

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL
MUNICIPIO DE SANTIAGO DE TOLÚ A LA CONTAMINACIÓN POR
SANEAMIENTO IN SITU.**

**GUILLERMO GUTIÉRREZ PEÑA
JORGE ARROYO ARROYO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Julio de 2004**

**DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL
MUNICIPIO DE SANTIAGO DE TOLÚ A LA CONTAMINACIÓN POR
SANEAMIENTO IN SITU.**

**GUILLERMO GUTIÉRREZ PEÑA
JORGE ARROYO ARROYO**

Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil.

**DIRECTOR
GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

Julio de 2004

Nota de Aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Sincelejo, Julio de 2004.

DEDICATORIA

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo.”

A mí Señor Jesucristo por darme las fuerzas,
A Jheiny y Jhael, esposa e hija, por su cariño, amor y estar a mi lado;
A mi Papá, Mamá y hermanos por su comprensión y apoyo,
A todos muchas gracias,
Que el Señor les Bendiga.

GUILLERMO JOSÉ

A Dios por estar a mi lado siempre,
A mi Papá, mamá y hermanos por su comprensión y apoyo,
A todos muchas gracias,
Que el Señor les Bendiga.

JORGE ALBERTO

AGRADECIMIENTOS

A la Alcaldía de Tolú, a través de la Secretaría de Planeación, por su apoyo logístico y disposición para colaborar con el desarrollo del proyecto.

A Guillermo Gutiérrez Ribón, DIRECTOR DE PROYECTO, por toda la colaboración y consejos para la culminación satisfactoria del presente proyecto.

A CARSUCRE, por la información suministrada a lo largo de la realización del proyecto.

A Uriel Millán, DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, quien siempre apoyo el proyecto.

A la comunidad de Santiago de Tolú, por su colaboración en el suministro de información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Al Arquitecto, JAIME HERNÁNDEZ, quien incondicionalmente aportó valiosa información del área de estudio.

Al Ingeniero Químico, OSVALDO FLOREZ CAMARGO, quien colaboro incondicionalmente con el desarrollo de este proyecto.

A quienes de una u otra forma colaboraron con valiosa información para el desarrollo del presente proyecto, haciendo de este un elemento de que servirá como regulador de las zonas de protección del Municipio de Santiago de Tolú.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17
1. ESTADO DEL ARTE.....	20
1.1 GENERALIDADES.....	20
1.1.1 Ubicación.....	20
1.1.2 Demografía.....	20
1.1.3 Climatología.....	21
1.1.4 Suelos.....	22
1.1.5 Hidrogeología Y Hidroquímica.....	24
1.2 IMPORTANCIA DE LA VULNERABILIDAD DE UN ACUÍFERO.....	26
1.3 FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	28
1.3.1 Distribución de aguas subterráneas y transporte de contaminantes	28
1.3.2 Concepto de riesgo de contaminación de aguas subterráneas.....	29
1.3.3 Importancia de la zona no saturada.....	31
1.4 PRINCIPALES ACTIVIDADES QUE CAUSAN CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	34
1.4.1 Conceptos generales.....	34
1.4.2 Saneamiento sin alcantarillado.....	36
1.4.3 OTRAS ACTIVIDADES URBANAS E INDUSTRIALES.....	38
1.4.4 ACCIDENTES AMBIENTALES.....	38
1.4.5 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS DE CULTIVO.....	39
1.5 LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.....	41
1.5.1 DEFINICIONES.....	41
1.5.2 CLASIFICACIÓN.....	42
1.5.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	44
1.5.4 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.....	45

1.5.4.1 METODOLOGÍA DRASTIC.....	46
1.5.4.1.1 Factor D (profundidad):	48
1.5.4.1.2 Factor R (recarga neta):	49
1.5.4.1.3 Factor A (medio del acuífero):	49
1.5.4.1.4 Factor S (medio del suelo):	50
1.5.4.1.5 Factor T (topografía):.....	51
1.5.4.1.6 Factor I (zona vadosa):.....	51
1.5.4.1.7 Factor C (Conductividad):.....	52
1.5.4.2 MÉTODO GOD'S MODIFICADO.....	57
2. METODOLOGÍA.....	61
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA GENERAL.....	61
2.2 BALANCE HÍDRICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL ACUÍFERO GOLFO DE MORROSQUILLO.....	62
2.3 CONTAMINACIÓN POR LIXIVIACIÓN PROCEDENTE DEL SANEAMIENTO IN SITU.....	62
2.4 DETERMINACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN POR SANEAMIENTO IN SITU.	63
2.5 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.....	63
2.6 DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN.	64
3. RESULTADOS.....	65
3.1 INVENTARIO DE POZOS.....	65
3.2 INVENTARIO DE CONTAMINANTES Y ACTIVIDADES GENERADORAS DE CONTAMINACIÓN.....	69
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE.....	70
3.3.1 Disposición de vertidos in situ	70
3.3.2 PELIGRO POTENCIAL	71
3.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR EL MÉTODO DRASTIC.....	74
3.4.1 Profundidad del agua	74
3.4.2 Recarga Neta	74

3.4.3 Tipo de acuífero	74
3.4.4 Tipo de suelo	75
3.4.4.1 Asociación Santa Lucia	75
3.4.4.2 Asociación Estanzuela	75
3.4.4.3 Asociación La Granja	76
3.4.4.4 Asociación Pichilin.....	76
3.4.5 Pendiente	76
3.4.6 Impacto en la zona no saturada	76
3.4.7 Conductividad Hidráulica.....	77
3.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR EL MÉTODO GOD'S MODIFICADO.	80
3.5.1 CLASIFICACIÓN TEXTURAL DEL SUELO	80
3.5.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN LA PROFUNDIDAD EFECTIVA.....	80
3.5.3 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	81
3.6 DETERMINACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL EN LAS ZONAS DE VULNERABILIDAD	82
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	84
4.1 Planteamiento Cuantitativo Simple para Predecir La Vulnerabilidad Del Acuífero Golfo Morrosquillo En El Área De Estudio.	84
4.2 Predicción del Impacto Ambiental en el Entorno Afectado. Impactos a Micro-Escala.....	84
4.3 METODOLOGÍA DRASTIC	85
4.3.1 Asociación Santa Lucia	85
4.3.2 Asociación Estanzuela	86
4.3.3 Asociación La Granja	87
4.3.4 Asociación Pichilin.....	88
4.4 METODOLOGÍA GOD'S MODIFICADO.....	88
4.4.1 Asociación Santa Lucia	89

4.4.2 Asociación Estanzuela – La Granja – Pichilin.	89
4.5 DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	90
4.5.1 ZONA DE MODERADO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN	91
4.5.1.1 Sub-Zona 1. riesgo alto-vulnerabilidad moderada.....	91
4.5.1.2 Sub-Zona 2. riesgo moderado-vulnerabilidad baja.....	92
4.5.2 ZONA DE BAJO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN	92
4.5.2.1 Sub-zona 3. riesgo alto-vulnerabilidad baja.....	92
4.5.3 ZONA DE MUY BAJO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN	93
CONCLUSIONES	95
De las metodologías utilizadas para la determinación de la vulnerabilidad	95
De los resultados de vulnerabilidad en el área de estudio.	96
RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS.....	103

LISTA DE TABLAS.

TABLA 1. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES QUE POTENCIALMENTE GENERAN UNA CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO. Tomado de pulido, 1999.....	35
TABLA 2. PRINCIPALES MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD. Tomado de HIDRORED. Metodologías para Determinar la Vulnerabilidad.....	46
TABLA 3. PESOS ASIGNADOS A LOS DISTINTOS FACTORES. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.	48
TABLA 4. GRADOS DE VULNERABILIDAD. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.	48
TABLA 5. PUNTAJES UTILIZADOS PARA LA PROFUNDIDAD. Tomado de Canter, 1998.	49
TABLA 6. RANGOS Y PUNTAJES PARA LA RECARGA NETA. Tomado de Canter, 1998.	50
TABLA 7. RANGOS DEL MEDIO ACUÍFERO. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.	50
TABLA 8. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<SUELO>> EN EL MODELO DRASTIC. Tomado de Canter, 1998.	51
TABLA 9. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<TOPOGRAFÍA>> EN EL MODELO DRASTIC. Tomado de Canter, 1998.	51
TABLA 10. RANGO DE IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA. Tomado de HIDRORED. Metodología Drastic.	52
TABLA 11. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA>> EN EL MODELO DRASTIC. TOMADO DE CANTER, 1998.....	53
TABLA 12. INVENTARIO DE POZOS EN EL ÁREA URBANA Y EN EL CAMPO DE ABASTECIMIENTO DE SANTIAGO DE TOLÚ 1997 – 2004. Tomado de Herrera y Puentes, 1997 y Gutiérrez Ribón, 2004.	68

TABLA 13. INVENTARIO DE CONTAMINANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. Obtenidos de observación en campo y Tablas del SISBEN 69	
TABLA 14. INVENTARIO DE SISTEMAS SANITARIOS DEL ÁREA URBANA SEGÚN SISBEN 2004.	71
TABLA 15. CATEGORÍA DEL PELIGRO POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEBIDO AL SANEAMIENTO IN SITU. Tomado de Cepis, 1991.	72
TABLA 16. CATEGORÍA DE PELIGRO POTENCIAL POR BARRIOS.....	73
TABLA 17. DATOS DE CADA FACTOR POR ACUÍFERO EN CADA ASOCIACIÓN.	78
TABLA 18. RESULTADOS DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR ASOCIACIÓN SEGÚN METODOLOGÍA DRASTIC.	79
TABLA 19. CLASIFICACIÓN TEXTURAL POR ASOCIACIÓN DE SUELOS. Tomado de Mapa General de Sucre.....	80
TABLA 20. RANGOS DE PROFUNDIDAD EFECTIVA. Tomado de División Agrológica del IGAC.	81
TABLA 21. RANGO DE CLASIFICACIÓN DE PROFUNDIDAD EFECTIVA PARA ASOCIACIONES DE SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	81
TABLA 22. GRADO DE VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO GOD'S MODIFICADO.....	82
TABLA 23. ÁREA DE CADA BARRIO SOBRE ZONAS DE VULNERABILIDAD EN AL ÁREA DE ESTUDIO CON SU RESPECTIVO RIESGO DE CONTAMINACIÓN.	83
TABLA 24. PONDERACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO.	88

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. Tomado De Características Geográficas De Sucre.....	21
FIGURA 2. PROCESOS QUE PRODUCEN ATENUACIÓN DE CONTAMINANTES EN LOS SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.	29
FIGURA 3. ESQUEMA CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE RECURSOS Y ABASTECIMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.....	31
FIGURA 4. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA SIMPLIFICADA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS EN TÉRMINOS DE RIESGO RELATIVO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.	33
FIGURA 5. ESQUEMA TEÓRICO DE INTERACCIÓN ENTRE LOS COMPONENTES DE LA CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO Y VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO PARA DETERMINAR EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN. Tomado de Cepis, 1991.	40
FIGURA 6. ESCALAS Y VALORACIONES PARA EL MEDIO ACUÍFERO. Tomado de Canter, 1998.....	54
FIGURA 7. ESCALAS Y VALORE PARA LA ZONA VADOSA. Tomado de Canter, 1998.....	55
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MÉTODO DRASTIC. Tomado de Metodologías para determinar la vulnerabilidad.	56
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MÉTODO GOD'S. Tomado de Metodologías para la determinación de la Vulnerabilidad. .	59
FIGURA 10. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO. Tomado de Cepis, 1991.	60
FIGURA 11. PORCENTAJES DE SISTEMAS SANITARIOS. Realizada a partir de tablas de SISBEN.....	70

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DIVERSOS SUELOS DE COLOMBIA	103
ANEXO 2. MAPA DE ASOCIACIONES DE SUELO.....	104
ANEXO 3. MAPA HIDROGEOLOGÍCO DEL GOLFO DE MORROSQUILLO	105
ANEXO 4. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE BARRIOS.....	106
ANEXO 5. LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN. ..	107
ANEXO 6. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE PELIGRO POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN.	108
ANEXO 7. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN DRASTIC.	109
ANEXO 8. MAPA DE ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN GOD'S.	110
ANEXO 9. MAPA DE SUPERPOSICIÓN PELIGRO POTENCIAL Vs. ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN DRASTIC.....	111
ANEXO 10. MAPA DE SUPERPOSICIÓN PELIGRO POTENCIAL Vs. ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN GOD'S.....	112
ANEXO 11. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO A LA CONTAMINACIÓN POR SANEAMIENTO IN SITU.....	113
ANEXO 12. FOTOGRAFÍAS DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	114
12.1 POZO ABANDONADO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO, LOCALIZADO EN LA FINCA PALO HUECO.....	114
12.2 POZO ABANDONADO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO LOCALIZADO EN LA FINCA TRES PALMA.....	114
12.3 DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS SOBRE TERRENO NATURAL.....	115
12.4 ESTACIÓN DE SERVICIOS (GASOLINERA Y LAVADO DE AUTOS	116
12.5 LAGUNA DE OXIDACIÓN	116
12.6 SISTEMA DE LETRINA UBICADO EN EL BARRIO SAN FELIPE.	117
12.7 LETRINA USADA EN EL BARRIO EL SANTUARIO ZONA PERIFÉRICA	

DEL MUNICIPIO.....	118
12.8 POZA SÉPTICA CON DERRAME Y CON FISURAS. BARRIO EL EDÉN.....	118
12.9 BARRIO LUIS CARLOS GALÁN.	119
12.10 DETALLE DE LA FOTOGRAFÍA ANTERIOR.....	119
12.11 BASURERO A CIELO ABIERTO CONTIGUO A LA LAGUNA DE OXIDACIÓN.....	120
12.12 ATRÁS LAGUNAS DE OXIDACIÓN Y MÁRGENES DEL BASURERO A CIELO ABIERTO.....	120

RESUMEN

Debido a la creciente expansión de los centros urbanos colombianos y a la necesidad de proteger el entorno natural en el cual se desarrollan, se han establecido programas, planes y proyectos encaminados a un desarrollo sostenible. Dentro de este contexto se enmarca el siguiente proyecto, en el cual se establece el grado de susceptibilidad del medio acuífero y el peligro potencial que representan las actividades de Saneamiento In Situ derivadas del acelerado desarrollo urbano que presenta el municipio Santiago de Tolú y a la identificación de posibles fuentes de contaminación dentro de la misma que afecten la sostenibilidad del recurso hídrico.

Este proyecto fue desarrollado en un lapso de 7 meses de investigación de campo y recolección de información en el área de estudio, la cual se encuentra sobre un acuífero compuesto por tres capas acuíferas, con calidades de agua de regular a mala, siendo esta la única fuente de abastecimiento para el consumo humano y doméstico, y conforma el principal centro turístico del departamento de Sucre; toda esta información fue necesaria para la aplicación de las metodologías DRASTIC Y GOD'S Modificado.

Al final de la valoración se estableció un mapa de zonificación del riesgo de contaminación por implementación de Saneamiento In Situ dentro del área urbana de Santiago de Tolú orientado a la formulación y ejecución de un plan de manejo del acuífero encaminado a la protección y al uso adecuado de las zonas que se encuentran sobre el área del acuífero que garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.

PALABRAS CLAVE: Vulnerabilidad, Riesgo, Acuífero

ABSTRACT

Due to the growing expansion of the Colombian urban centers and to the necessity of protecting the natural environment in which are developed, programs, plans and projects guided to a sustainable development have settled down. Inside this context the following project is framed, in which the degree of susceptibility of the aquifer means and the potential danger that represent the activities of Drainage In Situ derived of the quick urban development that presents the municipality Santiago de Tolú settles down and to the identification of possible sources of contamination inside the same one that you/they affect the defensible of the resource hidryc.

This project was developed in a lapse of 7 months of field investigation and gathering of information in the study area, which is on a compound aquifer for three aquifer layers, with qualities of water of regulating to bad, being this the only source of supply for the human consumption and I tame, and it conforms the main tourist center of the department of Sucre; all this information was necessary for the application of the methodologies DRASTIC AND Modified GOD'S.

At the end of the valuation a map of stratification of the risk of contamination settled down for implementation of Drainage In Situ inside the urban area of Santiago de Tolú guided to the formulation and execution of a plan of handling of the aquifer guided to the protection and the appropriate use of the areas that are on the area of the aquifer that you/they guarantee the defensible of the resource underground hidryc.

