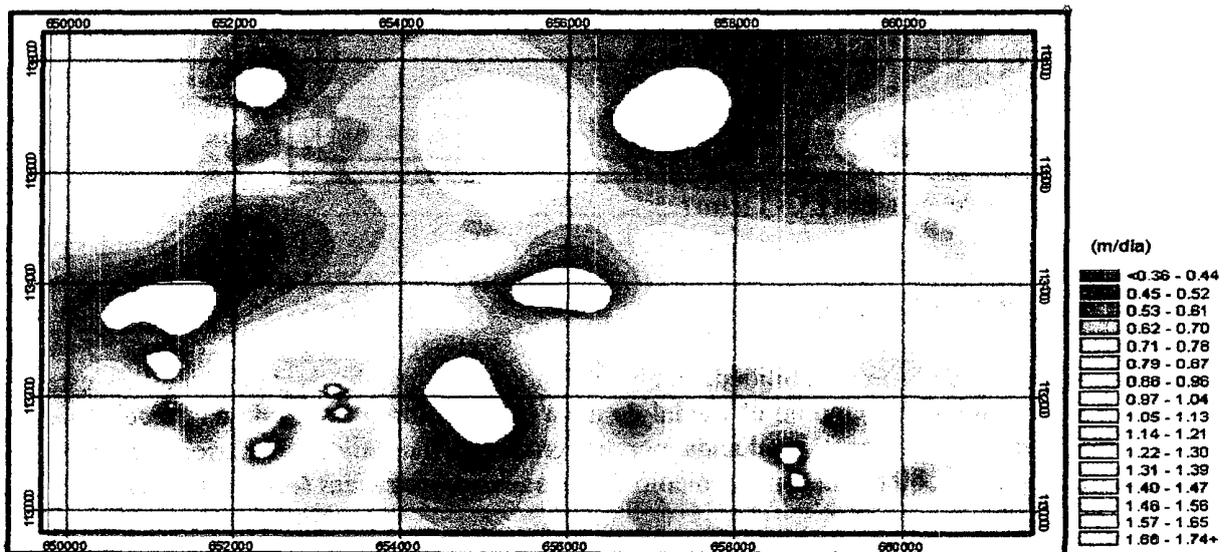


Figura 4.11 Conductividad hidráulica (m/día)

- **Balance hidrológico**

El balance hidrológico intenta definir cuantitativamente los parámetros considerados en el Ciclo Hidrológico. Los componentes que se incluyen pueden ser tan diversos y numerosos como posibilidades de almacenamiento y de movimiento puedan concebirse en una cuenca.

En forma general y simple, el balance hidrológico de una cuenca o una región, establece que los volúmenes que entran son iguales a los volúmenes que salen, más los cambios de almacenamiento.

La fórmula básica es:

$$P = ETR + I + S \pm \Delta S \quad (4.10)$$

Donde:

P = Volumen agua precipitada

ETR = Volumen evaporado + volumen transpirado por los seres vivos.

I = Volumen agua infiltrado, (recarga natural del acuífero).

S = Volumen de agua que escurre superficialmente, (escurrimiento superficial) se concentra en los canales y sale de la cuenca.

ΔS = Cambio de volumen de agua almacenado en la cuenca o región, que ser positivos o negativos, incluye los volúmenes extraídos mediante obras de captación.

Generalmente las cuencas hidrográficas en su estado natural, tienden a estar en equilibrio y en ese caso, es posible simplificar la fórmula básica, dado que el volumen de agua infiltrado es devuelto a la superficie, a través del flujo básico de los ríos y la recarga rechazada.

$$P = ETR + S + I \quad (4.11)$$

Es evidente que los volúmenes extraídos del almacenamiento profundo (acuífero), afectan al balance total de la cuenca. Los volúmenes que se infiltran y alcanzan los acuíferos constituyen la recarga natural de estos y bajo un criterio utilitario pasan a constituir las reservas de agua subterránea.

Se contó con información climatológica de ocho estaciones meteorológicas existentes dentro del área de estudio Tabla 4.5, suministrada por el MARN, donde solo dos estaciones poseían datos de temperatura, para el periodo 1968-1983, el cual se tomó este periodo por presentar mayor y mejor información, procedí endose a corregir los que fuesen inconsistentes.

Tabla 4.5 Estaciones Metereológicas

Serial	Estación	Edo	Altitud	Coordenadas UTM	
				msnm	Este
424	La Morita	AR	445	660435	1131434
425	Maracay -Oficina	AR	490	654422	1135432
437	Maracay Trinidad	AR	510	651647	1136772
447	Maracay Ceniap	AR	455	651494	1137078
466	Base Sucre	AR	468	647858	1133376
467	Maracay Providencia	AR	460	655161	1133408
460	Pereña	AR	468	662051	1130489
468	Gonzalito	AR	460	656106	1126100

Cálculo de la Precipitación. La precipitación es el parámetro de mayor importancia para realizar el balance hídrico, fue necesario que los datos existentes fuesen sometidos a revisión para saber cuáles datos faltaban o eran inconsistentes para ello se usó el método del ploteo de la curva de doble masa, método usado en muchos tipos de datos hidrológicos para determinar la consistencia de los mismos, mediante la comparación de los datos de la estación bajo estudio con aquellos de una estación o grupo de estación que se toma como patrón.

Las pendientes de las dos curvas se obtienen al graficar los datos anuales de precipitación acumulada de la estación en estudio, contra el grupo de siete estaciones adyacentes, este análisis de la pendiente establecida en el año 1983, es decir ultimo periodo de observaciones, es un control para el ajuste de datos, y se realiza mediante la formula :

$$P_x = \left(\frac{M_x}{M_A}\right) * P_A \quad (4.12)$$

Donde:

P_x = Valor de precipitación a ser ajustado

M_x = Valor de precipitación en la estación

M_A = Pendiente de la curva doblemente masica en la estación X

P_A = Pendiente de la curva doblemente masica en la estación A

En la curva de la estación Base Sucre figura 4.11, se observa que los datos se alinean en una recta con una pendiente M_X de 0.984 hasta el año 1968-1974, donde a partir de 1975, hay un cambio de pendiente M_A 1,043, indicando que hay una pequeña inconsistencia de los datos, por lo cual hay que ajustarlo con los datos recogidos después del quiebre con los de del periodo mas reciente ajustándole periodo mas antiguo a razón las pendiente, en la Tabla se observan los ajustes realizados.

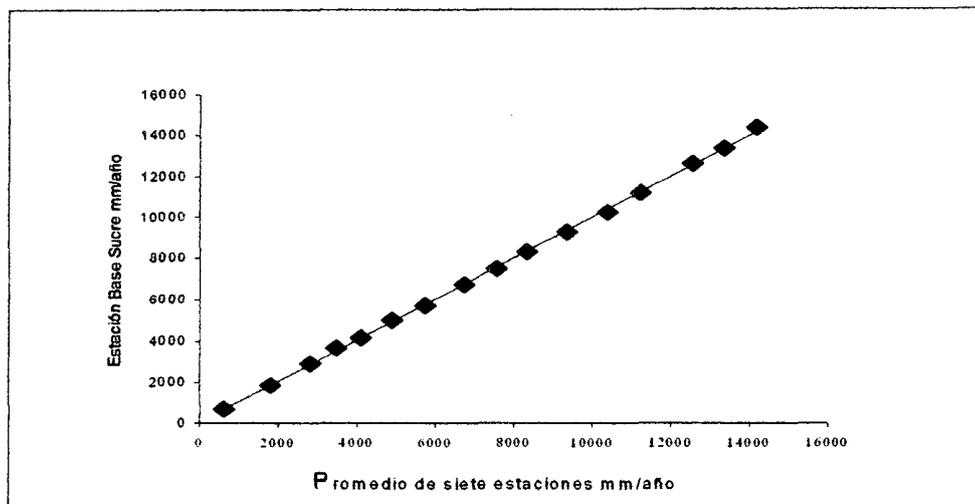


Figura 4.12 Ajuste de la precipitación estación Base Sucre mediante la Curva Doblemente Masica.

Con los datos ajustados en las siete estaciones restantes se procedió a calcular la precipitación media anual de cada estación para el periodo 1968-1983 variando esta desde 811.42 mm a 954.81 me. Las precipitaciones más altas se registran al norte de la zona de estudio.

Se elaboro un mapa de isoyetas por el método de interpolación por krigeado, representando las isoyetas con intervalos de 10 m. Ver Anexo I. fig I.8.

La precipitación media anual se calculo utilizando el método de los polígonos de Thiessen, con la utilización de los software SURFER 8 y Arc View 32 En la Tabla 4.6 se pueden observar los resultados del cálculo de la precipitación media en el área de estudio, a partir de las estaciones ubicadas dentro de esta área, dando como resultado una precipitación media anual de 866.70 mm/año.

Se creo un archivo de datos, que fue exportado al SIG Idrisis Kilimanjaro, procediéndose realizar el mapa en formato raster de precipitación ver figura 4.13.

Tabla 4.6 Ajuste de precipitación anual de la estación Base Sucre mediante la curva doblemente masica.

	Estación Base Sucre Precipitación. (mm)			Promedio de varias estaciones	
	Precipitación	Acumulado	Ajustado	Precipitación	Acumulado
1968	713.00	713.00	755.16	729.58	729.58
1969	1175.00	1888.00	1244.48	1154.83	1884.41
1970	1063.00	2951.00	1125.86	1018.56	2902.96
1971	721.20	3672.20	763.85	672.49	3575.45
1972	498.30	4170.50	527.77	625.57	4201.02
1973	854.80	5025.30	905.35	794.01	4995.04
1974	709.70	5735.00	751.67	836.19	5831.22
1975	1001.60	6736.60	1001.60	961.69	6792.91
1976	749.40	7486.00	749.40	841.40	7634.31
1977	817.30	8303.30	817.30	734.23	8368.54
1978	951.00	9254.30	951.00	1021.44	9389.98
1979	974.00	10228.30	974.00	1024.86	10414.84
1980	935.10	11163.40	935.10	826.97	11241.81
1981	1425.80	12589.20	1425.80	1254.34	12496.15
1982	757.00	13346.20	757.00	786.27	13282.42
1983	1015.00	14361.20	1015.00	823.56	14105.98

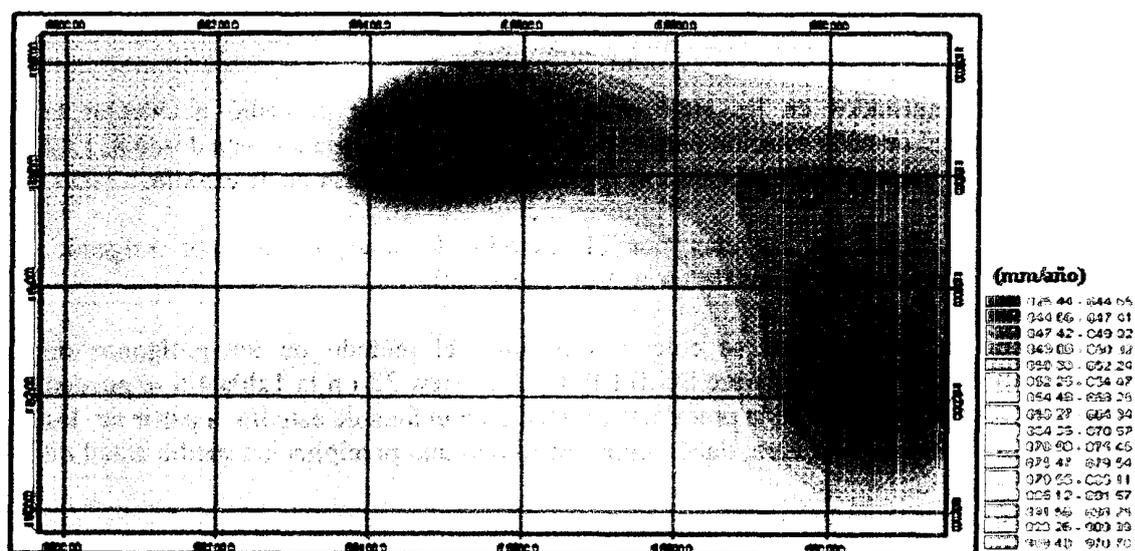


Figura 4.13 Precipitación del área de estudio (mm/año)

Cálculo evapotranspiración Una vez calculada la precipitación media anual, se procedió al cálculo de la evapotranspiración mediante el uso de la fórmula empírica de TURC, la cual está basada en la precipitación y temperatura, (ecu. 4.12). Solo las estaciones Maracay, Ceniap y Base Sucre poseían información de temperatura media mensual medidas para el periodo 1968-1983, por lo que se procedió al cálculo de la temperatura promedio anual entre ambas 32 °C, para aplicar dicha ecuación.