WORDS KEY: Vulnerability, Risk, Groundwater

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional desmedido al que han estado expuestos los centros urbanos, acompañado de una cultura de abuso y mal uso de los recursos han llevado a re-evaluar los métodos tradicionales de explotación y aprovechamiento de los mismos, y las actividades relacionadas con el aseguramiento de su sostenibilidad, principalmente el agua, elemento generador de vida, sociedades y desarrollo.

En el marco de esta problemática, a nivel nacional, departamental y municipal, se han implementado diversas estrategias tendientes a establecer un uso sostenible del recurso hídrico, bien por un uso racional, prevención de la contaminación o planes integrados de protección. La aplicación de lo anterior es de vital importancia en cualquier zona donde se necesite garantizar la sostenibilidad del recurso, pero qué tan relevante o prioritario sea depende de las condiciones propias de cada zona y del contexto socio – cultural dentro del cual se encuentra enmarcado.

Por tanto, el desarrollo de herramientas y el establecimiento de estrategias tendientes a valorar, proteger y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector Golfo de Morrosquillo en el área urbana de Santiago de Tolú por ser puerto turístico, poseer zona saturada cercana a la superficie y un hábito tradicionalista de saneamiento in situ, hace altamente prioritario el establecimiento de herramientas que permitan establecer el riesgo que representa esta actividad para el acuífero y las áreas más vulnerables a la contaminación por el desarrollo de la misma, que permitan a las autoridades territoriales y demás entes participes en esta problemática desarrollar planes y programas para prevenir futuras posibles afectaciones en el recurso hídrico del área de estudio.

Con el desconocimiento de la Vulnerabilidad que posee el Acuífero específicamente en el área urbana de Santiago de Tolú, ante los diferentes contaminantes, naturales ó antropogénicos, producto de la industria en general, los desechos provenientes de la población, flujos sub-superficiales de aguas negras en estado de descomposición que existen sobre la zona no saturada y en las capas acuíferas de la zona de estudio, se ha originado una problemática por no tener medidas preventivas y correctoras ante una posible contaminación del acuífero por diferentes agentes, que se manifiesta a través de la aparición y propagación en la población municipal de enfermedades de tipo gastrointestinales que puedan causar la muerte en los más indefensos, la población infantil. Esta problemática esta caracterizada por la falta de identificación de los contaminantes que afectan el acuífero en este sector, no tener una localización referenciada de los focos de las actividades contaminantes, posible Intensidad y riesgo de contaminación en que esta el acuífero, dando como resultado que se tenga un desconocimiento de cuan vulnerable y el grado de contaminación, eventual, de las aguas del acuífero.

Contribuyendo al ordenamiento integral del recurso hídrico subterráneo en el Golfo de Morrosquillo con la determinación de la Vulnerabilidad específica del acuífero por la lixiviación contaminante desde los puntos de saneamiento in situ, en el área urbana del Municipio de Santiago de Tolú, se espera que se fundamenten las medidas preventivas y correctoras que contribuyan a mejorar la situación en la que se encuentra actualmente el acuífero. Ante esta situación surge la siguiente interrogante, ¿Constituye la lixiviación de las aguas negras desde la superficie hasta el acuífero, freático y confinado, un riesgo de contaminación suficientemente alto para que sea vulnerado el estado natural de la calidad de las aguas subterráneas del Municipio, con las catastróficas consecuencias de orden sanitario, social, económico y ambiental?

Para llevar a cabo el proyecto y la solución del objetivo propuesto, es necesario llevar a cabo entre otras las siguientes actividades:

- Recolectar y clasificar, y/o construir información general y específica Cartográfica, Edafológica, Hidrológicas, Topográfica, Freatométrica, Geotécnica, Geológica, Hidro-química e Hidráulica.
- Inventario y clasificación de las fuentes de contaminación potenciales de acuífero.
- Determinar y ubicar el número de letrinas y pozas sépticas de cada barrio.
- Construir los mapas de riesgo de contaminación y de niveles de vulnerabilidad en el área de estudio.
- Comparar por suposición los mapas resultantes de cada una de las metodologías a emplear.
- Determinar las zonas de vulnerabilidad y clasificarlas según los parámetros de cada metodología.
- Establecer recomendaciones hacia un plan de manejo del acuífero que propicie su protección y su explotación de modo sostenible.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 GENERALIDADES.

1.1.1 UBICACIÓN.

El municipio de Santiago de Tolú ubicado en el departamento de Sucre, se encuentra al Nororiente, en el golfo del Morrosquillo, a orillas del mar caribe colombiano.

El municipio esta localizado a 9° 32' Latitud Norte, 9° 15' Latitud Sur y a 75° 35' Longitud Oeste de Greenwich. Su altitud media es de 3 m.s.n.m dista a 40 Km. De la capital del departamento, Sincelejo (CARSUCRE – 1998).

1.1.2 DEMOGRAFÍA.

Según el censo de 1993 la población urbana fue de 20432 habitantes, que proyectados con una tasa de crecimiento del 2.41 y 2.6 % (DANE – 1993 y 2001 respectivamente) a 2004 se tiene que la población urbana actual es de 26850 habitantes. Por ser un municipio turístico se hace necesario tener en cuenta la población flotante que aproximadamente corresponde al 40% de la población, de acuerdo con el censo de 1993, obteniendo así una población en temporada turística de 36900 habitantes aproximadamente. (IGAC 2003).

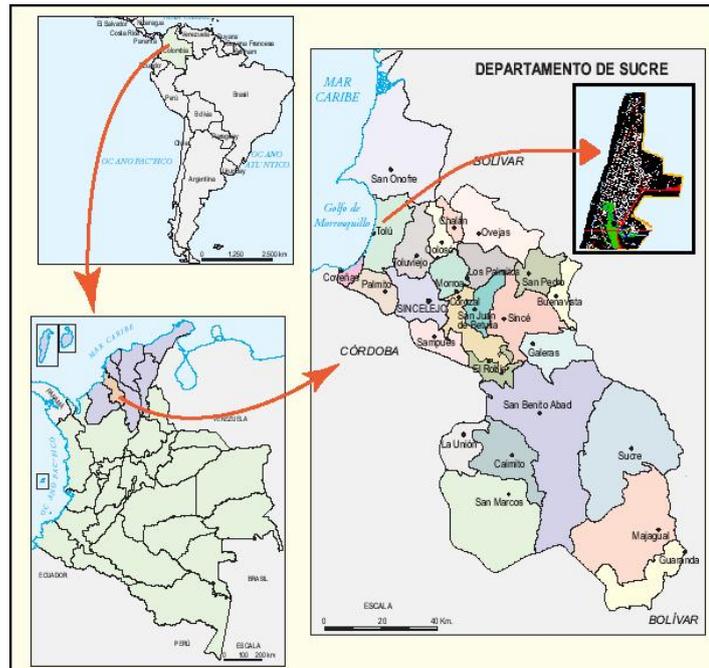


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. Tomado De Características Geográficas De Sucre

1.1.3 CLIMATOLOGÍA.

El clima es típicamente tropical con influencia de los vientos alisios del Noreste, determinando variaciones de humedad relativa y precipitaciones. Las precipitaciones se presentan de abril a diciembre y el periodo seco de diciembre a comienzos de abril. La temperatura promedio de la zona es de 28° C. (CARSUCRE – 1998). Existe una estación pluviométrica, ubicada en el área urbana desde 1959. Por medio de la cual se obtuvo que la precipitación anual promedio es de 1407 mm, siendo el mes más seco febrero y el mes más lluvioso octubre, en donde precipita el 20% aproximadamente del total anual, aunque las condiciones actuales del clima varían constantemente. De igual forma se tiene que la evaporación promedio, es de 171 mm en el mes de febrero. (IDEAM – 1997)

1.1.4 SUELOS.

El suelo es una serie de capas de material meteorizado y muy poco consolidado ó cementado, que reposa encima de las rocas frescas. Los suelos pueden ser residuales ó transportados, dependiendo de si su desarrollo se efectúa a partir de las rocas que se encuentran debajo de ellos o sí lo hacen a partir de materiales traídos o transportados de otros lugares, bien sea por aguas, vientos ó glaciares. El anexo 1 (Mapa Diversos Suelos Existentes en Colombia), ubicado en el anexo A, elaborado por el IGAC (INGEOMINAS, 2001), expresa que los suelos de la sub-región Golfo de Morrosquillo en el departamento de Sucre, son suelos de las formas aluviales y/o lacustres, identificados con el símbolo Ac, pertinente a suelos localizados en climas secos y húmedos, ocupando terrazas, diques, vegas y planicies fluvio lacustres, para el área del municipio de Santiago de Tolú que comprende el área del estudio presente, según Romero Martínez en Carsucre, 1998, se tienen: suelos de drenaje deficiente, generalmente pesados, ocupados por los cuerpos de aguas superficiales; son inundables en el periodo de lluvias y se encuentran localizados a lo largo de una franja paralela al mar, es decir, en la zona costera. Y los suelos Aluviales bien drenados, caracterizados por ser suelos livianos y medianos; se extienden en pequeñas franjas a lo largo de los causes de los principales arroyos como el arroyo Grande, Verde, Escobolito, Guaní y Pichilin; éstos dos últimos límites del área de estudio. Igualmente, ITC – INGEOMINAS, 1999, los suelos desarrollados en playas, marismas y barreras marinas, en términos específicos y en correspondencia con la unidad geomorfológica dominante en el sector del área de estudio son: **Llanura Aluvial – asociación Estanzuela (ETa)**, es un suelo arcilloso o franco arcilloso. Superficial a moderadamente profundo; la profundidad efectiva está limitada por el nivel freático fluctuante y arcillas compactadas. Se ubica en terrenos con pendientes menores al 3%. En sectores puntuales presenta erosión laminar

ligera, grietas de 1 a 2 centímetros de ancho, y de más de 1 metro de profundidad durante el verano. Es un suelo ácido a muy ácido, con pH entre 5,6 a 4,7. **Asociación La Granja (GAa)**. Esta unidad se encuentra al norte y al sur del municipio de Tolú, siguiendo la franja costera, en terrenos con pendientes de 0 – 3%. Son suelos muy superficiales, derivados de sedimentos arenosos; la profundidad efectiva está delimitada por el nivel freático alto y por los altos contenidos de sales. El drenaje es pobre a imperfecto y generalmente la superficie se cubre con una costra de materiales salino. Esta área explotada con plantas resistentes a la salinidad, tales como cocoteros, maíz, robles y algunos pastos naturales. Morfológicamente el perfil presenta una secuencia de horizontes A – B – C, de texturas franco arenosas, que descansan sobre estratos profundos de texturas francas. Son suelos grises y pardos, caracterizándose una oxidación y gleización, especialmente en los estratos más profundos del perfil. **Asociación Santa Lucía (SLa)**. Corresponde a las zonas mejor drenadas de la planicie marina, en el área de estudio está localizada al norte y sur oriente del Municipio de Tolú. El relieve es plano a plano convexo y la pendiente dominante varía desde 0 hasta 7%. Son suelos franco arcillosos, profundos, de drenaje natural moderado a bien drenado; dedicados a la agricultura y a la ganadería. Los principales factores que han influido en la formación de estos suelos son material parental y microorganismos; el proceso más marcado es la acumulación o ganancia de materiales orgánicos, arenosos y arcillosos procedentes de las unidades vecinas. **Asociación Pichilin (PSa)**. Se localiza en las medias y altas de los valles fluvio-marinos, principal mente la del arroyo Pichilin. Son suelos superficiales, la profundidad efectiva está limitada por arcillas compactas, fluctuaciones del nivel freático, alto contenido de sales, presencia de Plintita y aluminio intercambiable. Presenta drenaje natural imperfecto a pobre. En su mayoría se encuentra en ganadería extensiva con pasto admirable y guineo. Pendientes de 0 a 3%. **Llanura de Manglar y Llanura Mareal – conjunto La**

Playa (LPa): estos suelos se presentan en relieve plano a ligeramente plano con pendientes de 0 a 3%. Son superficiales, cuyo material parental esta constituido por arenas gruesas de origen marino, imperfectamente drenados, por lo cual son susceptibles a inundaciones y a procesos de erosión eólica. No tienen horizontes debido a su poca evolución y están afectados por sales hasta 1 metro de profundidad. El pH tiene valores entre 7,5 y 8,5. La ubicación de estos suelos se aprecia en el Mapa Asociaciones de Suelo ubicado en el anexo 2.

1.1.5 HIDROGEOLOGÍA Y HIDROQUÍMICA.

Los materiales geológicos que afloran mucho en la zona de estudio corresponden a sedimentos cuaternarios típicos de ambientes costeros (IGAC – 1983), partiendo de lo anterior y según investigaciones realizadas por el ingeniero geólogo Héctor Herrera (1997), se puede identificar la existencia de 3 tipos de acuíferos así:

Acuífero A, es un acuífero libre que se encuentra hasta los 15 metros de profundidad constituido de arena de playa, de finas a gruesas, y por gravas finas con clastos de Chert, jaspe, cuarzo y conchas calcáreas. Es explotado en la zona por mas de 30 pozos artesanos con uso domestico, turístico y agropecuario. El agua de este acuífero es salobre.

Acuífero B, es de tipo semi-confinado, tiene un espesor promedio de 38 metros y esta constituido por arenas gruesas y gravas finas con clastos de Chert, cuarzo y jaspe. Es el acuífero mas explotado en la zona y hasta 1998 abastecía 45 pozos profundos. (CARSUCRE – 1998). El agua es de calidad variable, se encuentran aguas duras con altos contenidos de calcio y valores tolerables de cloruros (50 – 150 ppm) en la parte oriental y central; en la

franja costera la dureza sobrepasa las 150 ppm.

Acuífero C, es de tipo confinado y se encuentra a profundidades entre 70 y 87 metros; la calidad del agua tiene características similares a las del acuífero B.

Díaz Granados y Huguett G. A. en el Resumen del Estudio Hidrogeológico de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo, el cual abarca la Investigación Geoeléctrica realizada a través de 255 SEV, en el área aproximada de 300 Km². Con los resultados de estos sondeos y en conjunto con la geología fue elaborado un modelo geoeléctrico generalizado del litoral del Golfo, del cual se dedujeron cinco tipos básicos de curvas geoeléctricas, las cuales concluyeron y señalan que los sedimentos recientes del área presentan resistividades entre 10 y 20 Ohm-m. Permitiendo determinar que el agua tienen un alto contenido de S.D.T, especialmente bicarbonatos y cloruros, siendo comunes los valores de resistividad para aguas que se consideran dulces, entre 12 Ohm-m (83 mS/m) y 30 Ohm-m (33 mS/m) para aguas consideradas salobres entre 3 Ohm-m (300 mS/m) y 10 phm-m (100 mS/m) y para aguas saladas, valores menores de 3 Ohm-m (300 mS/m). Herrera P. y Puentes C., en su estudio para determinar contaminación salina en el acuífero de Tolú (Unisucre, 1997), en el aspecto hidroquímico, estos autores estudian por separado la calidad del agua del campo de pozos del sistema de Acueducto Municipal de Santiago de Tolú de la calidad del agua captada, particularmente, en la zona urbana de ese Municipio. La valoración de la calidad del agua se hizo a través de la medición y/o determinación de los parámetros color real, turbiedad, pH, dureza total, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, SO₄, CO₃, CO₃H⁻, Na⁺, K⁺, y Salinidad. Con base en los resultados obtenidos elaboraron mapas hidrogeoquímicos, diagramas hidroquímicos como los triangulares de Piper y logarítmicos de Schoeller-Berkaloff. Como conclusión central, los investigadores afirman que la intensa explotación del campo de pozos ha

incidido directamente en la penetración de la intrusión marina, debido a las altas cargas obtenidas de los estudios de agua, es asó como los registros históricos (puntuales) de la valoración físico-química de esas aguas muestran un aumento paulatino en la contaminación salina desde 1993 hasta el año de medición 1997. Específicamente, concluyen que la intrusión avanzó 1700 metros, en ese período de tiempo, a una tasa promedio de 54 m/año. El mapa Hidrogeológico del Golfo de Morrosquillo se visualiza en el anexo 3.