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (4.13)$$

Donde:

ET= evapotranspiración

P= Precipitación media anual.

L está determinada por una función de T, (ecu. 4.14) que a su vez es función de la precipitación (P) y la temperatura (t), (ecu. 4.15).

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (4.14)$$

Siendo T

$$T = \frac{\sum_i^{12} t_i * P_i}{\sum_i^{12} P_i} \quad (4.15)$$

Aplicada la ecuación de TURC, (ecu. 4.13). Se obtuvo una evapotranspiración media anual de 316,17 mm/año por medio del método de los polígonos de Thiessen.

Cálculo escurrimiento El escurrimiento superficial para cada estación se calculó mediante la ecuación 4.16.

$$ESC = C_e * P \quad (4.16)$$

Donde:

ESC = Escurrimiento superficial

C_e = Coeficiente de escurrimiento

P= Precipitación

Tabla 4.7 Valores calculado en la estimación del balance hídrico.

Estación	P Prome	ET	Ce	Esc=Ce*P	I	Recarga
	mm/Año	mm/Año	mm/Año	mm/Año	mm/Año	mm/Año
La Morita	828.54	321.43	0.05	41.43	465.68	447.41
Maracay Oficina	838.93	323.60	0.25	209.73	305.59	453.02
Maracay Trinidad	927.84	340.65	0.05	46.39	540.79	501.03
Maracay Ceniap	954.81	345.29	0.05	47.74	561.77	515.59
Base Sucre.	918.77	339.04	0.05	45.94	533.79	496.13
Maracay Providencia	854.71	326.83	0.05	42.74	485.14	461.54
Promedio Anual	887.27	332.81	0.08	72.33	482.13	479.12
Valores Porcentuales		<i>37.51</i>		<i>8.15</i>	<i>54.34</i>	

Pérez Machado (1979), citado por Muñoz A.(1981), señala que para el área del la cuenca del Lago de Valencia situada al este hasta la zona montañosa la vegetación existente es de bosque tropical , con una pendiente menor de 1% y el tipo de suelo predominate es permeable, por lo que el coeficiente de escurrimiento es de 0.05 en todas las estaciones a excepción de la estación 425 donde es 0.25.

Tomando estas característica se procedió a calcular el escurrimiento superficial para cada estación variando desde 15 a 80 mm, el escurrimiento medio anual se calculo por medio del método de los poligonos de Thiessen dando como resultado 30.67 mm. Tabla 4.7.

Cálculo de la infiltración. Los valores de infiltración media anual, se calcularon por medio de la ecuación 4.11 de balance hídrico, según éste se establece que corresponden a un 37.51%, 8.15%, 54.34%, a la evapotranspiración, escurrimiento e infiltración respectivamente, siendo entonces la recarga el producto de la precipitación por 0.54 que corresponde a la infiltración ver figura 4.14.

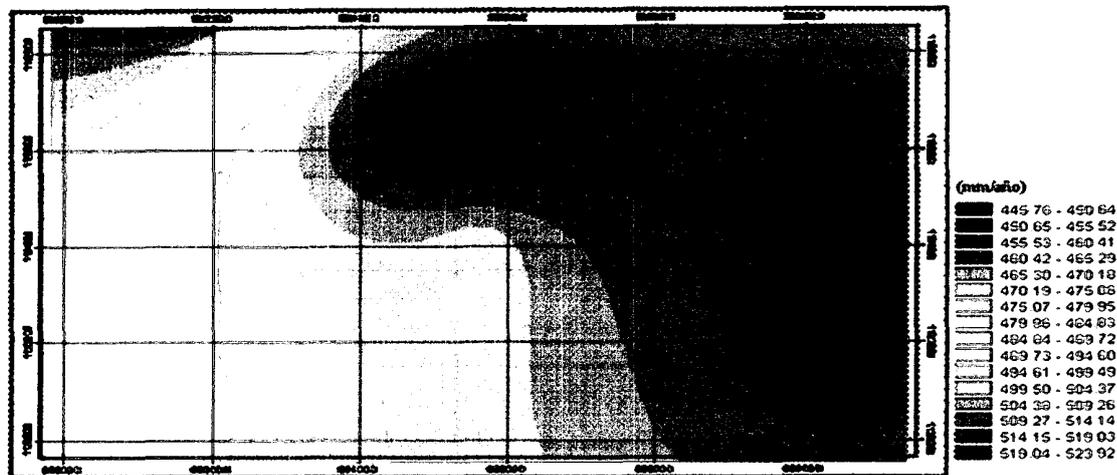


Figura 4.14 Recarga del área de estudio (mm/año)

- *Modelo digital del terreno*

El modelo digital del terreno es una representación en formato digital de la geografía del territorio, se digitalizaron las cartas cartográficas 6646 I-NO, 6646 I SE 6646 II NE, 6636 SO suministradas por el Instituto Geografico Simón Bolívar.

Se georeferenciaron los mapas utilizando la hoja de calculo para la referenciacion de imágenes raster en aArc view, realizada por Mora (2004), se hizo el mapa del terreno, generando con este la vista del relieve en tres dimensiones, como aparece en la figura 4.15

La mayor concentracion de industrias se encuentran en la zonas en la que esta ubicada la zona insustrial San vicente, donde se hayan las minimas elevaciones.

4.2 APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS EN EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Para este trabajo se escogieron las metodologías DRASTIC y GOD.

4.2.1 Metodología DRASTIC

La metodología DRASTIC, fue desarrollada por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de América. Dicha metodología es un sistema paramétrico de evaluación e incluye siete cara-terísticas fundamentales, a las que se les asigna valores, y un

multiplicador (peso según su importancia). Parte del presente trabajo consistió en la obtención y ponderación de esos siete parámetros. Ver Tabla 3.1.

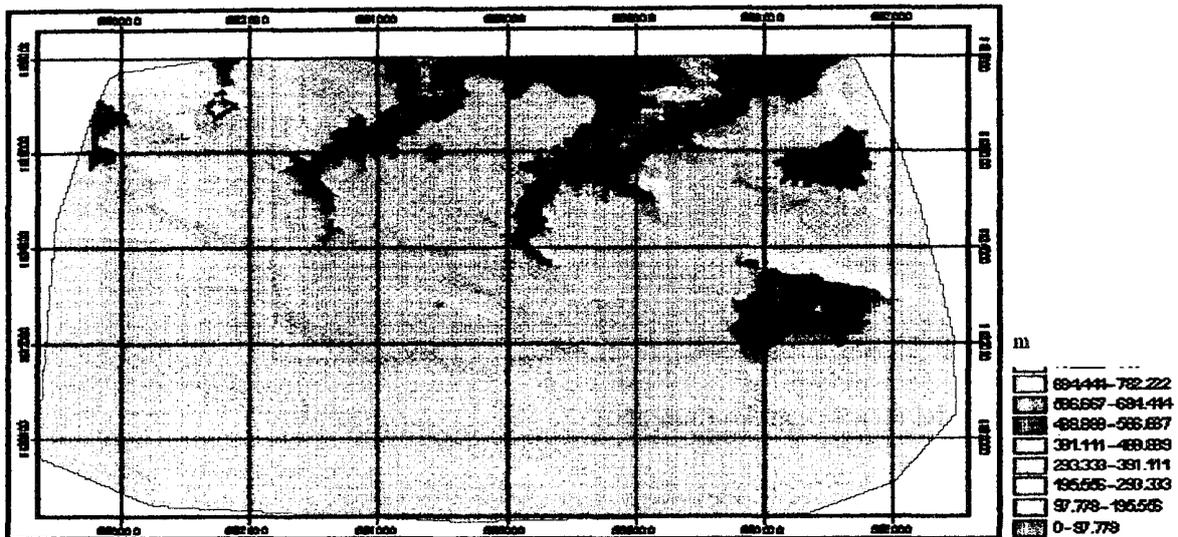


Figura 4.15 Modelo digital del terreno (m)

- **Obtención y ponderación de los Parámetros DRASTIC**

• **Parámetro D - Depth to water (Profundidad del acuífero)** Para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizó la información de pozos proveniente del El Ministerio del Ambiente y del inventario de pozos realizado por Ramos (1998), información que contenía la profundidad a la que fueron detectados los niveles del agua subterránea, además de la ubicación geográfica del pozo en coordenadas. La selección de los pozos de estudio se basó en la ubicación del pozo dentro o cercano a la zona de estudio. Además se tomó en cuenta que la información fuera lo suficientemente clara y completa.

Tabla 4.8 Puntajes utilizados para el parámetro D profundidad

Puntaje	Rango de Profundidades (m)
10	0 – 4.6
6	4.6 – 15.2
3	15.2 – 30.5
1	>30.5

Por tratarse de un acuífero confinado la profundidad fue establecida como la distancia existente desde la superficie del terreno, y la base de la capa confinante. Se creó para ello una base de datos, con los pozos con las coordenadas norte y este, el nombre del pozo y los valores

de nivel estático medidos, procediendo a realizar un análisis geoestadístico, con en el software SURFER 8 y realizando así el mapa de profundidad.

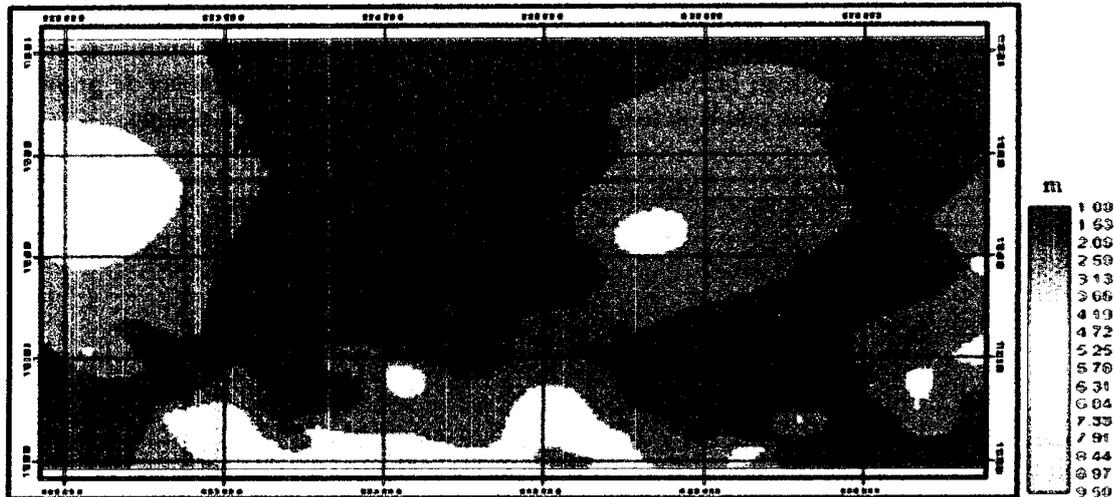


Figura 4.16 Parámetro D profundidad de agua (m)

Una vez realizado el mapa de profundidad se procedió a reclasificarlo según los pesos y rangos establecidos por el método DRASTIC (Tabla 3.2), agrupándose los rangos de profundidad previstos por este método, pasando de siete a cuatro rangos y asignando a cada uno el promedio de puntaje de los dos rangos de DRASTIC correspondientes. Tabla 3.2, y figura 4.16.

Parámetro R (Recarga) La infiltración media anual se calculó por medio de la ecuación (4.11) de balance hídrico. La infiltración media anual de toda el área de estudio dio como resultado una media anual de 479,12, mm/año, que es la infiltración de la agua proveniente de la precipitación y esta representada por un 54.34 % de la misma.

La recarga se obtuvo multiplicando el valor porcentual de la infiltración (0.54) por el mapa de precipitación, (ver tabla 4.7), es decir corresponde al producto de la precipitación por este factor de infiltración, se realizó la reclasificación según los pesos y rangos establecidos por el método DRASTIC (Tabla 3.3), siendo la precipitación del área mayor de 250 mm/año. Se obtuvo un mapa homogéneo en toda el área de estudio con el puntaje máximo de 9.

Parámetro A (Litología del acuífero) Este parámetro valora la litología que constituye el acuífero, considerándose que a mayor granulometría y facturación, mayor permeabilidad y por tanto un grado de vulnerabilidad más elevado.

Para su determinación se empleo el mapa geológico existente e informes de perforaciones y perfiles litológicos de pozos, suministrada por las empresas de perforación y los datos por el banco de datos del MARN, Dirección de Hidrología, donde se realizaron secciones estratigráficas para ver la secuencia sedimentaria. (Figura 4.10, y Anexo III Fig. III.4). Según estos perfiles de pozos se pudo observar que la secuencia litoestratigráfica corresponde a arcillas y areniscas sin diferenciar, correspondientes al relleno lacustre Cenozoico, lo cual presenta secuencias de grano fino considerados impermeables, que puede actuar como una barrera confinante en el tope.