1.2 IMPORTANCIA DE LA VULNERABILIDAD DE UN ACUÍFERO

No existen datos completos y exactos acerca de la proporción de los abastecimientos de agua municipal y domestica que proviene del recurso hídrico subterráneo, ni existe información confiable sobre la proporción de todos los abastecimientos de agua para cualquier propósito, derivados de este mismo origen. Así, para ilustrar el rol clave que juegan las aguas subterráneas en el abastecimiento de agua potable en América Latina y en el Caribe se presentan varios ejemplos específicos acerca de la vulnerabilidad que puede tener un determinado acuífero.

En Chile, las aguas subterráneas representan una importante fuente de suministro de agua potable para las diversas localidades tanto urbanas como rurales. En efecto, aproximadamente el 77% del agua utilizada por los servicios de agua potable rural proviene de esta fuente, mientras que para el caso del abastecimiento urbano esta cifra alcanza un 40% a nivel nacional. Lo anterior muestra la importancia de preservar las fuentes de abastecimiento subterráneo y tomar conciencia del potencial de contaminación de cada una de ellas.

Generalmente el riesgo potencial de contaminación de un acuífero se estima

en un proceso secuencial que abarca la caracterización de los sistemas acuíferos relevantes, seguido por un análisis de vulnerabilidad de éstos, lo que finalmente se utiliza para evaluar el riesgo asociado al desarrollo de actividades de distinto tipo a nivel de la zona superficial. (Espinoza 2002.)

El CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente, a través de su programa regional de prevención y control de la contaminación de aguas subterráneas, diseñó un plan a mediano plazo, para que desde el año de 1990, varios países de la región, hubiesen iniciado programas nacionales de control de contaminación de las aguas subterráneas, respaldados por procedimientos adecuados para la identificación del riesgo de contaminación y con políticas apropiadas para el control selectivo de la disposición de efluentes y las prácticas de uso del suelo.

En Colombia, a partir del año 1998, se dio inicio al Plan De Protección Integral De Las Aguas Subterráneas (PPIAS), coordinado por INGEOMINAS con el auspicio de la OIEA, el Ministerio y el IDEAM y en vía de implementación por las Corporaciones Regionales del Medio Ambiente.

En vista de la importancia de los abastecimientos de agua subterránea se podría pensar que la protección de acuíferos para prevenir el deterioro de la calidad de agua debería haber recibido ya una atención detallada, particularmente, dentro y alrededor de las áreas urbanas socio-económicamente significativas en cada región y/o sub-región. Por esta razón uno de los elementos claves del PPIAS es la identificación de las cargas contaminantes que llegan a las aguas subterráneas afectando su potabilidad.

1.3 FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

1.3.1 DISTRIBUCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

Los perfiles naturales del suelo atenúan activamente muchos, aunque no todos, los contaminantes del agua. Estos han sido reconocidos por mucho tiempo como un sistema potencialmente efectivo para la disposición segura de excretas humanas y aguas residuales domésticas. En menor grado, los procesos de atenuación continúan a mayor profundidad, especialmente donde hay sedimentos no consolidados. Adicionalmente, la dispersión hidrodinámica que acompaña al flujo de aguas subterráneas resulta en dilución de los contaminantes persistentes y móviles, especialmente en la zona saturada de los acuíferos (Figura 2). Habrá mezcla y más dilución en pozos de producción ya que, por lo general, éstos interceptan o inducen flujo de agua subterránea a varias profundidades y direcciones, y no todos ellos estarán contaminados. El grosor de la línea indica típicamente la importancia relativa del proceso en el suelo, sobre, dentro y debajo del nivel freático. Sin embargo, no todos los perfiles de los suelos ni las condiciones hidrogeológicas son igualmente efectivos para atenuar los contaminantes. Más aún, el grado de atenuación variará ampliamente en una condición dada, según los tipos y la disposición de contaminantes.

La preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas se relaciona principalmente a los llamados acuíferos no confinados o freáticos, sobre todo en los lugares donde la zona no saturada es delgada y el nivel freático es poco profundo. También pueden existir importantes riesgos de contaminación, incluso donde los acuíferos son semi-confinados, si los

acuíferos superficiales son relativamente delgados y/o permeables. Por lo general, los abastecimientos de aguas subterráneas derivados de acuíferos más profundos y altamente confinados, no serán afectados por contaminación desde la superficie del suelo, salvo por los contaminantes más persistentes, y a muy largo plazo. (CEPIS, 1987)

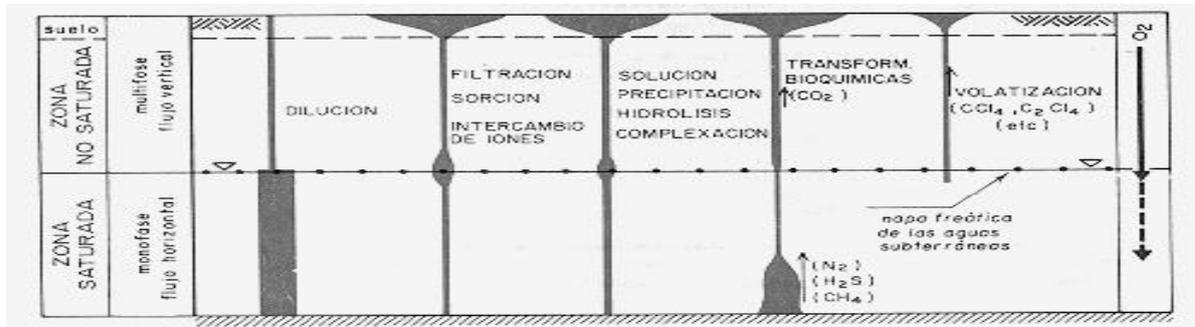


FIGURA 2. PROCESOS QUE PRODUCEN ATENUACIÓN DE CONTAMINANTES EN LOS SISTEMAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.

1.3.2 CONCEPTO DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La apreciación más lógica para la definición de riesgo de contaminación de aguas subterráneas es conceptualizarlo como la interacción (Figura 3) entre dos factores semi-independientes:

- La carga contaminante que es, será o podrá ser, aplicada en el subsuelo como resultado de la actividad humana.
- La vulnerabilidad natural a contaminación del acuífero.

La vulnerabilidad del acuífero es primera y lógicamente una función de:

- La inaccesibilidad a la zona saturada, en un sentido hidráulico, a la penetración de contaminantes.
- La capacidad de atenuación de los estratos (zona vadosa o no saturada) encima de la zona saturada del acuífero como resultado de

su retención física y reacción química con contaminantes.

Estos dos componentes de la vulnerabilidad del acuífero interactúan con los siguientes componentes correspondientes de la carga contaminante al subsuelo:

- El modo de disposición del contaminante en el subsuelo, y en particular, la magnitud de cualquier carga hidráulica asociada.
- La clase de contaminante en términos de su movilidad y persistencia.

Esta interacción determinará el tiempo de residencia en la zona no saturada y la demora de la llegada del contaminante al acuífero, y además, el grado de su atenuación, retención ó eliminación antes de llegar al acuífero. (Cepis, OPS, 1991).

La interacción entre la carga contaminante y la vulnerabilidad del acuífero determina el riesgo de que la contaminación llegue al acuífero, y otras consideraciones, el impacto de esta contaminación en abastecimientos de aguas subterráneas derivados del acuífero.

En vista de la complejidad de los factores que afectan la migración de los contaminantes en los sistemas de aguas subterráneas, el significado potencial de los factores hidrogeológicos detallados, y la individualidad de la situación en cada lugar, científicamente, sería más coherente evaluar la Vulnerabilidad a cada contaminante ó a cada clase de contaminante, individualmente (nutrientes, patógenos, etc), o a cada grupo de actividades contaminantes (saneamiento in situ, cultivos agrícolas, disposición de efluentes, etc), separadamente. Pero ello no es posible aún debido a que no existe todavía la información suficientes y/o datos adecuados para alcanzar éste ideal y sería muy costoso y, en la mayoría de los casos, se necesitaría,

inicialmente, un procedimiento de evaluación más simple.

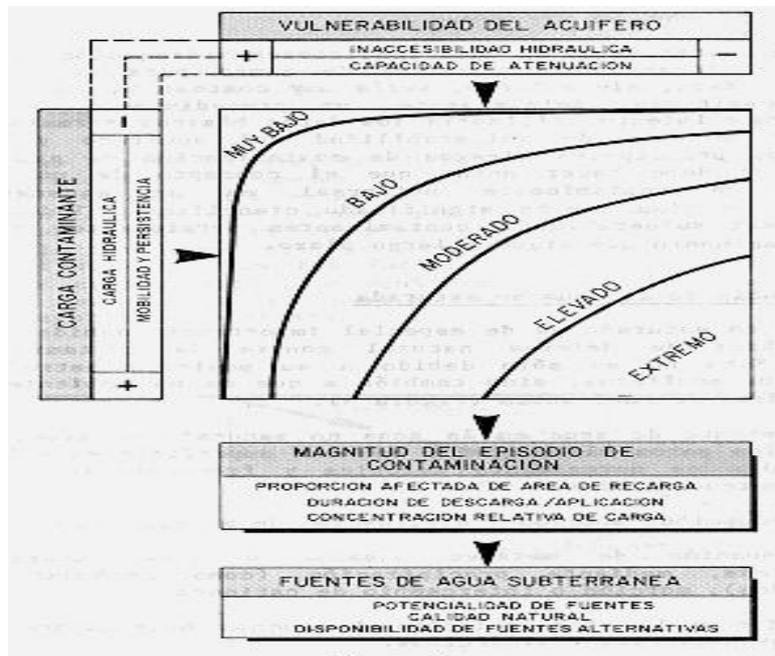


FIGURA 3. ESQUEMA CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE RECURSOS Y ABASTECIMIENTOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.

1.3.3 IMPORTANCIA DE LA ZONA NO SATURADA

La zona no saturada es de especial importancia debido a que representa la primera línea de defensa natural contra la contaminación del agua subterránea. Esto no es sólo debido a su posición estratégica entre la superficie y los acuíferos, sino también a que es un ambiente favorable para atenuar o eliminar contaminantes como se aprecia en la Figura 2.

El movimiento de agua en la zona no saturada es generalmente lento y restringido a los poros más pequeños con una superficie específica grande, la condición química es normalmente aeróbica y frecuentemente alcalina. Esto resulta en un potencial considerable para:

- (a) La intercepción, sorción y eliminación de microorganismos patógenos.
- (b) La atenuación de metales pesados y otras sustancias químicas inorgánicas, mediante precipitación (como carbonatos, sulfuros o hidróxidos), sorción o intercambio de cationes.
- (c) La sorción y la biodegradación de muchos hidrocarburos y compuestos orgánicos-naturales y sintéticos.

Por lo general, tales procesos continuarán abajo en la zona saturada de los acuíferos pero generalmente a tasas menores (Figura 2). En esta zona la reducción de las concentraciones de los contaminantes dependerá principalmente de la dilución que resulte de la dispersión hidrodinámica, lo que no es un control adecuado para contaminantes altamente tóxico. Por lo tanto, es importante que se tome en consideración la zona no saturada para la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero. Si ésta se ignora, las evaluaciones podrían ser excesivamente conservadoras. Sin embargo, el rol de la zona no saturada puede ser complejo y su capacidad para atenuar los contaminantes es difícil de predecir. Pueden ocurrir cambios marcados en el comportamiento de algunos contaminantes si la actividad contaminante cuenta con suficiente carga orgánica o ácida como para causar un cambio radical en el Eh o el pH de la zona no saturada. Además, en caso de contaminantes persistentes y móviles, la zona no saturada apenas significa un retraso en el tiempo de llegada de éstos al nivel freático, sin atenuación beneficiosa alguna, en muchos otros casos el grado de atenuación dependerá en gran medida del régimen de flujo y del tiempo de retención en la zona no saturada.

Mientras que las velocidades de flujo natural en la zona no saturada de casi todas las formaciones no exceden de 0.2 m/d a corto plazo, y menos cuando se promedian por períodos más extensos, el flujo de agua y las tasas de penetración del contaminante en formaciones fisuradas pueden ser de más

de un orden de magnitud mayores, en la presencia de una sobrecarga hidráulica artificial. Por lo tanto, el carácter litológico, y especialmente el grado de consolidación y fisuración son los factores claves en la evaluación de la vulnerabilidad de contaminación de acuíferos (Figura 4), especialmente en relación con la vulnerabilidad comparativa de contaminación microbiana, biodegradable y mayormente retardada.

La zona biológicamente activa del suelo forma, en efecto, la parte más alta de la zona no saturada. Muchos de los procesos que causan la eliminación y atenuación de contaminantes ocurren a tasas más altas en esta zona (Figura 2), como resultado de su contenido mineral orgánico y de arcilla más alto, y una población bacteriana mucho mayor. En muchas fuentes de contaminación puntual, sin embargo, la carga contaminante es aplicada debajo del suelo, en la base de excavaciones tales como fosos, zanjas, lagunas, filtraciones y canteras. Por lo tanto, la capacidad de atenuación de la zona no contribuye a la reducción de la vulnerabilidad total del acuífero. La posición es diferente para la mayoría de fuentes de contaminación difusa. (CEPIS, 1987)

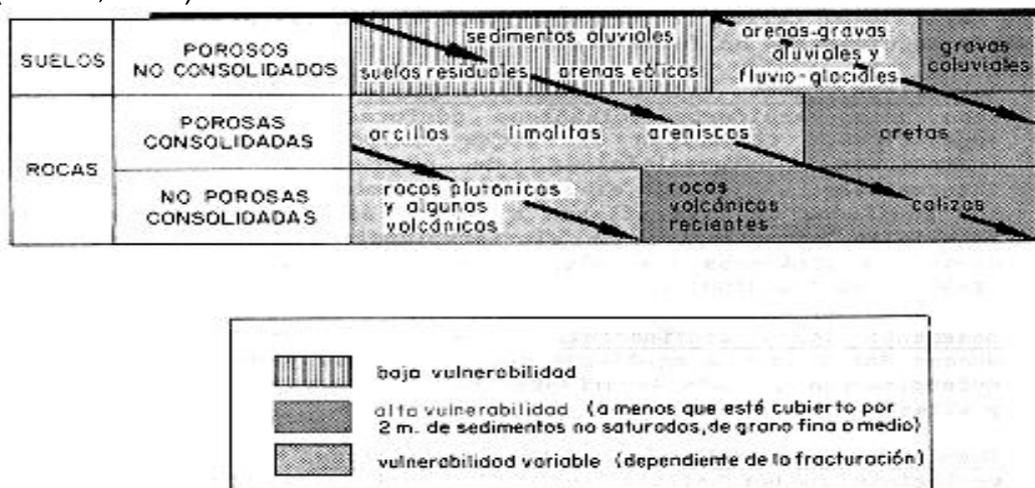


FIGURA 4. CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA SIMPLIFICADA DE FORMACIONES GEOLÓGICAS EN TÉRMINOS DE RIESGO RELATIVO DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. Tomado de Cepis, 1991.

1.4 PRINCIPALES ACTIVIDADES QUE CAUSAN CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

1.4.1 CONCEPTOS GENERALES

Se presenta una lista general de actividades potencialmente contaminantes Tabla 1, con sus características clasificadas. Algunas de las actividades que generan riesgo serio de contaminación en países en desarrollo son comparables a aquellas que ocurren en países altamente industrializados, pero las que presentan la amenaza más seria en las naciones en desarrollo difieren significativamente, tanto individual como colectivamente, de sus similares en otros lugares.

La diferencia entre contaminación de fuentes puntuales a identificables y contaminación difusa es de importancia fundamental, especialmente en la consideración de las medidas de control.

(a) Puede incluir componentes industriales.

(b) También puede ocurrir en áreas no industriales.

(c) La intensificación de cultivo presenta mayores riesgos de contaminación.

U/r: urbano/rural.

P/L/D: puntual/línea/difusa

n: nutrientes

f: patógenos fecales.

o: compuestos micro-orgánicos sintéticos y/o carga orgánica.

S: salinidad. M: metales pesados.

Actividad	Características de la Carga Contaminante			
	Categoría de Distribución	Princ. Tipos de Contaminante	Sobrecarga Hfd. Relativa	Descarga bajo nivel del Suelo
<u>Urbanización</u>				
SANEAMIENTO SIN ALCANTARILLADO	u/r P-D	n f o	+	*
Fugas de alcantarillado ^(a)	u P-L	o f n	+	*
LAGUNAS DE OXIDACION DE AGUAS SERVIDAS SIN REVESTIMIENTO ^(a)	u/r P	o f n	++	*
Descarga de aguas servidas sobre terreno ^(a)	u/r P-D	n s o f	+	*
DESCARGA DE AGUAS SERVIDAS A RIOS ^(a)	u/r P-L	n o f	++	*
Lixiviación de rellenos sanitarios o botaderos de basura ^(a)	u/r P	o s n		*
Tanques de combustible	u/r P-D	o		*
Drenaje de carreteras	u/r P-D	s o	+	*
<u>Desarrollo industrial</u>				
Fugas de tanques y tuberías ^(b)	u P-D	o n		*
Derramamientos de productos químicos	u P-D	o n	+	*
LAGUNAS DE AGUA DE PROCESAMIENTO Y EFLUENTES SIN REVESTIMIENTO	u P	o n s	++	*
DESCARGA DE EFLUENTES SOBRE TERRENO	u P-D	o n s	+	*
DESCARGA DE EFLUENTES A RIOS	u P-L	o n s	++	*
Lixiviado de relleno de residuos sólidos	u/r P	o n s		*
Drenaje de patios	u/r P	o n	++	*
Deposición aerea	u/r D	s o		*
<u>Prácticas agrícolas^(c)</u>				
a. CULTIVOS				
- CON PRODUCTOS AGROQUIMICOS	r D	n o		*
- Y CON IRRIGACION	r D	n o s	+	*
- y con estiércol, lodo, desperdicios	r D	n o s		*
- Y CON IRRIGACION DE AGUAS RESIDUALES	r D	n o s f	+	*
b. Cría de ganado/procesamiento de cosechas				
- lagunas de efluentes sin revestimiento	r P	f o n	++	*
- descarga de efluentes sobre terreno	r P-D	n s o f		*
- descarga de efluentes a ríos	r P-L	o n f	++	*
<u>Extracción mineral</u>				
Cambios de régimen hidráulico	r/u P-D	s n		*
Descarga de aguas de drenaje	r/u P-D	n s	++	*
LAGUNAS DE AGUA DE PROCESAMIENTO O LODO SIN REVESTIMIENTO	r/u P	n s	+	*
LIXIVIADO DE RELLENOS DE RESIDUOS SOLIDOS	r/u P	s n		*

TABLA 1. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES ACTIVIDADES QUE POTENCIALMENTE GENERAN UNA CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO. Tomado de pulido, 1999.

1.4.2 SANEAMIENTO SIN ALCANTARILLADO

El saneamiento (in situ), sin alcantarillado, puede brindar niveles adecuados de servicio para la disposición de excretas en comunidades, pueblos pequeños, a incluso en grandes áreas urbanas, a un costo mucho mas bajo que el de los sistemas de alcantarillado con tuberías principales de recolección. Se pueden usar varios tipos de instalaciones, incluyendo tanques sépticos, fosas sépticas y letrinas secas o con descarga manual. Como aún se necesitan amplia y urgentemente mejoras en el saneamiento, es probable que se continúen produciendo grandes aumentos en la disposición de excretas al suelo.

Es importante reconocer que existen diferencias significativas entre los tanques sépticos y las otras unidades más económicas de disposición de excretas in-situ:

- Los campos y zanjas de infiltración de los tanques sépticos se descargan a niveles significativamente más altos en el perfil de suelo que las letrinas, donde las condiciones son más favorables para la eliminación de agentes patógenos.
- La descarga hidráulica de los tanques sépticos normalmente está diseñada para que no exceda de 30 mm/d, mientras que en algunas otras unidades se puede alcanzar 100 mm/d.
- Los tanques sépticos están revestidos en su interior y su efluente sólido, de alto contenido de nitrógeno, es evacuado periódicamente, mientras que en otras unidades, aunque no es recomendable, este suele permanecer en el suelo.

Bajo algunas condiciones hidrogeológicas, ciertas unidades de saneamiento

in situ presentan el riesgo de una migración directa de bacterias y virus patógenos hacia acuíferos subyacentes y fuentes vecinas de aguas subterráneas. La contaminación de los suministros de aguas subterráneas debido a un saneamiento sin alcantarillado ha constituido una de las causas comprobadas de transmisión de agentes patógenos en numerosos brotes de epidemias. Con frecuencia, éste es el resultado de la falta de espacio en los asentamientos densamente poblados, pero también puede ocurrir en urbanizaciones más prósperas y mejor organizadas que emplean un saneamiento in-situ y que construyen pozos excavados o tubulares particulares para reemplazar, o aumentar, las fuentes comunales de agua.

Los compuestos de nitrógeno en las excretas no representan un peligro tan inmediato para las aguas subterráneas, pero pueden causar problemas mucho más amplios y persistentes. Una indicación de la contaminación potencial de aguas subterráneas por nitratos proveniente de las unidades de disposición de excretas in situ proviene de las siguientes consideraciones:

Una población de 20 personas/ha representa una descarga de hasta 100 Kg/ha/a al suelo, la que, si fuera oxidada y lixiviada con 100 mm/a de infiltración, podría resultar en una recarga local de aguas subterráneas con una concentración de 100 mg NO_3^- - N/l. En la práctica se desconoce la proporción de nitrógeno depositado que será lixiviado, y, como consecuencia de varios procesos, se producirá dilución y reducción. Sin embargo, se puede esperar que los sistemas de saneamiento sin alcantarillado causen frecuentemente incrementos en la concentración de nitratos de las aguas subterráneas, incluso en climas relativamente húmedos. Es probable que provoquen mayores problemas en zonas áridas que no tienen un significativo flujo regional en el acuífero. En los sistemas anaeróbicos de aguas subterráneas con nivel freático poco profundo, la migración de amonio (en vez de nitratos) puede causar problemas locales.

1.4.3 OTRAS ACTIVIDADES URBANAS E INDUSTRIALES

Un creciente número de industrias y actividades (tales como textilerías, talleres de metales y de vehículos, imprentas, curtiembres, estaciones de combustible, etc.) con frecuencia tiende a localizarse en forma dispersa en estas áreas. La mayoría de estas industrias genera efluentes líquidos, tales como aceites y solventes. Ante la falta de control, estos efluentes son descargados directamente al suelo, debido al costo prohibitivo de alternativas tales como tratamiento in-situ, o almacenamiento y transporte hasta lugares seguros de disposición. Las plantas industriales más grandes, que utilizan considerables volúmenes de agua para sus procesos también dispondrán frecuentemente de lagunas para el tratamiento o la concentración de efluentes líquidos. Tales instalaciones, así como los tanques de almacenamiento subterráneos y las líneas de alcantarillado industrial, son teóricamente seguras, pero en la práctica frecuentemente tienen fugas y pueden representar una amenaza a la calidad de las aguas subterráneas. El riesgo más serio es asociado con basurales no controlados (y no tanto con rellenos sanitarios controlados) y donde los desechos industriales peligrosos, que incluyen barriles de efluentes líquidos, se desechan en lugares inadecuados. En muchos casos no se lleva un registro de la naturaleza y de la cantidad de los desechos volcados en un lugar determinado y los basurales y rellenos abandonados pueden representar, por décadas, un peligro potencial para el agua subterránea.

1.4.4 ACCIDENTES AMBIENTALES

Así como se conocen las fuentes más obvias de contaminación, se sabe que pueden ocurrir muchos de los llamados "accidentes ambientales" que pueden resultar en una carga contaminante discontinua al subsuelo de derivados del

petróleo y/o sustancias químicas peligrosas. Tales accidentes ambientales incluyen incidentes durante su transporte, fugas debido a fallas operacionales o corrosión de las tuberías y de los tanques.

1.4.5 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS DE CULTIVO

El impacto de las prácticas agrícolas modernas sobre la calidad de las aguas subterráneas se hizo totalmente evidente en algunos países Industrializados durante la década del 70. En particular, según Cepis, 1987, se demostró la existencia de altas tasas de lixiviación de nitratos y otros comunes móviles de muchos suelos sometidos a continuas siembras, sostenidas por aplicaciones de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos. El incremento de las concentraciones de nitratos, cloruros y, posiblemente, trazas de otros elementos y de compuestos orgánicos en las aguas subterráneas, son posibles consecuencias de las excesivas aplicaciones de efluentes, lodos o desperdicios animales sobre las tierras cultivadas. Por otro lado, las tierras de pastoreo no pierden mucho nitrato por lixiviación, a menos que están excesivamente abonadas a intensivamente pasteadas por animales.

Como una síntesis del proceso de los contaminantes sobre un acuífero, se incorpora el esquema denominado “Caracterización Teórica de los Componentes de la carga contaminante del subsuelo” (figuras 5 (a, b, c, d), Cepis, 1991), la cual expresa y explica: a. clase de contaminante; b. Intensidad de contaminante; c. Modo de disposición del contaminante; d. Disminución de la carga contaminante. Indicándose en cada caso un índice comparativo del riesgo en ascenso.

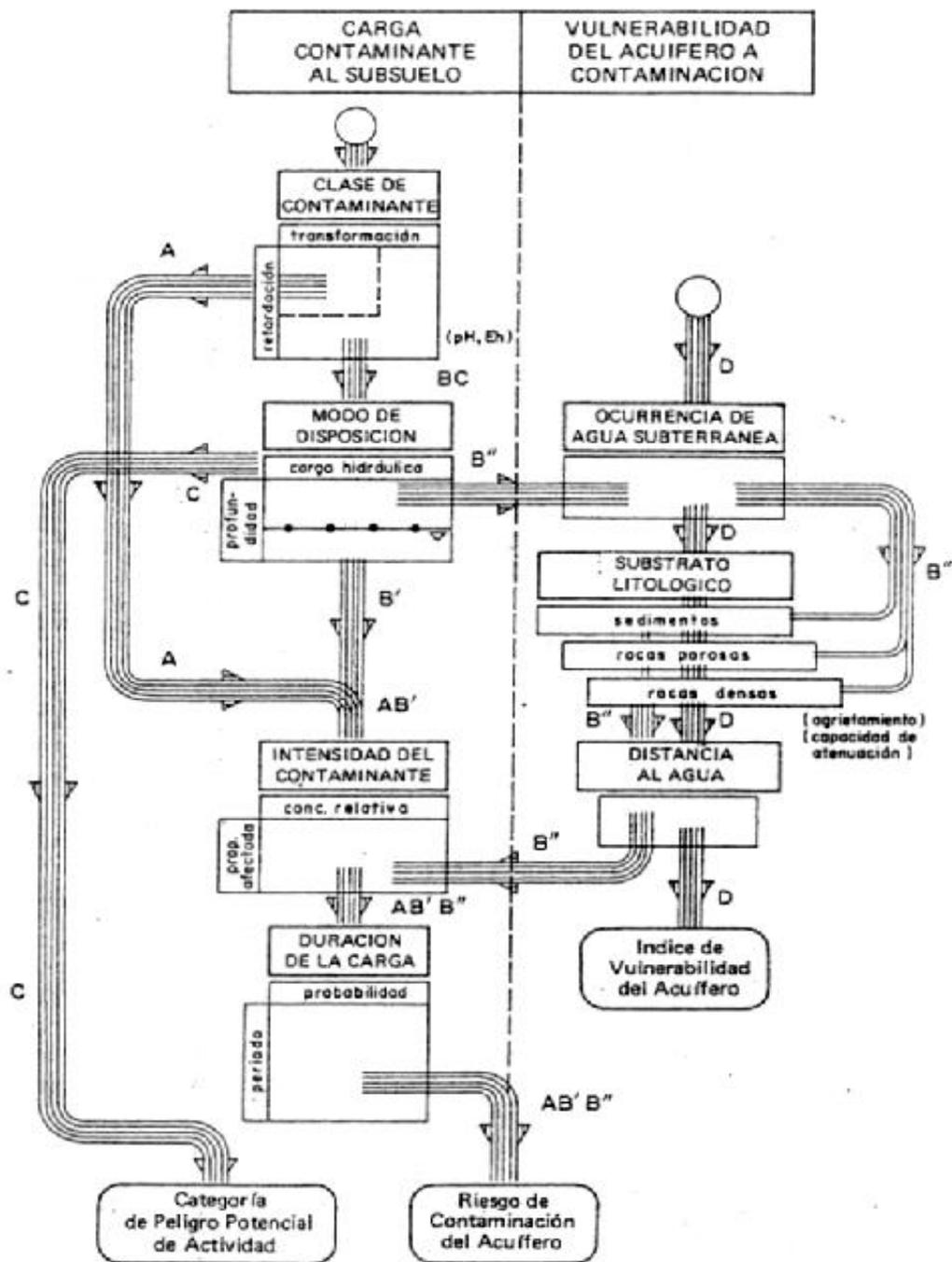


FIGURA 5. ESQUEMA TEÓRICO DE INTERACCIÓN ENTRE LOS COMPONENTES DE LA CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO Y VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO PARA DETERMINAR EL RIESGO DE CONTAMINACIÓN. Tomado de Cepis, 1991.

1.5 LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.

1.5.1 DEFINICIONES

Vrba y Zaporozec (1994), definen a la vulnerabilidad como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”. De la definición se desprende que los autores incluyen en la misma tanto al sistema subterráneo como a los contaminantes y dentro de estos a los artificiales y a los naturales. **Foster e Hirata (1991)**, dicen que la “vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta”. En este caso al citar a una carga contaminante impuesta, los autores parecen referirse solamente a una contaminación de origen artificial. **Custodio (1995)**, señala: “la vulnerabilidad a la polución expresa la incapacidad del sistema para absorber las alteraciones, tanto naturales como artificiales”. **Carbonell (1993)**, define la vulnerabilidad a la contaminación, como la tendencia de los contaminantes a localizarse en el sistema de agua subterránea, luego de ser introducidos por encima del acuífero más somero. En este caso el autor considera solamente la acción de los contaminantes. **EPA (1991)**, hace referencia a la vulnerabilidad subterránea respecto a un plaguicida, como la facilidad con que un contaminante aplicado en la superficie, puede alcanzar al acuífero en función de las prácticas agrícolas empleadas, las características del plaguicida y la susceptibilidad hidrogeológica. Es importante que además de las condiciones del medio, se incorporen las propiedades del contaminante y las prácticas de cultivo (vulnerabilidad específica).

1.5.2 CLASIFICACIÓN

Se sabe ahora que la vulnerabilidad puede ser intrínseca o puede ser específica según se consideran las condiciones del medio, el contaminante y las practicas adelantadas.

Una revisión de las estrategias de protección de la calidad de las aguas subterráneas a nivel mundial, muestra que existen dos líneas básicas de acción: el establecimiento de Perímetros de Protección Sanitaria alrededor de pozos de abastecimiento público; y otra línea más amplia dirigida a la cartografía de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación (Hirata y Reboucas, 1999). Sin embargo, es frecuente no tomar en cuenta que para una administración ambientalmente segura, la mejor práctica es proteger este recurso de la contaminación, porque la descontaminación de un acuífero suele ser un proceso muy largo, costoso y a veces prácticamente irreversible (Llamas.1999)

Cuando se detecta contaminación en un acuífero suele ser demasiado tarde para establecer medidas correctoras. En general, desde que se produce la contaminación hasta que se descubre ha pasado un período de tiempo demasiado largo. Por ello, y teniendo en cuenta que en los acuíferos se almacena una parte importante de los recursos hídricos de excelente calidad físico-química, deben priorizarse medidas preventivas y de vigilancia ante fenómenos potencialmente contaminantes.

La Vulnerabilidad puede ser contemplada o estudiada a través de:

Mapas de vulnerabilidad, los cuales son recomendables, la cartografía de vulnerabilidad de acuíferos, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas. Ella posibilita diferenciar las

características naturales del terreno para proteger al acuífero de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados a la actividad del hombre. El objetivo principal de un mapa de vulnerabilidad, es la subdivisión del área en diferentes unidades homogéneas, a veces llamadas celdas o polígonos, que tienen diferentes niveles o grados de vulnerabilidad. Sin embargo, esta diferenciación entre las celdas, solo muestra la vulnerabilidad relativa de unas áreas con respecto a otras, no representan valores absolutos.