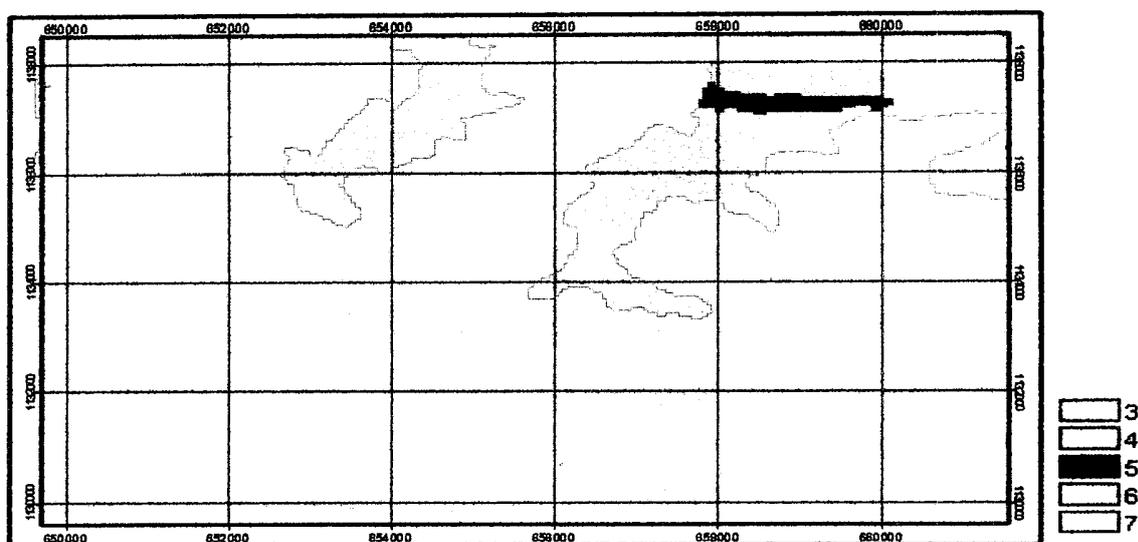


Figura 4.17 Parámetro A (Litología del acuífero)

Se reclasifico el mapa de litología según los rangos de DRASTIC correspondientes a la tabla 3.5, según los puntajes para los materiales componentes del acuífero, Tabla 4.8, obteniéndose así el mapa del parámetro A, (litología del acuífero), figura 4.17.

Tabla 4.9 Puntajes utilizados en componentes del acuífero

Litología	Valor
Calizas, esquistos calcáreos	3
Mica-esquistos gnéis	4
Caliza	5
Aluviones, arcillas, limos sin diferenciar	7

Parámetro S (Suelo) A partir del mapa de suelos y de 32 informes técnicos de perfiles de suelos suministrado por el Instituto de Edafología de la Universidad Central de Venezuela Facultad de Agronomía Maracay, se realizó la sectorización y clasificaron del tipo de suelo, para ello se realizó un banco de datos, y se realizó en SIG Arc View un mapa de suelos en

formato vectorial hallándose en el área suelos arcillosos a francosos (<35% de arcillas), donde estos últimos son los mas predominantes. fig 4.18.

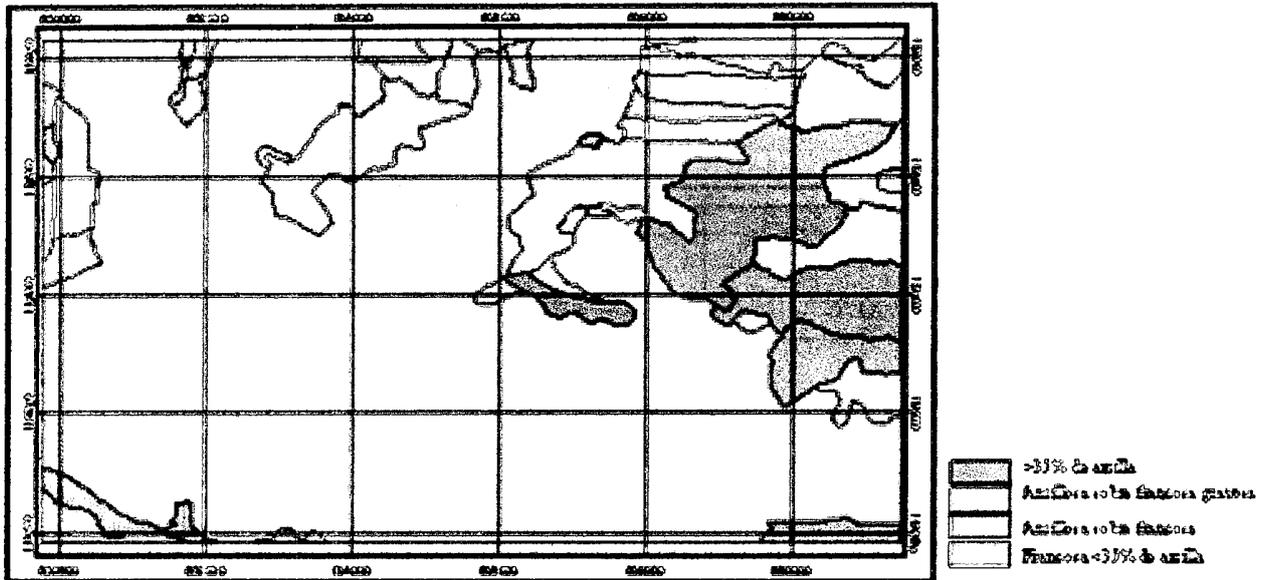


Figura 4.18 Mapa de Suelo

El mapa vectorial se exporto a SIG Idrisis kilimanjaro realizado un mapa en formato raster se procedió a reclasificar los suelos, según los parámetros DRASTIC (Tabla 3.6) figura 4.19.

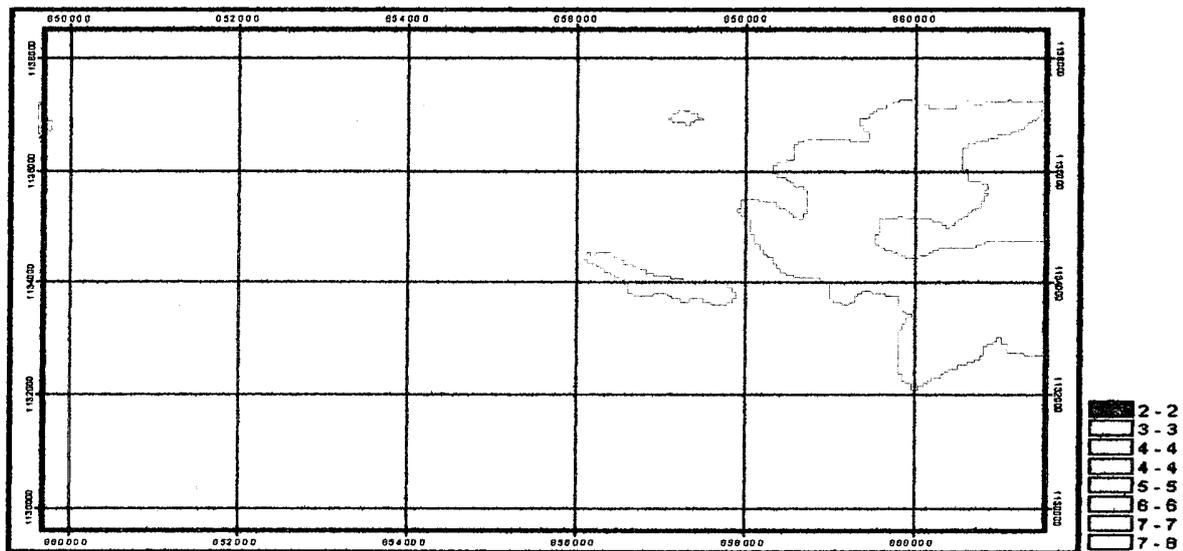


Figura 4.19 Parámetro S suelos

Topografía (T) Realizado el modelo digital del terreno generado por la digitalización de del mapa topográfico fig. 4.14, se calculo mediante un SIG Idrisis kilimanjaro las pendientes en toda el área., se dividió el área en zonas según los rangos previstos por el método y se obtuvo el mapa de las pendientes figura 4.20 donde se puede verificar que el área en la que se encuentran las mayores actividades potencialmente contaminantes está frente a una topografía de zonas planas, es decir se está frente a una topografía suaves, donde las pendiente oscila entre 1% al 8%.

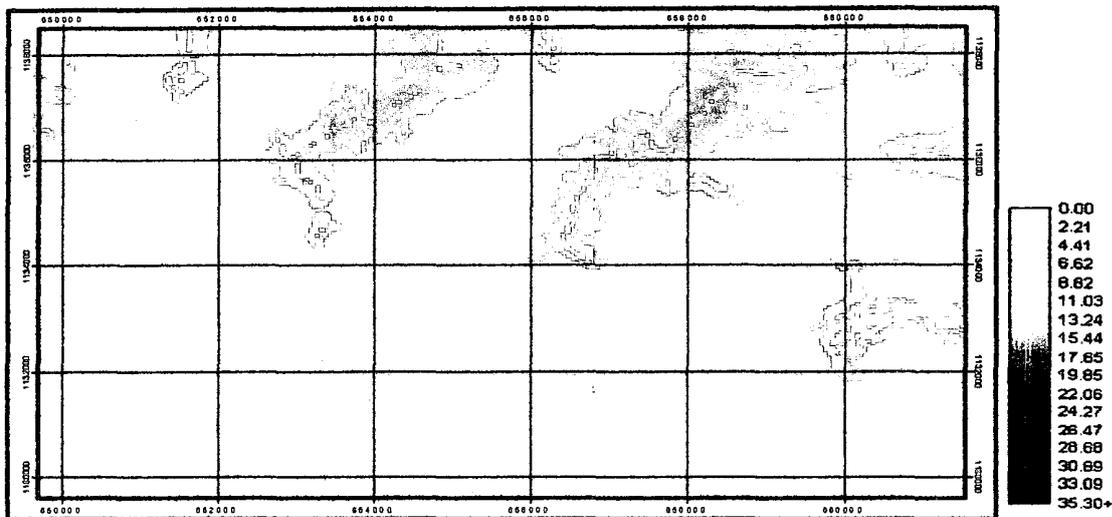


Figura 4.20 Pendientes (%)

El mapa de pendiente se reclasifico según los rangos de DRASTIC correspondientes Tabla 3.4. para la topografía son altos en toda el área de estudio. Figura 4.21.

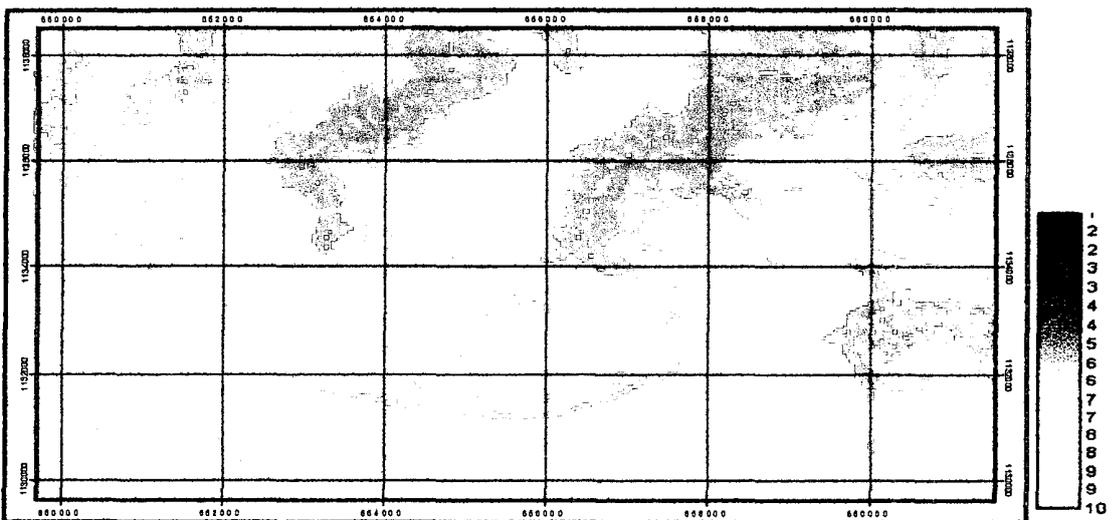


Figura 4.21 Parámetro T (Topografía)

I (Impacto Zona Vadosa) El impacto zona vadosa fue analizado en función de la geología, por medio de los perfiles de pozos y la realización de secciones estratigráficas, se determino que está constituida por la una secuencia fluvio lacustre.

Se realizaron mapas de arena fina, media, gruesa y de arcillas del acuífero para determinar las secuencias de estas. (Ver Figura 4.8, y III Fig. II.4) y determinar así las características de los pozos en toda el área, para posteriormente reclasificar esta según los parámetros DRASTIC. Se tomara el valor de 7 correspondiente a un valor medio entre capas de areniscas finas y arenas y gravas tal como se puede apreciar en la tabla 3.7.ver figura 4.22.

Parámetro C (Conductividad hidráulica) La conductividad hidráulica forma parte de las constantes básicas del suelo a ser determinada de acuerdo a los fines de la presente investigación, dicho parámetro es una manera de tener una idea cuantitativa sobre la mayor o menor facilidad con que se puede mover el agua en un suelo dado, en condiciones de saturación los valores obtenidos varían en el orden de 0.36 a 1.54, ver figura 4.10, es decir el valor de la conductividad hidráulica esta entre rango de 0.040 a 4.5 m/día, escogiéndose el valor 1 según la metodología DRASTIC, ver tabla 3.8.

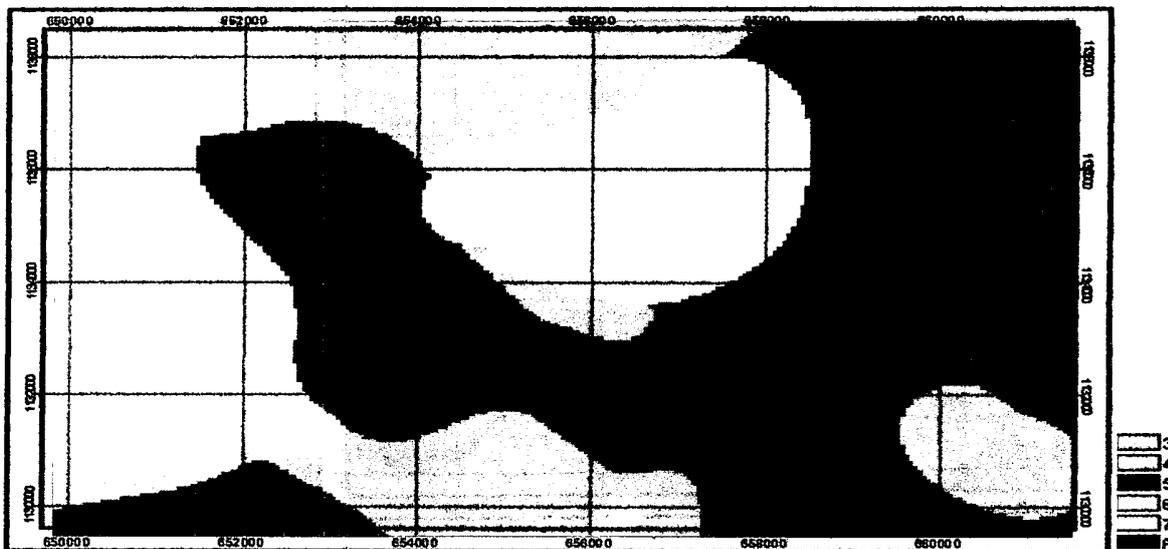


Figura 4.22 Parámetro I (Impacto Zona Vadosa).

• **Mapa de Vulnerabilidad DRASTIC**

Una vez realizadas las ponderaciones de cada uno de los parámetros, se evaluó el potencial de contaminación, para ello se utilizaron los pesos y rangos establecidos por esta

metodología (tabla 3.1), los cuales se multiplicaron para hallar el índice numérico según la ecuación 3.1.

$$\dot{I} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (3.1)$$

De la conjunción de los mapas anteriormente descritos, y asociando a cada parámetro su peso correspondiente a la metodología DRASTIC (tabla 3.1), se obtuvo el índice general de vulnerabilidad para el área de estudio.

Tomando los valores de los pesos asignados a los distintos factores establecidos según la metodología DRASTIC, ver la tabla 3.1.

$$\dot{I} = D_R * 5 + R_R 4 + A_R 3 + S_R 2 + T_R 1 + I_R 5 + C_R 3$$

Los valores máximo y mínimo de índice obtenidos fueron 155, y 79 respectivamente.

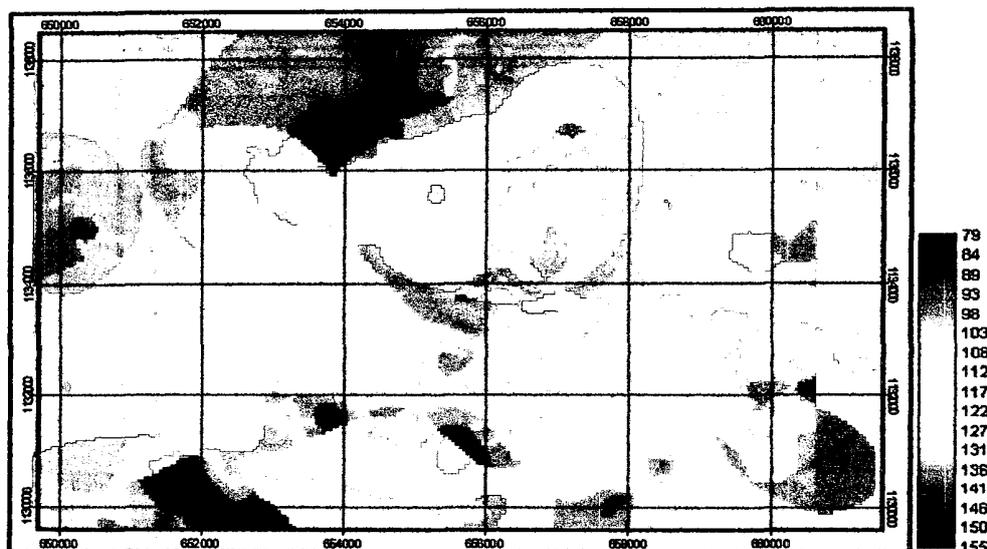


Figura 4.23 Índice de vulnerabilidad DRASTIC.

El mapa preliminar de vulnerabilidad se reclasificó según las clases de vulnerabilidad muy alta, alta, moderada, baja y muy baja, ver tabla 3.9, obteniéndose de esta forma el mapa de vulnerabilidad relativa por la metodología DRASTIC para toda la zona de estudio.

Según lo observado en el mapa de vulnerabilidad DRASTIC, figura 4.24 en el área de estudio predomina una vulnerabilidad moderada, las zonas de alta vulnerabilidad aparecen dispersas.

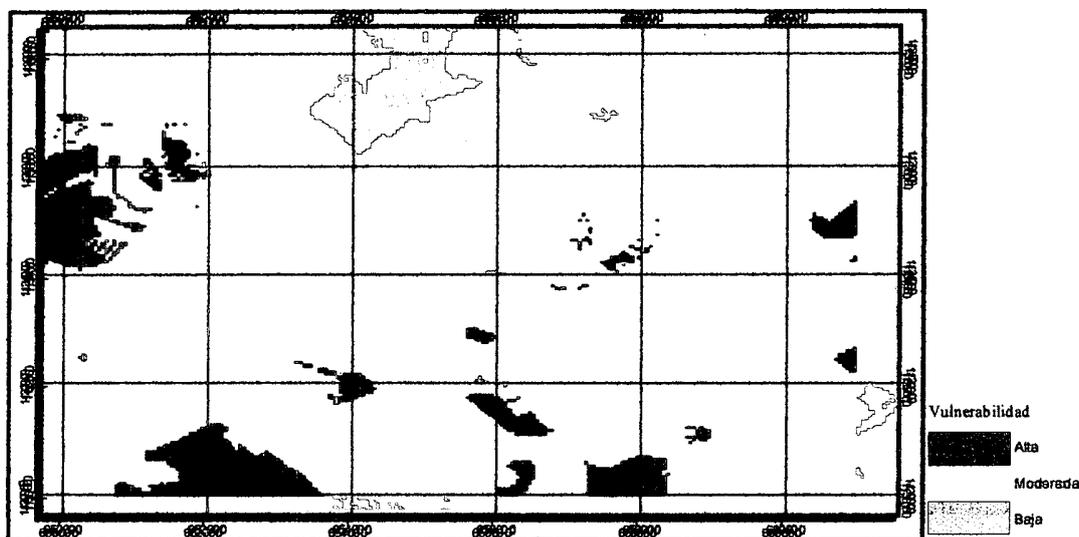


Figura 4.24 Vulnerabilidad relativa DRATIC

4.2.2 Metodología GOD

Método propuesto por Foster (1987), basado en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables que son las que nominan su acrónimo G (Ocurrencia tipo de acuífero - ground water occurrence) O (Sustrato litológico - overall aquifer class) D (Distancia al agua o del acuífero - depth).

- **Obtención y ponderación de los índices GOD**

La aplicación de la metodología GOD (Foster e Hirata, 1991) consistió en obtener por medio de las características del acuífero en la zona de estudio, los índice GOD: ocurrencia del agua subterránea (G), sustrato litológico (O) y la distancia al agua (D), para ello se utilizó el esquema de aplicación de la metodología GOD. Ver figura 3.1.

Ocurrencia del agua subterránea (G) El área de estudio corresponde al relleno lacustre Cenozoico, lo cual presenta secuencias de grano fino considerados impermeables, que puede actuar como una barrera confinante en el tope, por consiguiente se considera al acuífero como confinado

El nivel de confinamiento de los acuíferos en esta zona debe ser estudiado con mayor detalle. Sin embargo para efectos de este trabajo se consideró adecuado calcular la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos en la zona con un valor de ocurrencia de 0.2.

Sustrato litológico (O) Según el análisis de las secciones estratigráficas realizadas, figura 4.12 y Anexo II figuras II.5 a II.10, se observó una secuencia sedimentaria. Litoestratigráfica corresponde a arcillas y areniscas sin diferenciar, donde se le asignaron al mapa de litología los valores según la tabla 4.10, generándose así el mapa de sustrato litológico (O), figura 4.25.

Tabla 4.10 Asignación de valores característica del sustrato litológico.

Litología	GOD
Caliza	0.9
Aluviones, arcillas, limos sin diferenciar	0.8
Calizas, esquistos calcáreos	0.6
Mica-esquistos	0.6

Distancia al agua (D) Para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizó la información de pozos proveniente del inventario de Ramos (1980) y MARN. En la información contenía la profundidad a la que fueron detectados los niveles del agua subterránea, además de la ubicación geográfica del pozo en coordenadas, y su cota referida al nivel del mar.

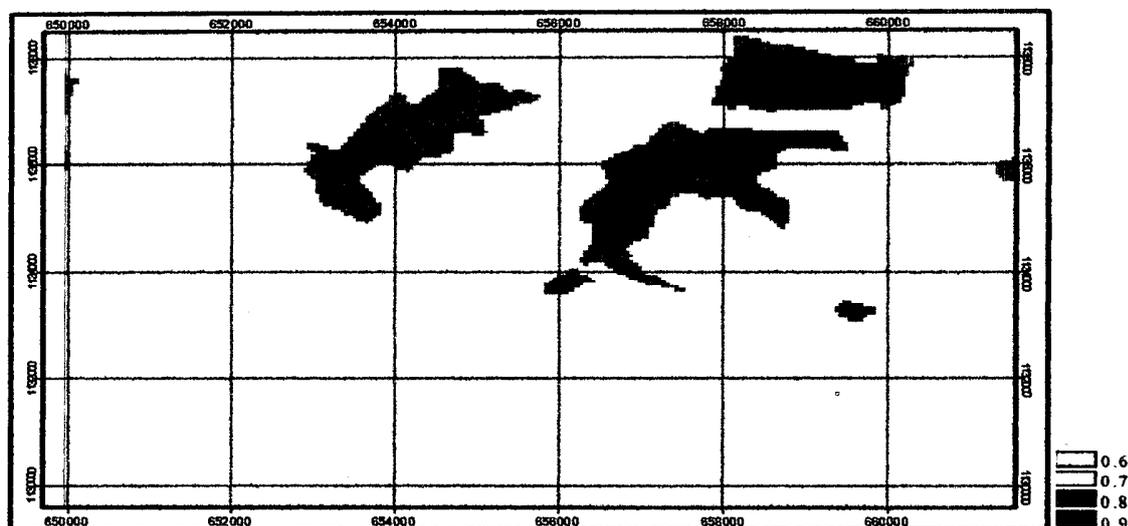


Figura 4.25 Sustrato litológico (O)

En función del mapa de distancia al agua (D) se obtuvo con la reclasificación del mapa de profundidad de la capa de agua figura 4.16, siguiendo lo establecido en el esquema de aplicación de la metodología GOD. Ver figura 3.1, donde los niveles de agua de la zona

presentan valores entre 1 y 9.50 m, quedando clasificados entre los intervalos de índices 0.7 y 0.9 figura 4.26.