Una segunda herramienta es por los **Métodos Analíticos** pero en los perímetros de protección sanitaria de pozos y campo de pozos tampoco se logra tener una buena interpretación de los resultados.

Una tercera herramienta que permite integrar las acciones sobre el sistema acuífero con sus propiedades hidrogeológicas, geométricas y de estado es la **Modelación Numérica** del mismo (Hernández A.O. et al 2001). Un modelo matemático de un acuífero es una ecuación o serie de ecuaciones que simulan y pronostican respuestas físico-químicas de dicho sistema, sometido a perturbaciones tales como recarga o extracción mediante pozos o la inyección de un agente contaminante.

El concepto de vulnerabilidad de acuíferos, aplicado a la contaminación antrópica, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Al disponer del mapa de vulnerabilidad de un acuífero, es posible distinguir las características naturales del terreno para proteger al acuífero de contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie. Esto debe contribuir a realizar una ocupación del suelo ambientalmente responsable, lo que significa establecer una actividad humana en función de la capacidad del medio de atenuar la carga contaminante que la misma genera. Esta es la única forma de lograr

realmente la convergencia de desarrollo humano y medio ambiente en lo que se ha denominado **desarrollo sustentable o sostenible**: “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Es importante resaltar que aquellos acuíferos que son considerados como de menor vulnerabilidad a la contaminación, en términos generales, una vez contaminados, tienden a ser los más difíciles de rehabilitar; y debido a la importancia de los sistemas acuíferos como fuentes de agua potable en nuestro país, se hace indispensable su protección para preservar la salud de la población. Lo anterior implica conocer en detalle no sólo las características hidrogeológicas de las zonas de interés, sino también su vulnerabilidad y su riesgo potencial de contaminación.

1.5.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.

La vulnerabilidad de un acuífero es función de la resistencia de la zona no saturada a la penetración de contaminantes, así como de la capacidad de dicha zona de atenuar o reducir la acción del o los agentes contaminantes. La capacidad de resistencia de la zona no saturada depende de varios factores, entre los cuales destacan: el grado de confinamiento del acuífero, la profundidad del nivel de agua dentro del medio poroso permeable, así como la humedad y permeabilidad vertical en la zona no saturada. Por su parte, la capacidad de atenuación se relaciona con los distintos procesos que tienen lugar dentro de la zona no saturada del suelo, entre los que se cuentan: dispersión, dilución, decaimiento, hidrólisis, adsorción, entre otros. La vulnerabilidad de la formación acuífera definida a partir de los conceptos anteriores no incluye aspectos relacionados con el uso del suelo, el tipo y características químicas de los contaminantes depositados o los usos del

recurso hídrico subterráneo.

1.5.4 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN.

La literatura especializada (National Academy Council, 1993) señala tres enfoques generales que pueden ser utilizados para evaluar la vulnerabilidad de una formación acuífera: Métodos que emplean modelos de simulación, Métodos estadísticos o de monitoreo y Métodos de índices y superposición.

La determinación de la vulnerabilidad a través de **modelos de simulación** es muy difícil de realizar en países en vías de desarrollo (como el nuestro), debido a la gran cantidad de información necesaria. Sin embargo, este método es muy apropiado para analizar situaciones puntuales o con poca extensión espacial.

Los **métodos estadísticos o de monitoreo** no permiten determinar la vulnerabilidad, sino que se utilizan para realizar estudios probabilísticos que evalúen la posible dispersión del contaminante.

Debido a lo anterior, este trabajo de investigación se ha centrado en los **métodos de Índices y Superposición**, los cuales los más empleados son los descritos en la Tabla 2, para los cuales existen experiencias a nivel latinoamericano e internacional que avalan su correcto funcionamiento.

DRASTIC		GOD'S		SINTACS		AVI	BGR
D	Profundidad de la zona no saturada	G	Ocurrencia del agua subterránea	S	Profundidad de la zona no saturada	Permeabilidad de las diferentes capas	Tipo de Suelo Agronómico
R	Recarga neta	O	Cobertura (Zona no saturada)	I	Infiltración eficaz	Espesor de cada capa	Litología de la zona no saturada
A	Tipo de acuífero	D	Profundidad de la zona no saturada	N	Características de la zona no saturada		Recarga neta
S	Suelo	S	Textura del suelo	T	Tipo de suelo		Acuíferos colgados
T	Pendiente			A	Litología del acuífero		Condiciones de presión
I	Impacto de la z. no saturada			C	Conductividad hidráulica		
C	Conductividad hidráulica			S	Pendiente de la superficie		

TABLA 2. PRINCIPALES MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD. Tomado de HIDRORED. Metodologías para Determinar la Vulnerabilidad.

1.5.4.1 METODOLOGÍA DRASTIC.

Uno de los métodos más difundidos a nivel internacional para el estudio de vulnerabilidad de acuíferos es el método DRASTIC (Aller et al, 1987), cuyo nombre se deriva de un acrónimo que incluye los parámetros o variables de interés para su análisis, como se aprecia en la tabla 2:

D (Depth) **R** (Recharge) **A** (Aquifer) **S** (Soil) **T** (Topography) **I** (Impact) **C** (Conductivity)

Diseñado por la Agencia EPA. (Canter, 1998). El modelo DRASTIC estima la vulnerabilidad a partir de un índice global que incorpora la contribución de los anteriores parámetros a través de un puntaje para cada parámetro y un

ponderador o peso por cada parámetro. Foster & Skinner (1995) argumentan que el índice de vulnerabilidad obtenido a través del método DRASTIC estudia la contaminación potencial del agua subterránea en un emplazamiento específico dado su entorno hidrogeológico y que este es el resultado de la interacción o combinación entre sí de los siete parámetros.

Nuevos estudios (Rupert, MG., 2001) dicen que para mejorar los resultados de este análisis y hacerlo coincidir con información existente. En este caso se recurre a mediciones de nitrato y nitrito en diferentes zonas del acuífero estudiado, lo que se correlaciona con el uso de suelo, y la profundidad del agua subterránea. De esta manera se consigue un nuevo conjunto de ponderadores para los diferentes atributos o parámetros de este modelo.

DRASTIC permite encontrar un valor numérico para cada punto del área de trabajo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Í. Vulnerabilidad} = \frac{D_R * D_W + R_R * R_W + A_R * A_W + S_R * S_W + T_R * T_W + I_R * I_W + C_R * C_W}{C_R * C_W}$$

Donde los subíndices R y W son el puntaje (rating) y el peso de ponderación (weight) respectivamente. Esta suma expresa la conjunción de las valoraciones de cada propiedad, aportadas por el método, y el conocimiento del acuífero particular del que se trata por parte de quienes lo aplican.

Para evaluar una zona determinada, cada factor se valora en una escala de 0 a 10, que indica la potencial contaminación relativa del factor dado para esa zona. Los valores de peso o ponderación de 1 a 5 expresan la importancia relativa de unos factores con respecto a otros. Las clasificaciones se obtienen a partir de las tablas o gráficos para cada factor, mientras que los pesos de importancia se encuentran en las tablas genéricas del modelo DRASTIC.

Parámetro	Peso
Profundidad al acuífero	5
Recarga neta	4
Tipo de acuífero	3
Tipo de suelo	2
Topografía (pendiente)	1
Impacto de la zona vadosa	5
Conductividad hidráulica del acuífero	3

TABLA 3. PESOS ASIGNADOS A LOS DISTINTOS FACTORES. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.

El rango posible de valores del índice DRASTIC está comprendido entre 23-226 siendo más frecuentes valores entre 50-200. Los intervalos de vulnerabilidad o riesgo se definen en función de la aplicación. En el trabajo realizado se han establecido los siguientes grados:

PUNTAJE	GRADO DE VULNERABILIDAD
<100	Vulnerabilidad insignificante
101-119	Vulnerabilidad muy baja
120-139	Vulnerabilidad baja
140-159	Vulnerabilidad moderada
160-179	Vulnerabilidad alta
180-199	Vulnerabilidad muy alta
>200	Vulnerabilidad extrema.

TABLA 4. GRADOS DE VULNERABILIDAD. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.

1.5.4.1.1 FACTOR D (PROFUNDIDAD):

La profundidad hasta el agua subterránea, o el nivel freático, es un factor de principal importancia ya que determina la profundidad del material a través de la cual se propaga un contaminante antes de alcanzar el acuífero; este factor también puede utilizarse para determinar el tiempo de contacto con los materiales circundantes. La Tabla 5 contiene las escalas y valoraciones para la profundidad hasta el agua subterránea.

Las escalas se determinaron en función de las profundidades, a las cuales un grupo de profesionales del agua subterránea consideraba que el potencial de contaminación cambiaba significativamente.

Rango de Profundidades (m)	Puntaje
0.0 – 1.5	10
1.5 – 4.5	9
4.5 – 9.0	7
9.0 – 15.0	5
15.0 – 23.0	3
23.0 – 30.5	2
>30.5	1

TABLA 5. PUNTAJES UTILIZADOS PARA LA PROFUNDIDAD. Tomado de Canter, 1998.

1.5.4.1.2 FACTOR R (RECARGA NETA):

La «recarga neta» se refiere a la cantidad total de agua que se infiltra desde la superficie de la tierra y alcanza el acuífero. La recarga neta corresponde a la cantidad media anual infiltrada y no considera la distribución, intensidad o duración de las recargas. Las escalas y valoraciones correspondientes a la recarga neta figuran en la Tabla 6. La capacidad de amortiguación del acuífero se valora en función de la granulometría, fracturas y orificios de disolución.

1.5.4.1.3 FACTOR A (MEDIO DEL ACUÍFERO):

En La Figura 6 se ilustran las escalas y valoraciones para el factor del acuífero en el modelo DRASTIC. También se puede leer el Tabla 7 sacada de la interpretación de la grafica.

Recarga neta (m/día)	
Rango	Puntaje
0 - 0.00014	1
0.00014 - 0.00028	3
0.00028 - 0.00049	6
0.00049 - 0.00070	8
> 0.00070	9

TABLA 6. RANGOS Y PUNTAJES PARA LA RECARGA NETA. Tomado de Canter, 1998.

Medio acuífero (A)		
Tipo de acuífero	Rango de clasificación A_r	Valor típico A_r
Lutita masiva	1 – 3	2
Metamórfica/Ígnea	2 – 5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 – 5	4
Till glacial	4 – 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 – 9	6
Arenisca masiva	4 – 9	6
Caliza masiva	4 – 9	6
Arena o grava	4 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Caliza cárstica	9 – 10	10

TABLA 7. RANGOS DEL MEDIO ACUÍFERO. Tomado de HIDRORED. Metodología DRASTIC.

1.5.4.1.4 FACTOR S (MEDIO DEL SUELO):

El «medio del suelo» se considera la zona superior y meteorizada de la tierra, que tiene una profundidad media inferior o igual a 6 pies (1.83 metros) desde la superficie. El medio del suelo se evalúa en función del tipo de arcilla presente, potencial de contracción-esponjamiento de esta arcilla y granulometría del suelo. Las escalas y valoraciones para este factor se muestran en la Tabla 8.

Medio del suelo	
Escala	Valoración
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Arcilla contraída o agregada	7
Marga arenosa	6
Marga	5
Marga aluvial	4
Arcilla arenosa	3
Arcilla no contraída ni agregada	1

TABLA 8. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<SUELO>> EN EL MODELO DRASTIC. Tomado de Canter, 1998.

1.5.4.1.5 FACTOR T (TOPOGRAFÍA):

Se refiere a la pendiente de la superficie del terreno y su variabilidad. La Tabla 9 contiene las escalas de pendiente elegidas como significativas para la contaminación potencial del agua subterránea.

Topografía	
Escala (porcentaje de pendiente)	Valoración
0 – 2	10
2 – 4	9
6 – 12	5
12 – 18	3
18 +	1

TABLA 9. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<TOPOGRAFÍA>> EN EL MODELO DRASTIC. Tomado de Canter, 1998.

1.5.4.1.6 FACTOR I (ZONA VADOSA):

La «zona vadosa» se define como la zona no saturada o discontinuamente

saturada, que queda por encima del nivel freático. La zona vadosa se evalúa en función de la granulometría, fracturamiento, orificios de disolución y potencial de absorción. La Figura 7 presenta las escalas y clasificaciones para el impacto del factor de la zona vadosa en el modelo DRASTIC u observar la Tabla 10 para interpretar la grafica de una manera más específica.

1.5.4.1.7 FACTOR C (CONDUCTIVIDAD):

Por último, se calculan los valores de la conductividad hidráulica a partir de ensayos de bombeo en el acuífero. En los informes hidrogeológicos publicados se encuentra información, sobre la conductividad hidráulica para zonas geográficas determinadas. En la Tabla 11 se dan las escalas y clasificaciones del factor conductividad hidráulica.

Impacto de la zona no Saturada (I)		
Tipo de medio	Rango de clasificación I _r	Valor típico I _r
Capa confinante	1	1
Cieno – arcilla	2 – 6	3
Lutita	2 – 5	3
Caliza	2 – 7	6
Arenisca	4 – 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6
Metamórfica/Ignea	2 – 8	4
Arena y grava	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Caliza cárstica	8 – 10	10

TABLA 10. RANGO DE IMPACTO DE LA ZONA NO SATURADA. Tomado de HIDRORED. Metodología Drastic.

Conductividad Hidráulica.		
Escala		Valoración
Gpd/ pie ³	m ³ pd/m ³	
1 – 100	0,134 – 13,368	1
100 – 300	133,68 – 40,104	2
300 – 700	40,104 – 93,576	4
700 – 1.000	93576,42 – 133,681	6
1.000 – 2.000	133,681 – 267,361	8
2.000 +	267,361 +	10

TABLA 11. EVALUACIÓN DEL FACTOR <<CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA>> EN EL MODELO DRASTIC. TOMADO DE CANTER, 1998.



FIGURA 6. ESCALAS Y VALORACIONES PARA EL MEDIO ACUÍFERO.
Tomado de Canter, 1998.

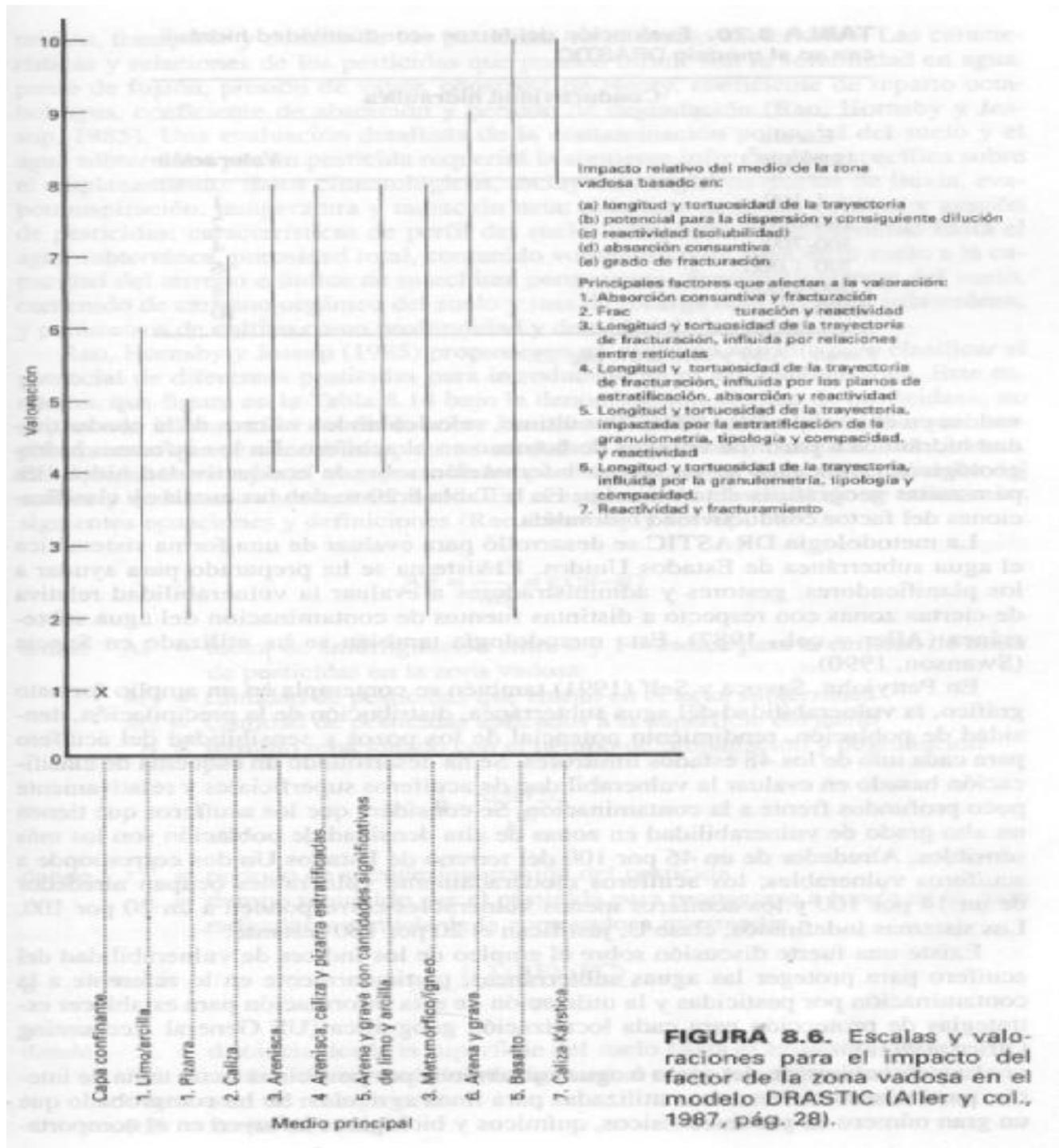


FIGURA 7. ESCALAS Y VALORE PARA LA ZONA VADOSA. Tomado de Canter, 1998.