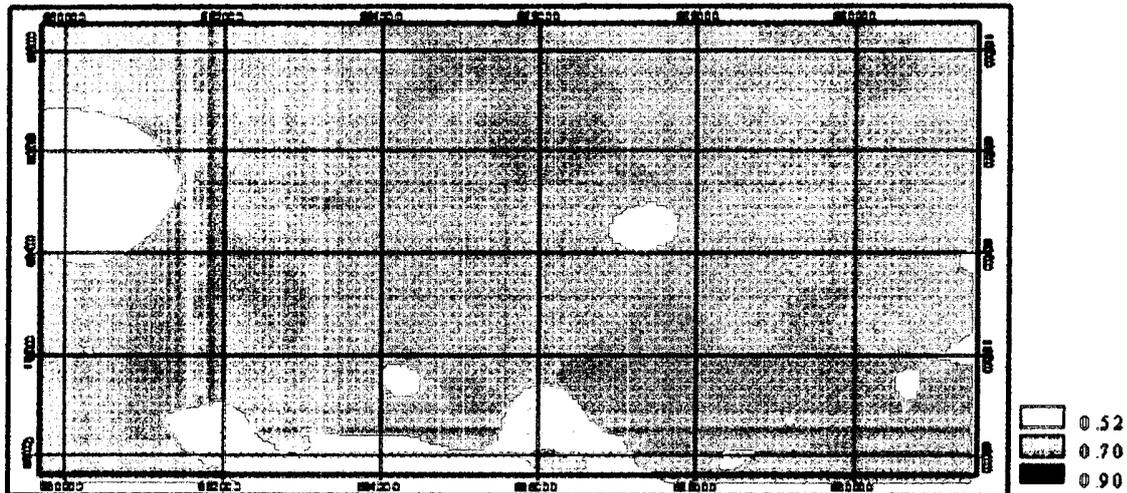


Figura 4.26 Índice distancia al agua (D)

- Mapas de Vulnerabilidad

Con la estimación de los índices de ocurrencia del agua subterránea (G), sustrato litológico (O) y distancia al agua (D), se cualifica la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

El índice GOD se obtiene del producto de los tres índices estimados según la ecuación 3.2

$$I = G * O * D \quad (3.2)$$

El índice I cualifica la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación multiplicando los tres índices entre sí, dando como resultando un mapa que puede variar entre vulnerabilidad 1 máxima y 0 mínima.

Según lo observado en el mapa de vulnerabilidad en la figura 4.27 la vulnerabilidad de la zona de estudio esta comprendida entre 0.060 muy baja a 0.144 a vulnerabilidad baja, según la vulnerabilidad relativa establecida en tabla 3.10.

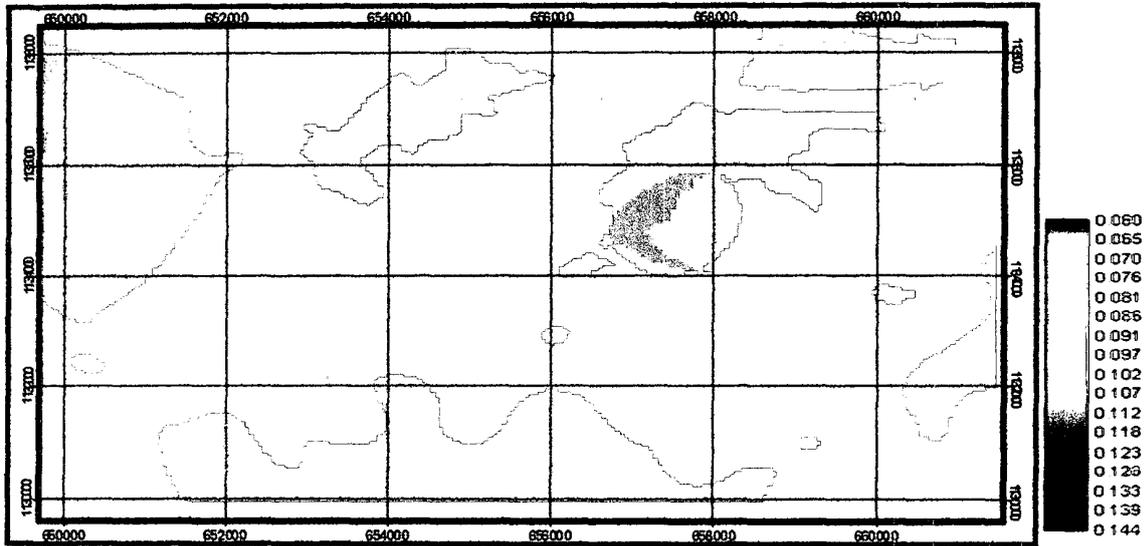


Figura 4.27 Índice de vulnerabilidad GOD

El Mapa índice de vulnerabilidad GOD, se reclasifico en vulnerabilidad de contaminación del acuífero según la Tabla 3.10, observándose que predomina la vulnerabilidad muy baja, ver figura 4.28.

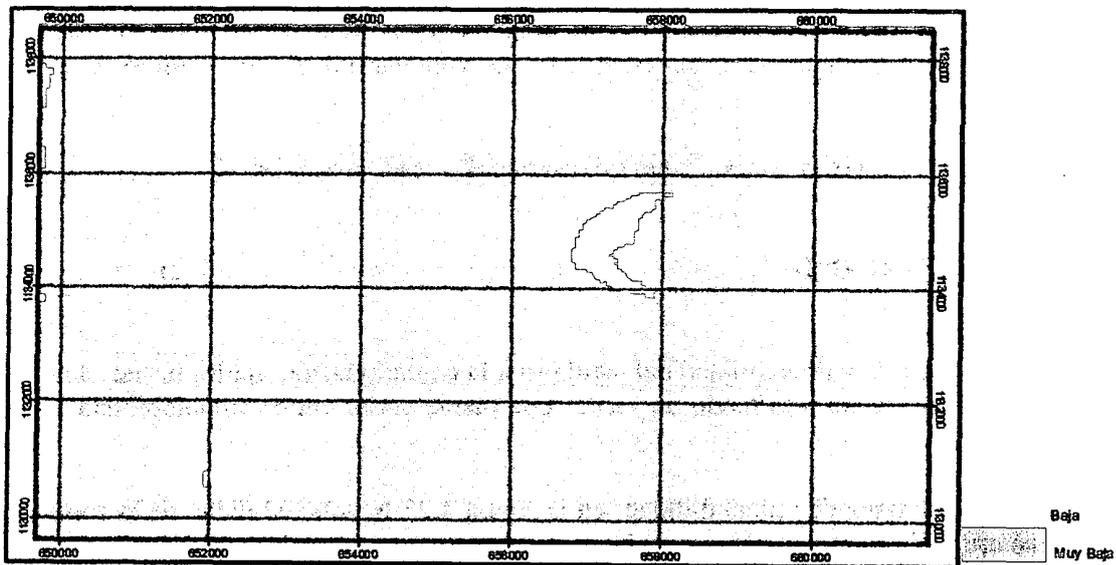


Figura 4.28 Vulnerabilidad GOD

CAPITULO 5

DETERMINACIÓN DE LAS AMENAZAS

5.1 EVALUACIÓN DE LAS AMENAZAS

El procedimiento metodológico se basó en caracterizar la carga contaminante de los efluentes de las distintas industrias ubicadas en la zona de estudio, a tal fin se ha tomado la metodología propuesta por Foster e Hirata (1988).

En la evaluación de las amenazas contaminantes se siguieron los pasos que se puntualizan continuación:

5.1.1. Clasificación de las actividades industriales

La caracterización e identificación de las amenazas de contaminación, es decir de las actividades potencialmente contaminantes ubicadas dentro del área de estudio, se realizó situando las infraestructuras, vialidad, actividades industriales realizadas figura 5.1.

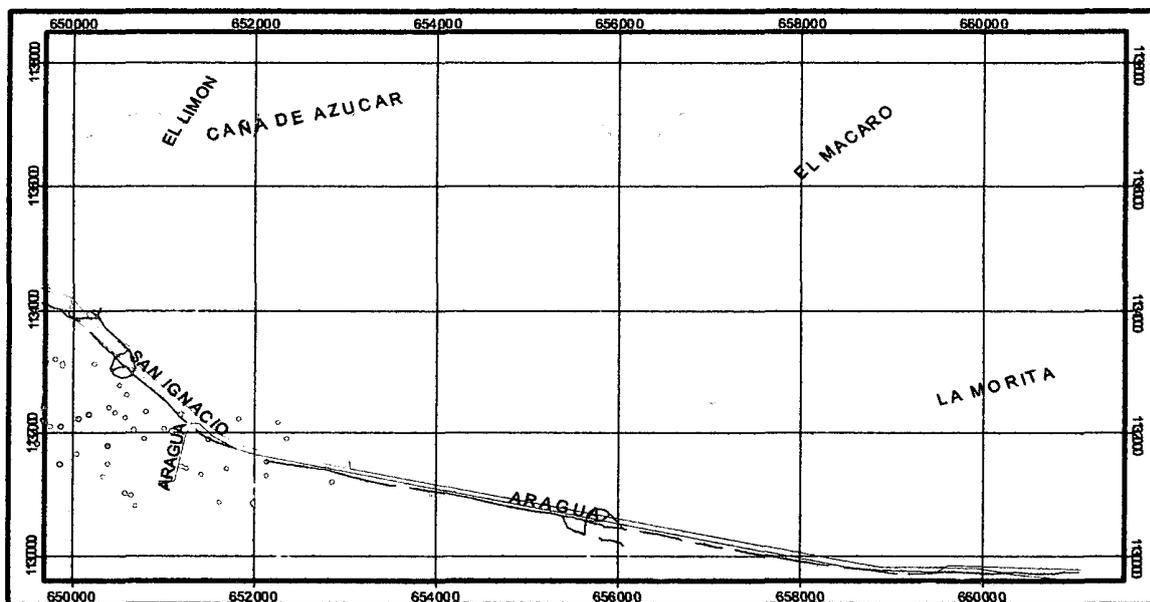


Figura 5.1 Identificación de las amenazas potenciales en el área de estudio.

Con la información suministrada por el MARN, en el RASDA 2005 del Municipio Girardot en referencia a las Industrias localizadas en el, se realizó el inventario de las empresas

existentes en el área de estudio, identificando y caracterizando las actividades realizadas, es decir, las potenciales fuentes de amenazas de contaminación, el cual arrojo 241 empresas, en nueve actividades, que pueden generar vertidos potencialmente contaminantes, tabla 5.1.

Tabla 5.1 Actividades contaminantes.

Rubros	Cantidad	%
Alimentos y bebidas	18	7.47
Beneficiadora	3	1.24
Fabrica Muebles	47	19.50
Metalmecánica	29	12.03
Metalúrgica	22	9.13
Mineral no meta	18	7.47
Pulpa	21	8.71
Química	72	29.88
Textil, curtido y calzado	11	4.56
Total	241	100

Fuente MARN RASDA Municipio Girardot del estado Aragua, 2005.

Del total de las 241 industrias inscritas en el RASDA Girardot, solo 64 poseían información de coordenadas y de sitios de descargas para d sus efluentes para ser ubicadas espacialmente.

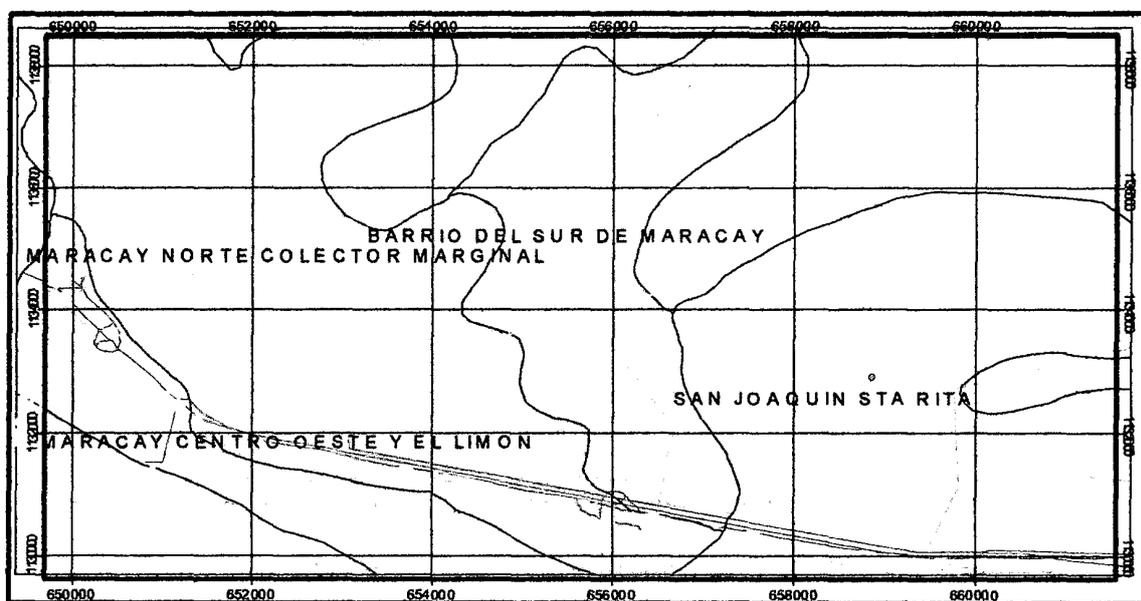


Figura 5.2 Sitios de disposición final de cloacas.

El río Güey es el sitio donde hay mayor descarga de los efluentes de las empresas, con un 59.74 % tabla 5.2, el cual va a desembocar al lago de Valencia. No se contó con la información del tipo de vertido generado por las industrias, ni de la existencia de plantas de tratamiento o de lagunas de oxidación para el tratamiento de estos vertidos

Tabla 5.2 Sitios de descargas de las actividades contaminantes

Actividades Sitio de descarga	Alimentos y bebidas	Beneficiadora	Fabrica Muebles	Metalmecánica	Metalúrgica	Mineral no metálico	pulpa y papel	Química	Textil, curtido y calzado	Total	%
Canal Corpindustria	1					1	7	1		10	12.99
Canal Manpa o Papelera			1			3				4	5.19
Canal Sudamtex	1		2	2			1	2		8	10.39
Cano Colorado	1									1	1.30
Colector Palo Negro-Santa Cruz	1									1	1.30
Río Guey	6		6	6	2	5	14	3	4	46	59.74
Río Maracay	1			1						2	2.60
Río Turmero		2		1	1					4	5.19
No identificado.		1								1	1.30
Total industrias	8	3	6	9	3	7	20	5	3	77	100.0

5.1.2 Contaminación y vulnerabilidad en las aguas subterráneas

Una vez definida la lista de fuentes potenciales de contaminación para el acuífero, se procedió a realizar un inventario detallado para cada una de estas fuentes, teniendo en cuenta el tipo de contaminante que pudiera generar la fuente. Se consultaron varias entidades como HIDROCENTRO, Laboratorio de Calidad Ambiental DEA-Aragua, MARNR, Malarilogía Aragua, UCV-Maracay, que de una u otra forma manejan información de fuentes de actividades potencialmente generadoras de carga contaminante al subsuelo, sin embargo, la respuesta de las mismas, fue negativa por lo que no se pudo realizar un análisis de los tipos de contaminantes generados por cada industria individualmente.

Como se puede observar tabla 5.1, las principal actividad industrial es la química con un 29.88 % con presencia posible de contaminantes del tipo h, (elementos pesados) o (compuestos micro orgánicos) y s (salinidad) con distribución de carga contaminante del tipo (p-d) puntual a dispersa, localización (u) urbana Foster, (1991). Este es un análisis muy sencillo, en realidad la

carga contaminante debe ser evaluada con mayor detalle y precisión debido a que interactúa directamente con la zona no saturada dependiendo de su clase, intensidad, disposición y duración.

No existe un inventario de actividades potenciales que generen carga contaminante al acuíferos y mucho menos mediciones de diferentes contaminantes por profundidad el cual permitiría investigar el comportamiento químico de estos componentes y su concentración hasta la zona saturada, y definir así niveles tóxicos, capacidad y mecanismos de amortiguación de contaminantes en la zona no saturada.

5.1.3 Estudios realizados a la calidad de agua de los pozos.

No se encontró reseña de pozos que se encuentren contaminados, para establecer el tipo de contaminante y clase de actividades potenciales a contaminarlo, las fuentes existentes, para identificar y clasificar actividades potencialmente contaminantes, así como tampoco existe información sobre el tipo de vertidos de las industrias, por lo cual no se realizó un análisis de las características de los tipos de contaminantes generados por cada industria, por lo que se generalizó par actividades realizadas por cada industria utilizando el método propuesto por Foster y R. Hirata (1988).

Según el análisis físico-químicos realizado por Ramos (1991), a cinco pozos todos dentro del área de estudio exceptuando el pozo 558 que se encuentra cerca de este, la calidad físico-química del resto de los pozos es muy similar, la mayor desviación del TSD es 45 ppm del promedio calculado sin incluir el P-566 por presentar los valores sospechosos de intrusión del lago, pues el contenido del ión sulfato es 193 ppm contra 8.5 que es el promedio del resto de los pozos excluyéndolo a él. Ver tabla 5.3.

5.1.4 Estimación de las cargas contaminantes

Dada la complejidad e incertidumbre intrínseca de los procesos de contaminación del acuífero, y siendo estas las potenciales amenazas de contaminación para este, las acciones a realizar para el cálculo de las cargas contaminantes proveniente del efluente de las diversas industrias ubicadas en la zona, deberán ser igualmente complejas y lo suficientemente flexibles para adaptarse a las condiciones locales.

Las evaluaciones exhaustivas son prácticamente inexistentes, por lo que, iniciativas como la estimación de los índices de contaminación, suelen necesitar información técnica que pueden tener relevancia para la toma de decisiones con el objeto de dirigir la atención a las causas que amenazan de contaminar al acuífero.

Para la estimación de los contaminantes se establecieron las cuatro características semi-independientes de la carga contaminante al subsuelo propuesta por Foster (1987), donde cada una de estas características depende de uno o mas factores, cuyos estimados permitirían clasificar

los componentes de la carga contaminante en una escala relativa de 0-1. . Se obtuvieron las características de los potenciales contaminantes según tablas de Foster (1988). Apéndice E.

Tabla 5.3 Análisis químico del agua de pozos

	Análisis Físico Químico (mg/l)	Pozo					Promedio total	Promedio sin 566
		183	543	558	567	566		
Propiedades Física y Agregadas	Apariencia al captar	Clara	Clara	Clara	Clara	Clara		
	Conductividad a 25 C (pmhos/cm.)	312	312	335	201	810	394	290
	Color Aparente (U.Pt-Co)	3	1	1	15	5	5	5
	Color Verdadero (U Pt-Co)	1	1	1	6	2	2.2	2.25
	Turbiedad (UNT)	0.4	0.7	0.2	2.4	0.5	0.84	0.925
	Alcalinidad Total (CaCO ₃)	154	130	104	84	174	129.2	118
	Alcalinidad Fenolftaleínica (CaCO ₃)	0	0	0	0	0	0	0
	Dureza Total (CaCO ₃)	134	128	106	86	324	155.6	113.5
	Dureza Carbonática (CaCO ₃)	134	128	104	86	174	125.2	113
	Dureza no Carbonática (CaCO ₃)	0	0	2	2	150	30.8	1
	índice de Saturación (Langélier)	-0.1	-0.9	-1.7	-1	-0.5	-0.84	-0.925
Minerales Disueltos Calculados	219	223	248	125	559	274.8	203.75	
Metales	Calcio (Ca)	41	38	22	18	75	38.8	29.75
	Magnesio (Mg)	8	8	12	10	33	14.2	9.5
	Hierro Total (Fe)	0.05	0.01	0.05	0.08	0.05	0.048	0.0475
	Manganeso Total (Mn) menor	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Sodio (Na)	15	15	24	9	44	21.4	15.75
	Potasio (K)	1	1	2	2	2	1.6	1.5
Constituyentes Inorgánicos	pH	7.5	6.8	6.3	7.2	6.8	6.92	6.95
	Cloruro (Cl ⁻)	2	8	14	7	20	10.2	7.75
	Sulfato (SO ₄ ⁻²)	5	10	14	5	193	45.4	8.5
	Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	0	0	0	0	0	0	0
	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻¹)	188	159	127	102	212	157.6	144
	Fluoruro (F ⁻)	0.34	0.25	0.18	0.1	0.27	0.228	0.2175
	Sílice Reactiva (SiO ₂)	44	48	60	19	67	47.6	42.75
	Dióxido de Carbono Libre (CO ₂)	10	41	104	11	55	44.2	41.5
	Nitrato (NO ₃ ⁻ Ni)	0.05	1.2	5	0.05	1	1.46	1.575
	Nitrito (NO ₂ ⁻ Ni)	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004	0.0026	0.00225
Distancia al lago m.	7650	4500	8250	4200	750	5070	6150	

Fuente Ramos (1991)

- *Clase de contaminante Cc.*

Los resultados de la evaluación de la clase de contaminante Cc, se realizó utilizando la metodología de Foster (1987), figura 3,2 donde para cada uno de los nueve grupos de

actividades, se tomaron los TD (tendencia a la degradación o transformación en situ) TR (tendencia hacia el retardo), ver tabla 5.4

Intensidad de contaminación I_c .

Para valorar la intensidad de contaminación I_c , se consideró la concentración relativa de cada contaminante (CR) involucrado en relación a los valores recomendados por la OMS para la calidad de agua aprovechable y la proporción de la recarga local del agua subterránea afectada por la contaminación. (PR) Tabla 5.5

Tabla 5.4 Clase de contaminante

Rubros	TD	TR	I_C
Alimentos y bebidas	Rápida	Débil	0.3
Beneficiadora	Rápida	Débil	0.3
Fabrica muebles	Rápida	Fuerte	0.4
Metalmecánica	Lenta	Fuerte	0.2
Metalúrgica	Lenta	Fuerte	0.2
Mineral no meta	Insignificante	Insignificante	1
Pulpa-Papel	Lenta	Fuerte	0.2
Química	Rápida	Fuerte	0.4
Textil, curtido y calzado	Lenta	Débil	0.3