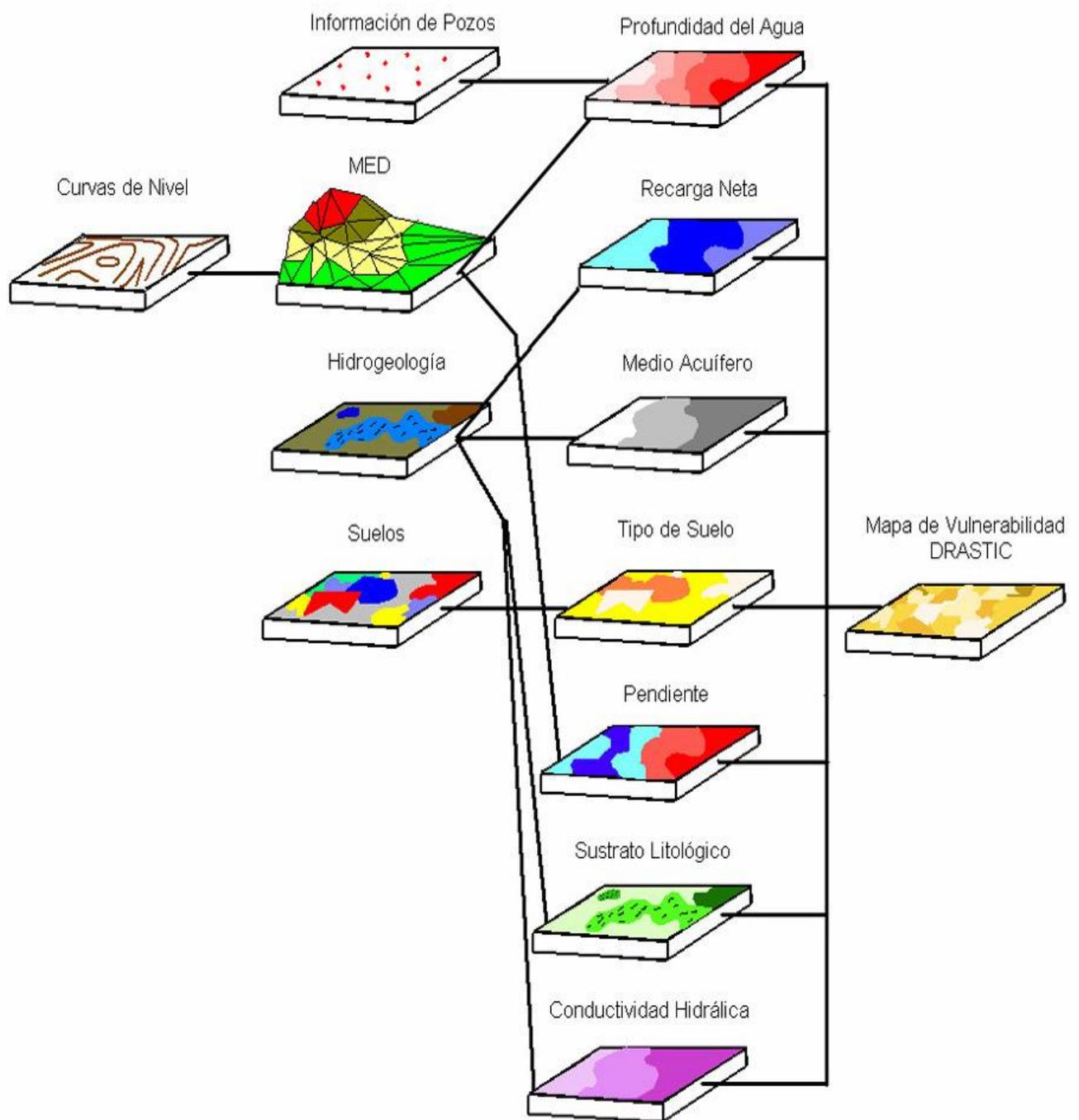


FIGURA 8. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MÉTODO DRASTIC.
Tomado de Metodologías para determinar la vulnerabilidad.

1.5.4.2 MÉTODO GOD'S MODIFICADO

Cuando los datos son escasos, cubren mal el territorio o son inciertos, la aplicación de DRASTIC induce a realizar suposiciones arriesgadas. En cambio, el método GOD'S modificado (Foster, 1987; Foster & Hirata, 1991) fue desarrollado específicamente para zonas cuya información acerca del subsuelo y sistemas de agua subterránea es escasa (Custodio, 1995). Además, tiene una estructura simple y pragmática que lo hace superior al modelo DRASTIC en la interpretación de resultados. El método GOD'S estima la vulnerabilidad de un acuífero, multiplicando cuatro parámetros que representan cuatro tipos de información espacial:

G (Groundwater occurrence) modo de ocurrencia del embalse subterráneo o tipo de acuífero.

O (Overlying lithology) litología de la zona no saturada.

D (Depth to Groundwater) profundidad al agua subterránea

S (Soil) suelo, capacidad de atenuación.

En Latinoamérica se conoce como DIOS y su traducción es:

DI: Distancia al agua. O: Ocurrencia de agua Subterránea. S: Substrato litológico.

El primero de los parámetros (G), corresponde a la identificación del tipo de acuífero, cuyo índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia del embalse varía entre la inexistencia de acuíferos (evaluado con índice 0), en un extremo, y presencia de un acuífero libre o freático (evaluado con índice 1), en el otro extremo, pasando por acuíferos artesianos, confinados y semi-confinados.

El segundo parámetro (O), corresponde a la caracterización de la zona no

saturada del acuífero. Este se evalúa considerando dos características: el grado de fracturamiento y las características litológicas y como consecuencia, en forma indirecta y relativa, la porosidad, permeabilidad y contenido o retención específica de humedad de la zona no saturada (Foster e Hirata, 1991). Esta información se usa para obtener un índice que puede variar en un rango entre 0,4 y 1.

El tercer parámetro (D), consiste en determinar la profundidad del nivel freático en caso de acuíferos freáticos, o la profundidad al techo del acuífero en casos de acuíferos confinados. De acuerdo a la profundidad observada, este tercer componente puede tomar un valor entre 0,4 y 1.

El cuarto parámetro (S), el factor de suelo es un parámetro esencial que considera la capacidad de atenuación, el grado de fisuración del suelo y la textura, su valoración esta dada entre 0,4 y 1. (Custodio, 1995).

El producto de estos cuatro componentes arroja un índice de vulnerabilidad que puede variar entre 0 y 1, indicando vulnerabilidades desde despreciables a extremas.

Las grandes simplificaciones introducidas por este método están justificadas por la disponibilidad real de datos, pero como contrapartida, se pierde definición y no es posible diferenciar un tipo de contaminante de otro. Así, el valor numérico obtenido significa una u otra cosa en función del contaminante que se considere y su interpretación queda en cierto grado, al criterio personal de quien lo interpreta (Custodio, 1995). Una identificación visual de este método se puede observar en la figura 9 de Espinoza (2002). Y como lo dispone la EPA a través de la figura 10 ilustrando el esquema más lógico de combinación de los parámetros relevantes.

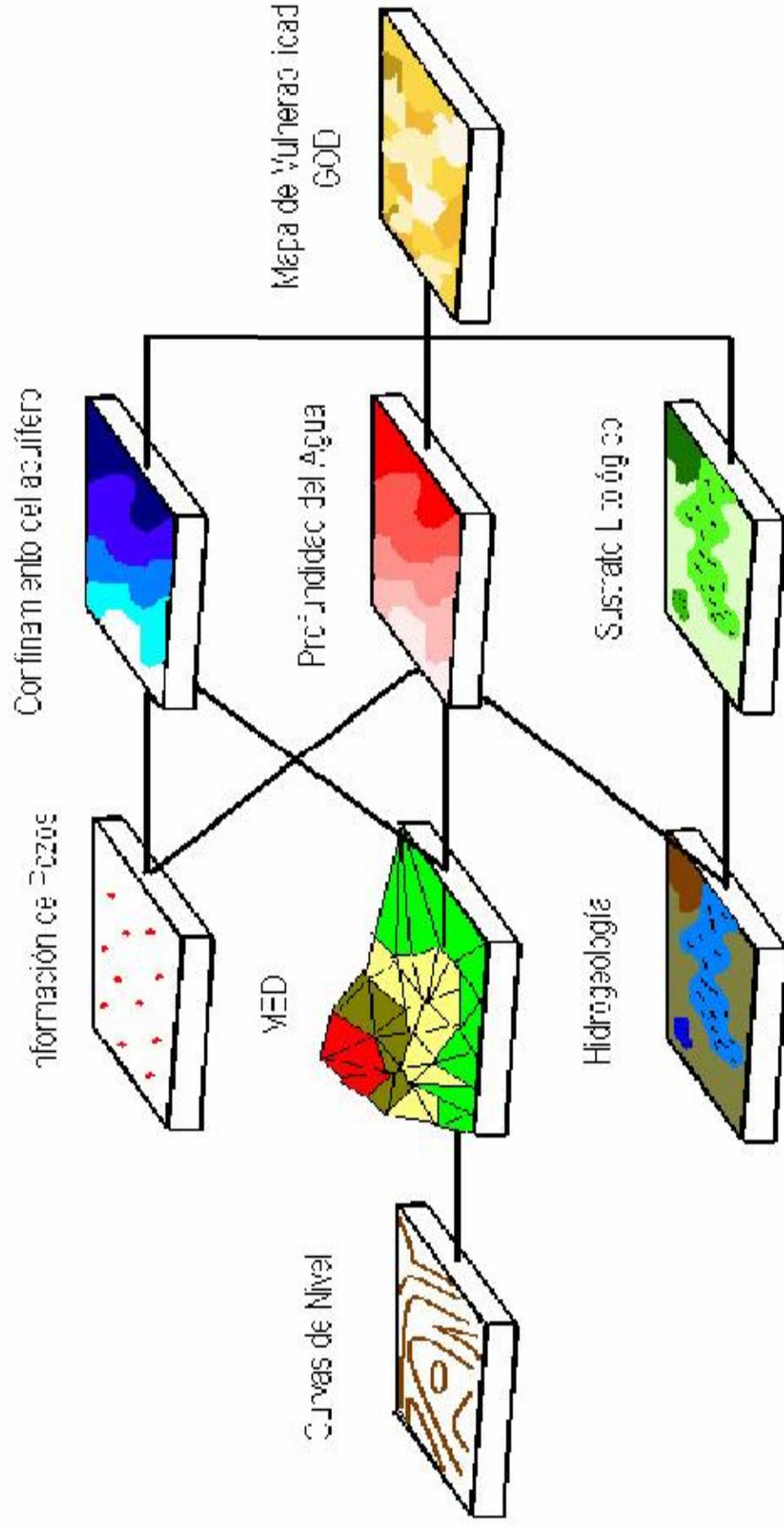
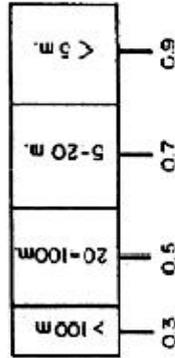


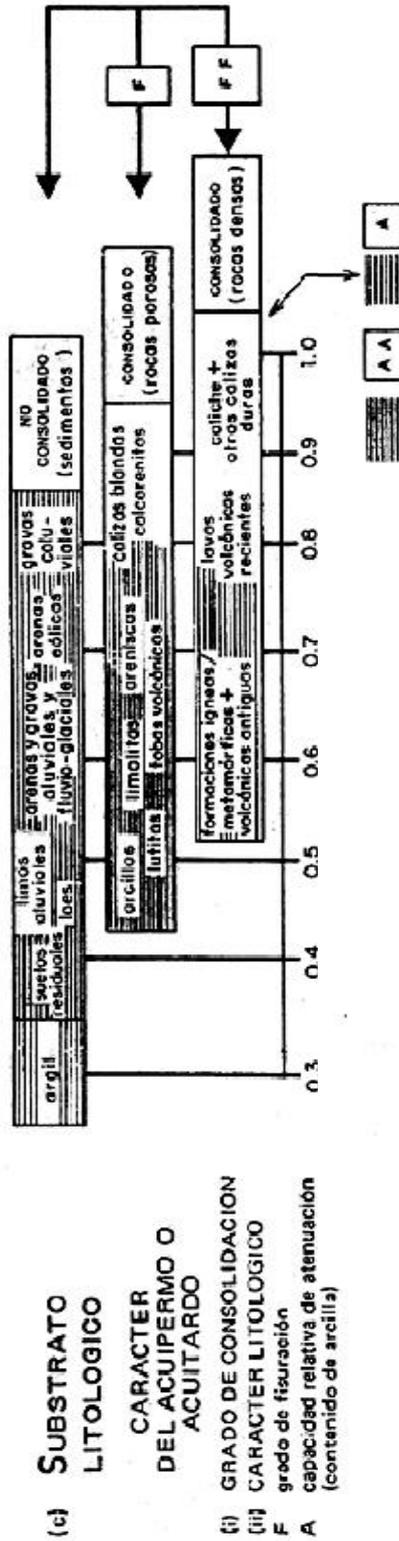
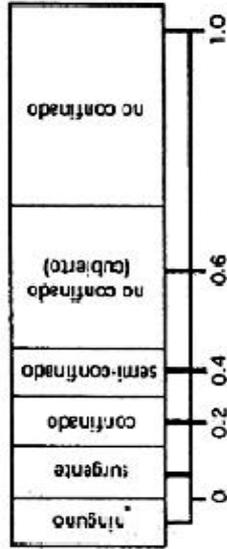
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MÉTODO GOD'S. Tomado de Metodologías para la determinación de la Vulnerabilidad.

(a) DISTANCIA AL AGUA SUBTERRANEA (b) OCURRENCIA DE AGUA SUBTERRANEA

PROFUNDIDAD DE LA NAPA FREATICA (acuifero no confinado) O TECHO DEL ACUIFERO (confinado)



CONDICION DEL ACUIFERO



CARACTERIZACION DE LOS COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUIFERO

Para cada componente, se indica un índice comparativo de peligrosidad creciente.

FIGURA 10. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO. Tomado de Cepis, 1991.

2. METODOLOGÍA

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA GENERAL.

La presente investigación se realizó en las instalaciones de los pozos artesanos y pozos profundos en operación para la extracción de agua subterránea, localizados en el sector comprendido entre el arroyo Guaní al norte y el arroyo Pichilin al sur del campo de pozos de la acueducto del municipio en estudio, y limitado al Oeste por la franja costa del Mar Caribe y al este hasta una distancia de 2,5 kilómetros (entrada a la Finca La Estanzuela) medidos desde el tanque de almacenamiento elevado en las afueras del área urbana del municipio. En el anexo 4 se localizan los barrios.