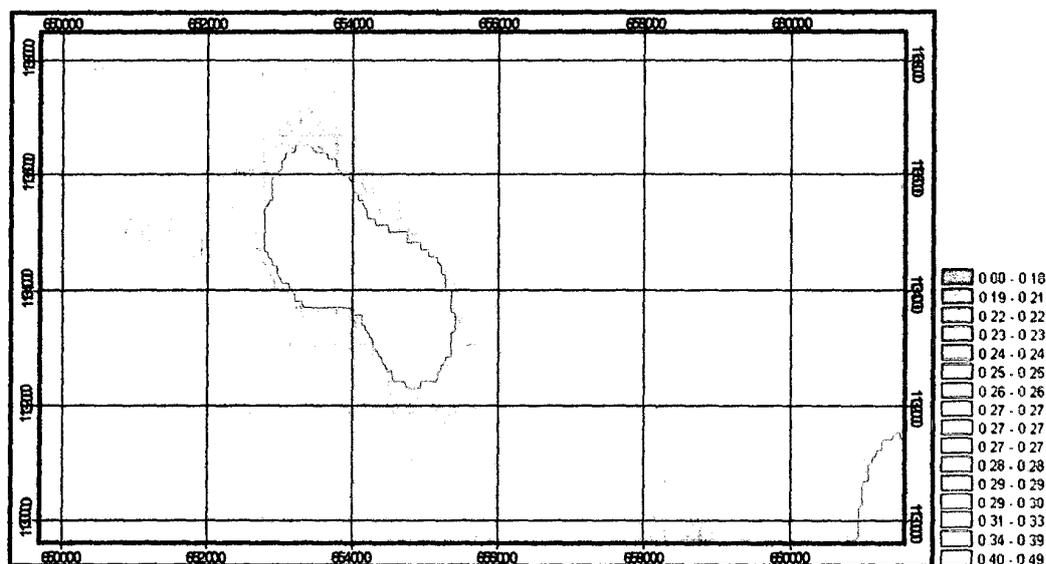


Figura 5.3 Índice clase de contaminante

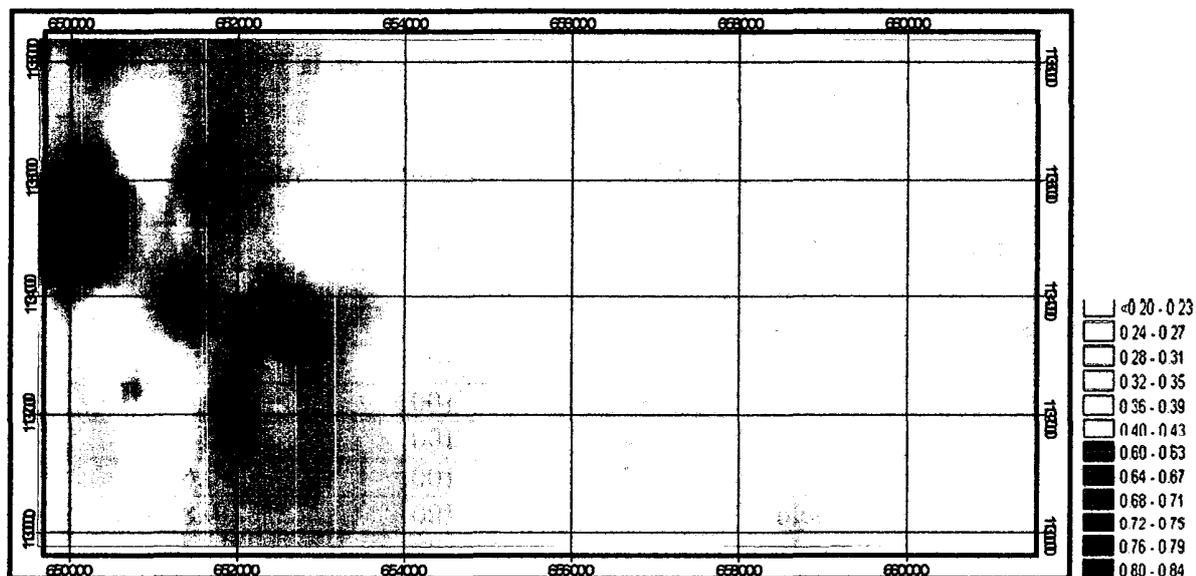


Figura 5.4 Intensidad de contaminación

Tabla 5.5 Intensidad de contaminación

Rubros	CR involucrado en la reacción a los valores recomendados por la OMS para la calidad de agua aprovechable	CR	% P PR	He
Alimentos y bebidas	Puntual	10^6	0.1	0.2
Beneficiadora	Puntual	10^6	0.1	0.2
Fabrica Muebles	Puntual	10^6	0.1	0.4
Metalmecánica	Puntual	10^6	0.1	0.4
Metalúrgica	Puntual	10^6	0.1	0.4
Mineral no meta	Puntual	10^6	0.1	0.2
Pulpa-Papel	Puntual	10^6	0.1	0.6
Química	Puntual	10^6	0.1	0.7
Textil, curtido y calzado	Puntual	10^6	0.1	0.2

- Disposición del contaminante en el suelo

Para determinar el componente de la disposición del contaminante en el suelo se consideró la carga hidráulica asociada al contaminante (CHc), incluyendo infiltración natural de

precipitación mm./día y la profundidad bajo la superficie (PBs) a la que el efluente es descargado o donde la lixiviación de residuos sólidos, tal como se puede observar en la Tabla 5.5.

Tabla 5.6 Disposición del contaminante

Rubros	Disposición del contaminante en el suelo			
	sitio	PBs	CH _C	IM _D
Alimentos y bebidas	Suelo	0.8	100	0.4
Beneficiadora	Suelo	0.8	100	0.4
Fabrica muebles	Suelo	0.8	100	0.4
Metalmecánica	Suelo	0.3	100	0.4
Metalúrgica	Suelo	0.4	100	0.4
Mineral no meta	Suelo	0.4	100	0.1
Pulpa-Papel	Suelo	0.1	100	0.6
Química	Suelo	0.7	100	0.8
Textil, curtido calzado	Suelo	0.7	100	0.4

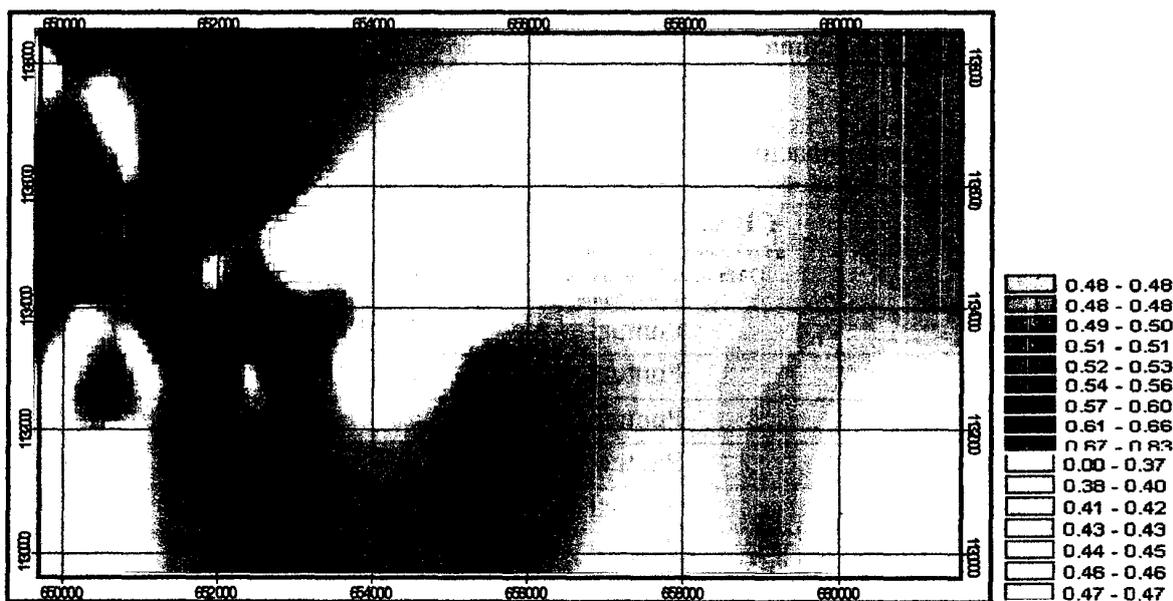


Figura 5.5 Disposición del contaminante en el suelo

- **Tiempo de aplicación de la carga contaminante.**

La consideración del tiempo de aplicación de la carga contaminante se obtuvo de la combinación de la probabilidad (P) que el contaminante sea descargado al subsuelo que en la mayoría de las situaciones será baja, con la excepción de accidentes ambientales, y el periodo (T) durante el cual se aplica la carga, que mostrara también una amplia variación de horas a décadas,

éstos valores se obtuvieron a través de la figura 3.2 según metodología propuesta por Foster (1987), tal como se puede observar en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Tiempo de aplicación de la carga contaminante

Rubros	P	I	IT _c
Alimentos y bebidas	0.8	Días	0.6
Beneficiadora	0.8	Días	0.6
Fabrica muebles	0.8	Décadas	0.4
Metalmecánica	0.8	Décadas s	0.8
Metalúrgica	0.8	Días	0.8
Mineral no meta	0.8	Días	0.1
Pulpa-Papel	0.8	Años	0.7
Química	0.8	Décadas	0.8
Textil, curtido y calzado	0.8	Décadas	0.8

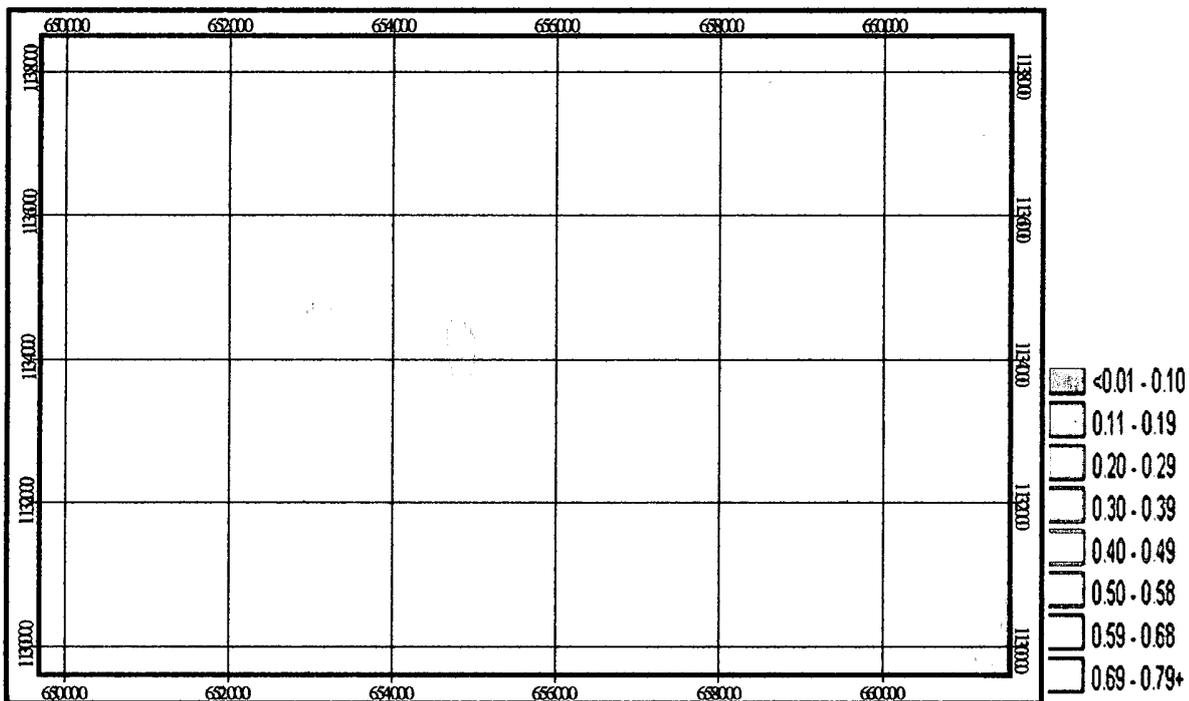


Figura 5.6 Tiempo de aplicación de la carga contaminante.

• **Ponderación**

Para relacionar la clase de contaminante, la intensidad de la contaminación, la disposición del contaminante en el suelo y el tiempo de aplicación de la carga contaminante se utilizó la escala de ponderación mostrada en las tablas 5.4. 5.5. 5.6 y la tabla 57.

La jerarquización de cada uno de los factores propuestos por Foster (1987) otorgándole coeficiente de importancia de cada uno de ellos (CIF): clase de contaminante, intensidad de contaminación, disposición del contaminante en el subsuelo y tiempo de aplicación de la carga al subsuelo fue 0.4, 0.3, 0.10, 0.20, respectivamente. Al definir el CIF, y luego de ponderar cada uno de los cuatro factores, se generó la tabla 5.4, en la cual se muestra la valoración del índice carga de contaminante IC_C, es decir la potencial amenaza para cada una de las actividades, la cual fue calculado para cada actividad según la ecuación 5.1

$$IC_C = V_{R_{C_c}} * CIF_{C_c} + V_{R_{I_c}} CIF_{I_c} + V_{R_{M_D}} CIF_{M_D} + V_{R_{T_c}} CIF_{T_c} \quad Ec (5.1)$$

Donde

- IC_C = Carga de contaminante
- V_R = Valor relativo de la carga contaminante
- CIF = Coeficiente de importancia del factor

Para definir la clasificación de la probabilidad de generación de carga contaminante hacia el acuífero, es necesario realizar estudios más detallados sobre la actividad y obtener así, cada una de las clases de contaminante, intensidad de la contaminación, disposición del contaminante en el suelo y tiempo de aplicación de la carga contaminante se utilizó la escala de ponderación mostrada en la 5.8.

Tabla 5.8 Ponderación de la amenaza de contaminación por las actividades industriales.

Actividades Contaminantes	C	I _c	M _D	T _c	IC _C
	0.4	0.3	0.1	0.2	
Alimentos	0.3	0.2	0.4	0.6	0.34
Beneficiadora	0.3	0.2	0.4	0.6	0.34
Fabrica muebles	0.5	0.5	0.4	0.4	0.47
Metalmecánica	0.2	0.5	0.5	0.8	0.44
Metalúrgica	0.2	0.4	0.7	0.8	0.43
Míneral no meta	0.1	0.2	0.1	0.1	0.13
Pulpa	0.2	0.6	0.6	0.7	0.46
Química	0.4	0.8	0.8	0.8	0.64
Textil y curtido	0.3	0.4	0.4	0.8	0.44

Estos valores se aplicaron individualmente a los mapas de ubicación de infraestructura pasterizados, los cuales se operaron sumando los cinco mapas; así se generaron valores de 0 en las zonas donde no hay amenaza y 0.19 en la zona donde coinciden todas las instalaciones que amenazan el acuífero generando el mapa de amenazas.