La investigación se realizó mediante una debida revisión bibliográfica y documental, una fase experimental durante 15 meses desde enero del año 2003, con actividad de campo para levantar la información de tipo físico y freatométrico, y una etapa final de obtención de resultados climatológicos y su interpretación en relación con la recarga por infiltración del acuífero, a su vez; Cabe anotar, que las aguas provenientes de los pozos de captación sobre las capas acuíferas semi-confinadas y confinadas son aguas mixtas o mezcladas debido al tipo de infraestructura y de sistema de extracción existente.

Una vez delimitada la zona de estudio, se traslado la información geológica e hidrogeológica del área de estudio, que se encontraba en planchas a escala 1: 100000, 1: 75000, 1: 25000 elaboradas por INGEOMINAS y el IGAC, al mapa base en escala 1: 8500, haciendo los ajustes de límites de unidades, dando como resultado un mapa con la información actual del área de estudio.

2.2 BALANCE HÍDRICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO DEL ACUÍFERO GOLFO DE MORROSQUILLO

El estudio se ha elaborado partiendo de los datos recolectados por la investigación del Ingeniero Civil Guillermo Gutiérrez R. (2004) obtenidos en diversas estaciones meteorológicas de IDEAM, localizadas tanto en el área de estudio como en las zonas circundantes; el estudio de precipitación tomado de la investigación anteriormente mencionada abarca en total un área de 1300 Km² al incluir el área tributaria de la cuenca alta del Arroyo Pichilin, afluente de la Cuenca Caribe.

Los datos de precipitación, temperatura, evaporación y demás han sido facilitados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, adscrito al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Las bases de datos fueron elaboradas mediante la aplicación de los procedimientos indicados por la Organización Mundial de Meteorología (O.M.M.) y el IDEAM. Los cálculos obtenidos por la investigación de Gutiérrez Ribón fueron realizados convencionalmente con calculadora, incluidos los parámetros estadísticos básicos.

2.3 CONTAMINACIÓN POR LIXIVIACIÓN PROCEDENTE DEL SANEAMIENTO IN SITU.

Las aguas residuales domésticas proveniente de las cámaras, pozos sépticos, letrinas del saneamiento in situ sin alcantarillado, es la más extensa y riesgosa causa de contaminación del acuífero, más aun si no son revestidas como el caso específico de las letrinas en donde los nitratos no

son removidos, contaminándose los acuíferos libres, semi-confinados y confinados, de mayor a menor proporción. El municipio cuenta con laguna de oxidación no revestida la cual es una de las obras de urbanismos que puede estar produciendo contaminación a las aguas subterráneas con nitratos, debido a que al construirse sobre el acuíferos libre, infiltra un volumen importante del agua que están tratando. Al lado de las lagunas de oxidación se ubica el botadero de basura del municipio, en el cual se acumulan los residuos sólidos que pueden estar contaminando las aguas subterráneas del acuífero libre a través de sus lixiviados.

2.4 DETERMINACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN POR SANEAMIENTO IN SITU.

Teniendo en cuenta los porcentajes de cobertura de alcantarillado de cada barrio, los cuales los ubicaban entre mínima a alta cobertura y según la densidad de población del municipio y utilizando la tabla 15 propuesta por el CEPIS, se dedujo los niveles de riesgo potencial los cuales se hallaron entre moderado y alto.

2.5 DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO.

Mediante la operación de los procedimientos de las metodologías GOD'S modificado y DRASTIC, para el caso particular del entorno o emplazamiento ambiental de las aguas subterráneas del municipio de Santiago de Tolú, localizado entre los arroyos Pichilin y Guaní, al sur y norte del área urbana, se procedió a calcular la vulnerabilidad del acuífero determinando cada uno de los parámetros de las dos metodologías, de acuerdo a las cuantificaciones obtenidas de los procesos de realizados para obtener la valoración final que nos lleva a realizar el mapa de identificación de las zonas de vulnerabilidad

del área de estudio por cada método, finalizando con la superposición de ambos mapas obteniéndose un mapa general de la zona de estudio, el cual esta compuesto por los resultados obtenidos por el método DRASTIC.

Los resultados de cada parámetro tanto del DRASTIC como del GOD'S modificado se expresan en el capítulo de resultados, al igual que la vulnerabilidad arrojada por cada método trabajado.

2.6 DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN.

Una vez de determinado el riesgo potencial a la contaminación por saneamiento in situ y las zonas de vulnerabilidad definitivas, se procedió a superponer los mapas e identificar las zonas en riesgo de contaminación ubicadas entre zonas de riesgo moderado y zonas de riesgo bajo. Cada una de ellas se dividió en dos sub-zonas de riesgo la cual obedece a la relación entre la vulnerabilidad del sitio y el riesgo potencial al que esta sometido.

Al final se construyo el mapa definitivo denominado Mapa De Localización De Las Zonas En Riesgo De Contaminación, el cual se aprecia en el anexo 11.

3. RESULTADOS

3.1 INVENTARIO DE POZOS

En cuanto al Inventario de Pozos en el área urbana y en el campo de pozos, los resultados se expresan en la Tabla 12.

Solamente ocho constituyen hoy la fuente de abastecimiento del acueducto municipal de Santiago de Tolú.

Históricamente han sido los pozos denominados Pasatiempos (PLH, 4A y 4B), Tres Palmas (3PL N° 6A y 6B), Palo hueco (PLH 7), La Pradera (LPR, N° 8A y 8B), Don Antonio (DAN N° 9) y Racho Alegre (RA N° 10). Todos los nombres corresponden a su vez a los nombres de las Haciendas en donde están ubicados.

Los pozos iniciales del sistema de acueducto dejaron de ser explotados y en su reemplazo se construyeron los pozos N° 4B, 6B, 8B, respectivamente en Pasatiempo, Tres Palmas y La Pradera. Los pozos del sistema de acueducto en actividad son: Pasatiempo (N° 4), La Pradera (N° 8), don Antonio (N° 9) y Rancho Alegre (N° 10) de modo continuo; con intermitencias por problemas en sus instalaciones de bombeo, los dos pozos Tres palmas (6A) y Palo hueco (7A). Concretamente, el pozo 6ª no tiene equipo de bombeo, no funciona desde el año 2002, y el pozo 6A, salió de servicio en el año 2001.

Tipo	Ubicación	Profundidad (metros)	Niveles 97 - 04		Conductividad μ S/cm	Fecha Construcción	Uso
			NE.	NB			
PP1	Finca Pasa Tiempo	12	4.15		1600		Pecuario
PP2	Finca Pasa Tiempo	75		24.75	700		Acueducto (Activo)
PP2B	Finca Pasa Tiempo	34.5	8.42			Septiembre-60	Acueducto (Inactivo)
PP3	Finca Pasa Tiempo	20	3.5		600		Pecuario
PA4	Granja Santiago	6	3.05		2500		Pecuario
PP5	Finca Tres Palmas	35	6.32				Acueducto (Inactivo)
PP6	Finca Tres Palmas	92		29		Julio -94	Acueducto (Inactivo)
PP7	Finca palo Hueco	38	5.42		550	79	Acueducto (Inactivo)
PP8	Finca La Pradera	93		23.3	1000	Marzo-93	Acueducto (Activo)
PP9	Finca Don Antonio	75.4		18.56	900	Febrero-90	Acueducto (Activo)
PP10	Hotel Tone	28			1200		Trasteo
PP12	C. César Tous	22	2.5		1700		Doméstico
PA13	Hotel Brisas del Mar	6	2				Doméstico
PP14	Hotel Brisas del Mar	12	SALT			1985	Doméstico
PP15	Almacén Panam	30			1900		Doméstico
PP16	Picúa Dorada	26	2.97		1990		Doméstico
PP17	Cecilia navas	32			1600		Doméstico
PP18	Coleg. Santa Teresita	42			1410		Doméstico
PP19	Isaac Nayid	37.5			1310	1985	Trasteo
PP21	Rest. Colcatolú.				1820		Trasteo
PA22	Hotel Antillas	5	2.15		1700		Trasteo
PA23	Restaurante Colombia	5	2.2	2.6	1320		Trasteo
PA24	Alberto Tous	3	2.1		1480	1930	Trasteo
PA25	Hnos. González A.	3	2.2		3400	1939	Trasteo
PP26	Cotrafa	3			1100		
PA28	Hotel Playa Mar	3	1.63		5200		Doméstico

Tipo	Ubicación	Profundidad (metros)	Niveles 97 - 04		Conductividad μ S/cm	Fecha Construcción	Uso
			NE.	NB			
PA29	Palma de Oro	3	2.23		1210		Trasteo
PP30	Hotel Mar Azul	56	2.22		3000	Marzo-97	Doméstico
PP31	Hotel Ibatama	50	2.36		3150		Trasteo
PA32	Hotel caribe	5	1.76		1570	1995	Trasteo
PA33	Rest. Don Carlos	4	2.95		2400		Trasteo
PA34	Hotel Platanal	5		2.4	1200		Trasteo
PP35	Cancan	35	2.32		1700	1995	Trasteo
PA36	Jaime Gutiérrez	1.9	1.55		1210	1970	Trasteo
PP37	Pesquera Tolú	35		6.3	1120		Doméstico
PP38	Patricia Carnaval	25	1.46		1900		Doméstico
PP39	Alfredo López	30			1180		Trasteo
PP40	Restaurante Rosa	49	12		2900		Trasteo
PP41	Hotel Darimar	70	12		1500		Trasteo
PA42	Dagoberto Meza	4	1.7		2500		Trasteo
PA43	Ganancias Ltda.	4	2.5		300		Trasteo
PA45	José Hernández	4	1.9		227		Trasteo
PA46	Lastenia Tous	3	1.7		2300		
PA47	Rosa Berrio	3	2.4		2550		
PA48	Horacio Buevas	5.1	3.1		2200		
PA49	Juan Benítez	5	2.75		2100		
PP50	Pablo Morales	33			1200		
PP51	Carlina de Caraballo	27	2.84				
PP52	Picúa Dorada	9	3.27		1800		
PA53	Torres González	5	2.06		2200		Abandonado
PA54	Iglesia Central	5	2.28		1700		
PA55	Aineda Ricardo	5	2.08		2820		
PA56	Maderas Ospina	4.28	2		2050		
PP57	Daniel Vitola	10	0.45		1000		Trasteo

Tipo	Ubicación	Profundidad (metros)	Niveles 97 - 04		Conductividad μ S/cm	Fecha Construcción	Uso
			NE.	NB			
PP58	Ramiro García	75				1987	Trasteo
PP59	Carolina Alvis	42					Trasteo
PP60	Finca Rancho Alegre	76	11.48	22.90	800		Acueducto (Activo)
PA67	Vivero Las Margaritas	10	1.8		1000		Pecuario
PA70	Don Antonio	6	2.86		3580		Agropecuario

TABLA 12. INVENTARIO DE POZOS EN EL ÁREA URBANA Y EN EL CAMPO DE ABASTECIMIENTO DE SANTIAGO DE TOLÚ 1997 – 2004. Tomado de Herrera y Puentes, 1997 y Gutiérrez Ribón, 2004.

Notas: PP: Pozo Profundo PA: Pozo Artesano

3.2 INVENTARIO DE CONTAMINANTES Y ACTIVIDADES GENERADORAS DE CONTAMINACIÓN.

En cuanto al Inventario de contaminantes seleccionados en el área de estudio, incluido el casco urbano y el campo de pozos, siguiendo la clasificación de los contaminantes asumida por Pulido en 1996, del CEPIS, los resultados se agrupan en tabla 13.

TIPO DE CONTAMINANTE	CANTIDAD
INTRUSIÓN SALINA	SI
INDUSTRIA PESQUERA	1
BOTADEROS DE BASURAS	1
DESPERDICIO, LODO, ESTIÉRCOL ORIGEN CRÍA DE GANADO	4
TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE	15 c /día
CRUCE DE GASODUCTO	2
POZAS SÉPTICOS	2198
LETRINAS	1413
CÁMARAS DE INSPECCIÓN Y BOMBEO DE AGUAS NEGRAS	10
ESTACIONES DE GASOLINA	3
LAGUNAS DE OXIDACIÓN	1
LIXIVIACIÓN DE BOTADERO DE BASURAS	1
TALLERES MECÁNICOS	8
PLANTAS DE GAS	1

TABLA 13. INVENTARIO DE CONTAMINANTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. Obtenidos de observación en campo y Tablas del SISBEN

La ubicación de las actividades y fuentes de contaminación se visualizan en el anexo 5.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE

3.3.1 DISPOSICIÓN DE VERTIDOS IN SITU

De la base de datos del SISBEN correspondiente al municipio de Tolú, específicamente al área urbana compuesta por los 25 barrios se obtuvo que el número de viviendas y otras edificaciones con sistema de saneamiento in situ, ya sea por Letrinas, pozas sépticas, conexión directa arroyos o sin conexión es de 4929 edificaciones y solo 1309 poseen conexión de alcantarillado. Los resultados se expresan en la tabla 14. La Figura 11 muestra los porcentajes correspondientes a los diversos tipos de sistemas sanitarios utilizados en el área de estudio, identificándose que la cobertura de servicio de alcantarillado es menor que la exigida por el RAS 2000, para el nivel de complejidad en donde está ubicado el municipio.

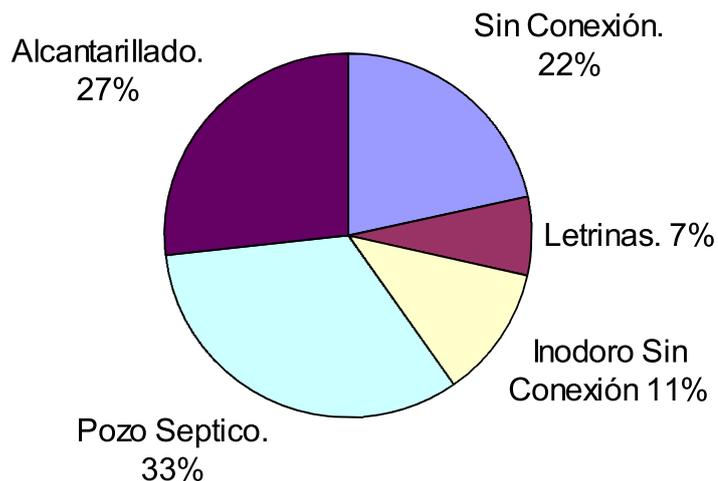


FIGURA 11. PORCENTAJES DE SISTEMAS SANITARIOS. Realizada a partir de tablas de SISBEN.

BARRIOS	1	2	3	4	5	TOTAL VIVIENDA
BRISAS DEL MAR	10	1	7	30	39	87
CALLE NUEVA	77	38	76	205	253	649
CENTRO	0	6	2	1	227	236
CIUDADELA EL GOLFO	27	11	22	40	37	137
EL ARROYITO	5	4	17	19	39	84
EL CANGREJO	141	25	81	173	177	597
EL EDÉN	60	17	22	52	30	181
EL PALMAR	26	7	40	87	71	231
EL PROGRESO	22	10	17	76	54	179
EL SANTUARIO	23	12	6	33	19	93
EL SÍMBOLO	107	26	13	67	1	214
LA ESPERANZA	81	17	19	76	11	204
LA GRACIA DE DIOS	20	16	10	64	1	111
LUIS CARLOS GALÁN	79	18	18	36	3	154
MAFUFO	27	19	22	89	82	239
PLAYA HERMOSA	90	18	11	43	0	162
SAMORA	81	17	19	76	11	204
SAN FELIPE	31	13	21	81	32	178
SAN ISIDRO	73	22	44	114	13	266
SAN MIGUEL	9	2	13	48	14	86
SANTA CATALINA	26	19	22	89	61	217
TOLÚ NUEVO	BARRIO PROYECTADO					
URB. BETANIA	7	2	2	14	1	26
URB. MARAVILLA	20	18	18	36	62	154
URB. MORROSQUILLO	26	7	40	87	71	231
TOTAL	1068	345	562	1636	1309	4920

1. SIN CONEXIÓN 2. LETRINAS 3. INODORO SIN CONEXIÓN
4. POZO SÉPTICO 5. CONEXIÓN AL ALCANTARILLADO

TABLA 14. INVENTARIO DE SISTEMAS SANITARIOS DEL ÁREA URBANA SEGÚN SISBEN 2004.