En resumen mapa de cargas contaminantes, se realizó valorando cada uno de los cuatro parámetros, mencionados por la metodología Foster (1987), se efectuó el producto de estos cuatro parámetro y así de esta forma evaluar cada actividad potencialmente contaminante por separado. Luego se sumo cada uno de los mapas generando el mapa de amenazas por todas las actividades industriales.

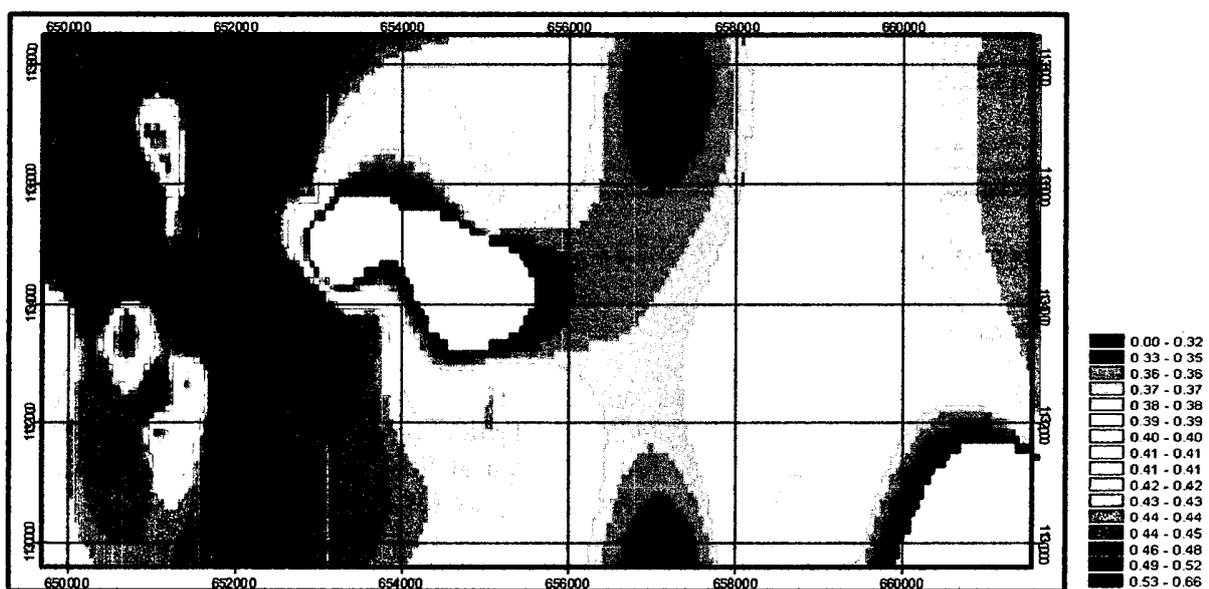


Figura 5.7 Índice contaminante.

El mapa del índice de contaminante fue reclasificado tomando como criterios de clasificación los citados en la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Clasificación relativa de las amenaza

Amenaza relativa	Índice de contaminante	Valor asignado
Muy baja	0 - 0.15	5
Baja	0.15- 0.25	4
Moderada	0.25 - 0.35	3
Alta	0.35 - 0.65	2
Muy Alta	> 0.65	1

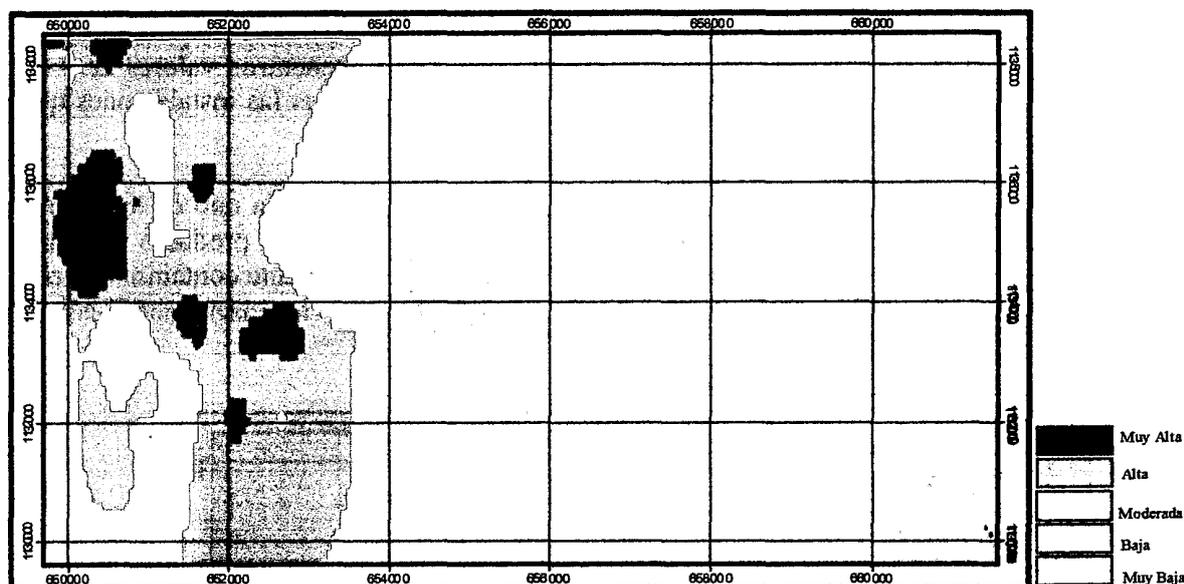


Figura 5.8 Amenaza relativa del índice de contaminante

- **Amenazas de las infraestructuras**

En el análisis de las infraestructuras se crearon los mapas de vialidad, sitios de disposición de los desechos de las industrias y tendidos eléctricos, para ello se utilizó el Arc View 3.2, lo cual generó una cobertura tipo shafle, que fue exportada al SIG Idrisis Kilimanjaro, para ser transformada en formatos raster y realizar las operaciones entre los mapas.

En la tabla 5.2, se observa que al Río Guey corresponde a un 59,9 5% de las descargas, de las diferentes industrias en la zona, así como es receptor de las descargas domésticas, y residuales, está contemplado realizar un proyecto de saneamiento para ser descargado a la planta de tratamiento de Taiguaiguay. MARN-AUA 2000.

Es de hacer recalcar que se desconoce las características de los efluentes vertidos al Río Guey, porque no hay control de estos, desconociéndose también si se dispone de plantas de tratamiento por parte de las diferentes empresas, lo cual puede representar una amenaza de contaminación al acuífero puesto que pudiera contaminar a los pozos por filtraciones.

Tabla 5.10 Sitios y número de colectores cloacales

Sistema de cloacas	Número de industrias
Maracay Norte	34
Barrios Sur	139
San Joaquín	149
Maracay Centro	54

Para jerarquizar los sitios de disposición de los efluentes en los sistemas cloacales, se reclasificaron estos tomando en cuenta el orden de importancia según el número de descargas de las industria en el área de estudio, ver tabla 5.11.

Tabla 5.11 Clasificación relativa de los sitios de descarga cloacales de las industrias

Amenaza relativa	Numero de descargas	Valor asignado
Muy baja	1-20	5
Baja	20-40	4
Moderada	40-60	3
Alta	60-100	2
Muy Alta	> 100	1

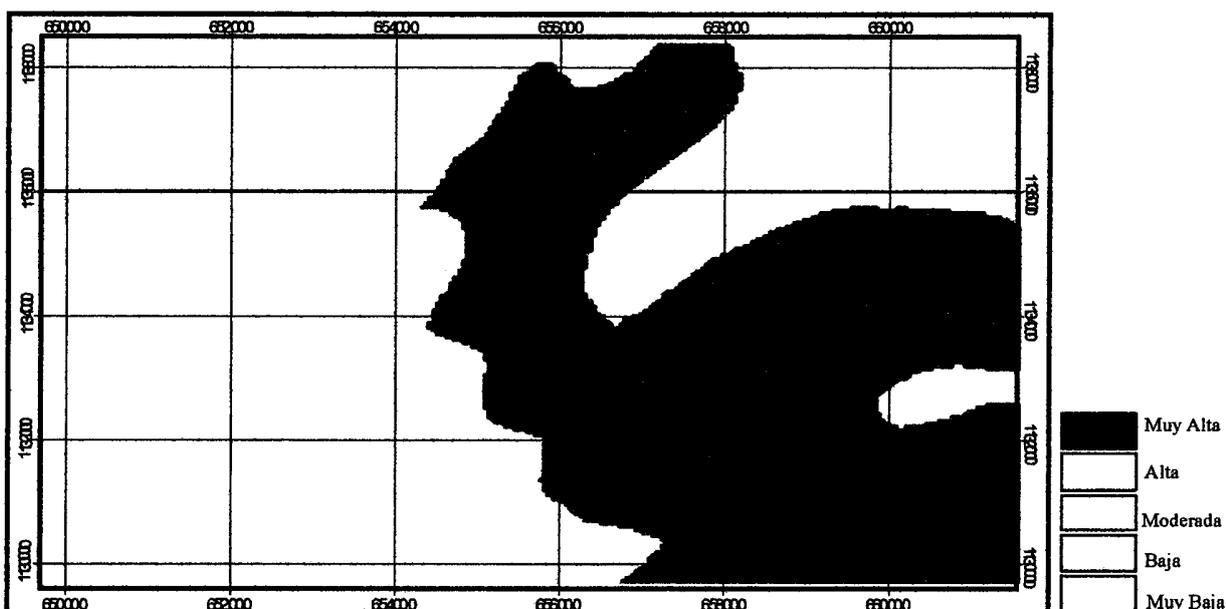


Figura 5.9 Amenaza de los sitios de disposición de los desechos industriales

Se realizaron los mapas de tipos de vialidad, tendidos eléctricos, cloacas, los cuales fueron superpuestos para generar un mapa de amenazas de todas las infraestructuras en el área de estudio, figura 5.10. El área de mayores amenazas por medio de las infraestructura esta en el área noreste correspondiendo a donde se ubica el sitio de mayor descarga de las industrias.



Figura 5.10 Amenaza de las infraestructuras.

Con la superposición de los mapas de amenazas e infraestructuras se obtuvo el mapa de amenazas totales de contaminación del acuífero. En la figura 5.11 se puede observar que las amenazas totales a la contaminación están situadas en el área sur y suroeste donde se haya la mayor concentración de industrias y está ubicado el sitio de disposición final de estas empresas.

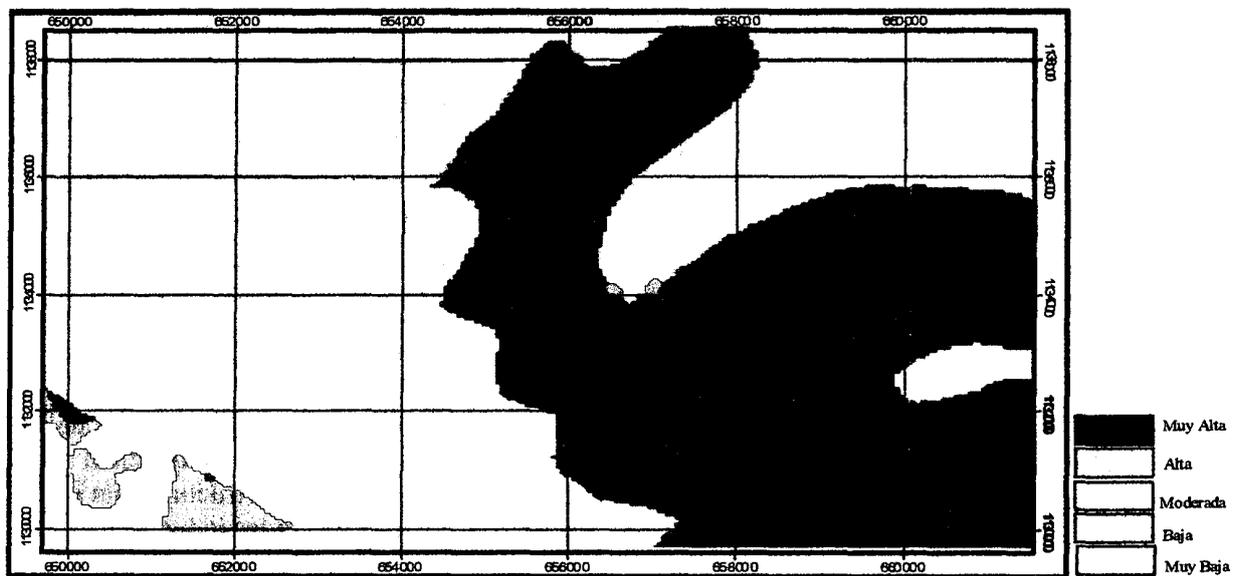


Figura 5.11 Amenaza totales en el área de estudio.