3.3.2 PELIGRO POTENCIAL

Con los anteriores datos se procedió a calcular la cobertura y el Peligro potencial de contaminación de acuerdo a la densidad de habitantes por Ha y a la cobertura de alcantarillado de cada sector evaluado, según lo expresa la tabla 15 propuesta por el CEPIS 1991.

DENSIDAD DE POBLACIÓN	COBERTURA DE ALCANTARILLADO		
	ALTA > 75%	PARCIAL (25% - 75%)	MÍNIMA < 25%
Baja (< 100 /Ha)	Baja	Moderada	Moderada
Media (100 – 200 /Ha)	Moderada	Moderada	Alta
Alta (> 200/Ha)	moderada	Alta	Alta

TABLA 15. CATEGORÍA DEL PELIGRO POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEBIDO AL SANEAMIENTO IN SITU. Tomado de Cepis, 1991.

La densidad de población calculada fue de 112 habitantes /Ha, que lo clasifica como una densidad Media.

Para cada sector en estudio se obtuvo los resultados expresados en la tabla 16. Categoría De Riesgo Potencial Por Barrios y visualizados en el anexo 6.

De los resultado expresados en la tabla se obtuvo que el 45.13% del área de estudio presenta un riesgo potencial alto, presentándose mayormente en los sectores periféricos del casco urbano donde no hay servicio de alcantarillado.

ASOC.	BARRIOS	1	2	3	4	5	TOTAL VIVIENDA	COBERTURA		ÁREA HA	RIESGO POTENCIAL	
								%	CALIFICACIÓN			
ETa	BRISAS DEL MAR	10	1	7	30	39	87	44,83	PARCIAL	2,64	MODERADA	
SLa	CALLE NUEVA	77	38	76	205	253	649	38,98	PARCIAL	36,62	MODERADA	
SLa	CENTRO	0	6	2	1	227	236	96,19	BAJA	9,05	MODERADA	
ETa	CIUDADELA EL GOLFO	27	11	22	40	37	137	27,01	PARCIAL	2,33	MODERADA	
ETa	EL ARROYITO	5	4	17	19	39	84	46,43	PARCIAL	10,68	MODERADA	
ETa	EL CANGREJO	141	25	81	173	177	597	29,65	PARCIAL	15,4	MODERADA	
SLa	EL EDÉN	60	17	22	52	30	181	16,57	MÍNIMA	4,37	ALTA	
ETa/SLa	EL PALMAR	26	7	40	87	71	231	30,74	PARCIAL	8,01	MODERADA	
SLa	EL PROGRESO	22	10	17	76	54	179	30,17	PARCIAL	16,46	MODERADA	
SLa	EL SANTUARIO	23	12	6	33	19	93	20,43	MÍNIMA	7,49	ALTA	
ETa	EL SÍMBOLO	107	26	13	67	1	214	0,47	MÍNIMA	4,86	ALTA	
ETa	LA ESPERANZA	81	17	19	76	11	204	5,39	MÍNIMA	5,88	ALTA	
SLa/ETa	LA GRACIA DE DIOS	20	16	10	64	1	111	0,90	MÍNIMA	8,39	ALTA	
ETa/PSa	LUIS CARLOS GALÁN	79	18	18	36	3	154	1,95	MÍNIMA	2,67	ALTA	
ETa	MAFUFO	27	19	22	89	82	239	34,31	PARCIAL	5,69	MODERADA	
GAA	PLAYA HERMOSA	90	18	11	43	0	162	0,00	MÍNIMA	14,01	ALTA	
GAA	SAMORA	81	17	19	76	11	204	5,39	MÍNIMA	11,57	ALTA	
SLa	SAN FELIPE	31	13	21	81	32	178	17,98	MÍNIMA	6,72	ALTA	
ETa	SAN ISIDRO	73	22	44	114	13	266	4,89	MÍNIMA	10,55	ALTA	
SLa	SAN MIGUEL	9	2	13	48	14	86	16,28	MÍNIMA	3,58	ALTA	
ETa	SANTA CATALINA	26	19	22	89	61	217	28,11	PARCIAL	2,45	MODERADA	
ETa/PSa	TOLÚ NUEVO		BARRIO PROYECTADO						0,00	NINGUNA	12,48	ALTA
ETa	URB. BETANIA	7	2	2	14	1	26	3,85	MÍNIMA	3,34	ALTA	
ETa	URB. MARAVILLA	20	18	18	36	62	154	40,26	PARCIAL	3,59	MODERADA	
ETa	URB. MORROSQUILLO	26	7	40	87	71	231	30,74	PARCIAL	3,68	MODERADA	
	TOTAL ÁREA									212,51		

TABLA 16. CATEGORÍA DE PELIGRO POTENCIAL POR BARRIOS.

3.4 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR EL MÉTODO DRASTIC.

3.4.1 PROFUNDIDAD DEL AGUA

La forma en que se calculó la profundidad del agua, fue utilizando el inventario de pozos realizado en el área de estudio, tomando el Nivel Estático promedio para cada una de las asociaciones.

3.4.2 RECARGA NETA

La recarga neta es una de las variables más difíciles de determinar, sin embargo, con la información proveniente de la investigación del Ingeniero Civil Guillermo Gutiérrez R. (2004) obtenidos en diversas estaciones meteorológicas de IDEAM, localizadas tanto en el área de estudio como en las zonas circundantes sobre un área total de 1300 Km² incluida el área tributaria de la cuenca alta del Arroyo Pichilin, afluente de la Cuenca Caribe, con un volumen de 0.899 Hm³ anuales.

Del balance hídrico realizado por el investigador, se estimó que la recarga al acuífero en esta zona es 0.691 mm / año. Claramente la recarga estimada está muy cercana del valor mínimo que contempla el método DRASTIC por lo que el índice por recarga es 1.

3.4.3 TIPO DE ACUÍFERO

Los acuíferos de esta zona se encuentran esencialmente en formaciones sedimentarias de origen fluvio – marinas que van desde arenas finas hasta gravas gruesas con intercalaciones de arcillas propiciando la formación de

tres tipos de acuífero, libre o freático, semiconfinado y confinado. Utilizando la clasificación DRASTIC se le dio una valoración de **8**. Tomando un valor típico para este tipo de material.

3.4.4 TIPO DE SUELO

Para la clasificación de tipo de suelo se utilizó el Mapa General de Asociaciones de Suelos sector Golfo de Morrosquillo, Escala 1:100000, elaborado por el IGAC en el año 1983. El anexo 2 muestra la distribución de las clases de suelos.

Los cuatro tipos de suelos son:

3.4.4.1 ASOCIACIÓN SANTA LUCIA

Suelos con arcillas – arenosas pegajosas y adhesivas que se agrietan en verano, de color oscuro y profundo, seco por más de 90 días acumulativos, algunos menos, contenido de arcillas 2:1 y otros mejor contenido de materia orgánica. Por su buen contenido de arcillas se le asignó un índice DRASTIC de **3**.

3.4.4.2 ASOCIACIÓN ESTANZUELA

Suelo oscuro, de superficial a moderadamente profundo con buen contenido de materia orgánica, se asocia con texturas más finas a gruesas, con moderada permeabilidad. Este suelo se clasificó con un valor DRACTIC de **5** por su textura más gruesa, que aumenta la permeabilidad.

3.4.4.3 ASOCIACIÓN LA GRANJA

Suelo claro y superficial con poco contenido de materia orgánica, se caracteriza por ser un material muy permeable de alto contenido de arena y gravas finas, se asocia a suelos de drenaje fácil. Su índice DRACTIC es estimado en **9** pues posee una alta permeabilidad.

3.4.4.4 ASOCIACIÓN PICHILIN

Suelo oscuro – grisáceo, superficial, con alto contenido de arcillas en su capa superior, pero las capas inferiores con contenidos de arenas finas con intercalaciones areno arcillosas, asociado con suelos con muy poco desarrollo y delgados; y suelos poco más desarrollados pero poco profundos. Por ser suelos delgados se le asignó un valor del índice DRACTIC de **8**.

3.4.5 PENDIENTE

La determinación de la pendiente se realizó a través de los estudios elaborados por el IGAC en 1983 y por los levantamientos planimétricos efectuados durante la investigación ratificando algunas pendientes y modificando otras buscando ser más precisos en los resultados.

En la tabla 17 de datos para evaluar el método se muestra los resultados para cada asociación.

3.4.6 IMPACTO EN LA ZONA NO SATURADA

Se utilizó el Mapa Hidrogeológico del Golfo de Morrosquillo. En el cual se identificó con ayuda de las características de las asociaciones que la zona no

saturada esta compuesta por materiales idénticos a los de las capas acuíferas, por lo que se procedió a signar un valor de 8 pues se utilizó el valor típico de la categoría de arena y grava.

3.4.7 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica de los acuíferos se estableció a través de pruebas de campo realizadas por el INGEOMINAS para el estudio Hidrogeológico de la zona norte del Departamento de Sucre.

Los resultados fueron determinados por pruebas de bombeo realizadas para la investigación y por unas anteriormente realizadas con fines investigativos.

Para el proceso de cálculo del método se procedió a agrupar la información en la tabla 17 donde se describen las características predominantes para cada factor en cada asociación.

Remplazando los puntajes de cada parámetro para cada acuífero en la ecuación base del método DRASTIC, al igual que el peso de ponderación se tiene que el índice de Vulnerabilidad en cada uno de ellos como se muestra en la tabla 18. Es importante recalcar que por el tipo de infraestructura que se maneja en el campo de pozos del acueducto todas las capas acuíferas mezclan sus aguas al ser extraída en el bombeo y que las aguas del acuífero libre caen por goteo las aguas al acuífero semi-confinado o el acuífero B. El mapa de localización de las zonas de vulnerabilidad según DRASTIC se observa en el anexo 7.

TABLA 17. DATOS DE CADA FACTOR POR ACUÍFERO EN CADA ASOCIACIÓN.

		DATOS						
ASOC.	ACUÍFERO	D (m)	R (m/año)	A	S	T %	I	C m/día
SANTA LUCIA	A	6.32	0.691	El medio acuifero esta conformada por arenas finas a gruesas y gravas finas con clastos y pizarras	Arcillas arenosas compactadas	4	Arcillas con arenas finas y pizarras	1.47 x 10 ⁻³
	B	15		Arenas gruesas y gravas finas con clastos y pizarras				
	C	30.0						
ESTANZUELA	A	3.65		El medio acuifero esta conformada por arenas finas a gruesas y gravas finas con clastos y pizarras	Franco arcilloso	< 3	Arcillas con arenas finas y pizarras	1.47 x 10 ⁻³
	B	15		Arenas gruesas y gravas finas con clastos y pizarras				
	C	30						
LA GRANJA	A	2.25		El medio acuifero esta conformada por arenas finas a gruesas y gravas finas con clastos y pizarras	Arena	< 3	Arenas, Chert	1.47 x 10 ⁻³
	B	12		Arenas gruesas y gravas finas con clastos y pizarras				
	C							
PICHILIN	A	1.9	El medio acuifero esta conformada por arenas finas a gruesas y gravas finas con clastos y pizarras	Franco arenoso	< 3	Areno arcilloso	1.47 x 10 ⁻³	
	B	15	Arenas gruesas y gravas finas con clastos y pizarras					
	C	30						

ASOC.	ACUÍ	D		R		A		S		T		I		C	VALOR	GRADO DE VULNERABILIDAD	
		r	w	r	w	r	w	r	w	r	w	r	w				R
SANTA LUCIA	A	7	5	1	4	8	3	3	2	8	1	8	5	1	3	120	BAJA
		35		4		24		6		8		40		3			
	B	3	5	1	4	8	3	3	2	8	1	8	5	1	3	100	INSIGNIFICANTE
		15		4		24		6		8		40		3			
	C	1	5	1	4	8	3	3	2	8	1	8	5	1	3	90	INSIGNIFICANTE
		5		4		24		6		8		40		3			
ESTANZUELA	A	9	5	1	4	8	3	5	2	8	1	8	5	1	3	134	BAJA
		45		4		24		10		8		40		3			
	B	3	5	1	4	8	3	5	2	8	1	8	5	1	3	104	MUY BAJA
		15		4		24		10		8		40		3			
	C	1	5	1	4	8	3	5	2	8	1	8	5	1	3	94	INSIGNIFICANTE
		5		4		24		10		8		40		3			
LA GRANJA	A	9	5	1	4	8	3	9	2	8	1	8	5	1	3	142	MODERADA
		45		4		24		18		8		40		3			
	B	3	5	1	4	8	3	9	2	8	1	8	5	1	3	112	MUY BAJA
		15		4		24		18		8		40		3			
	C	1	5	1	4	8	3	9	2	8	1	8	5	1	3	102	MUY BAJA
		5		4		24		18		8		40		3			
PICHILIN	A	9	5	1	4	8	3	8	2	8	1	8	5	1	3	140	MODERADA
		45		4		24		16		8		40		3			
	B	3	5	1	4	8	3	8	2	8	1	8	5	1	3	110	MUY BAJA
		15		4		24		16		8		40		3			
	C	1	5	1	4	8	3	8	2	8	1	8	5	1	3	100	INSIGNIFICANTE
		5		4		24		16		8		40		3			

TABLA 18. RESULTADOS DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR ASOCIACIÓN SEGÚN METODOLOGÍA DRASTIC.

3.5 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD POR EL MÉTODO GOD'S MODIFICADO.

3.5.1 CLASIFICACIÓN TEXTURAL DEL SUELO

Para la determinación textural de los suelos se utilizaron los datos de los perfiles representativos de los conjuntos de suelos presentes en la zona de estudio, de donde se establecieron los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Para las asociaciones de suelo se da un rango textural, como se expresa en la tabla 19. Luego se hizo la estimación de la permeabilidad del suelo según la clasificación para cada clase textural. (Mapa de asociaciones de suelo.)

ASOCIACIÓN	CLASIFICACIÓN	PERMEABILIDAD
SANTA LUCIA	FRANCO ARCILLO	MODERADAMENTE PERMEABLE
ESTANZUELA	FRANCO ARCILLOSO	MODERADAMENTE PERMEABLE
LA GRANJA	ARENOSO	MUY PERMEABLE
PICHILIN	ARCILLOSO	MODERADAMENTE PERMEABLE

TABLA 19. CLASIFICACIÓN TEXTURAL POR ASOCIACIÓN DE SUELOS. Tomado de Mapa General de Sucre.

La clasificación de la permeabilidad en el área de estudio varía entre moderadamente permeable y muy permeable.

3.5.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN LA PROFUNDIDAD EFECTIVA.

La valoración de la profundidad efectiva del suelo se basó en la clasificación empleada por la división agrológica del IGAC (tabla 20), de esta manera se

podieron establecer los rangos de profundidad efectiva de cada asociación ubicados en la tabla 21.

PROFUNDIDAD(cm.)	CLASIFICACIÓN
< 20	MUY SUPERFICIAL
20 – 50	SUPERFICIAL
50 – 90	MODERADAMENTE PROFUNDOS
90 – 150	PROFUNDOS

TABLA 20. RANGOS DE PROFUNDIDAD EFECTIVA. Tomado de División Agrológica del IGAC.

ASOCIACIONES DE SUELO	CLASIFICACIÓN
LA GRANJA	MUY SUPERFICIAL
ESTANZUELA	SUPERFICIAL - MODERADAMENTE PROFUNDOS
SANTA LUCIA	PROFUNDOS
PICHILIN	SUPERFICIAL

TABLA 21. RANGO DE CLASIFICACIÓN DE PROFUNDIDAD EFECTIVA PARA ASOCIACIONES DE SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Estos resultados permitieron identificar finalmente las características de las asociaciones, las cuales son las que aportan la valoración al **parámetro S** del método GOD'S modificado.

3.5.3 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Multiplicando los parámetros $G * O * D * S$, para las asociaciones teniendo en cuenta su influencia hacia cada uno de los estratos acuíferos se obtuvo el grado de vulnerabilidad, expresado así en la tabla 22 y en el anexo 8:

ASOCIACIÓN	PARÁMETROS					ÍNDICE DE VUL/DAD	GRADO DE VUL/DAD
	Acuífero	G	O	D	S		
SLa	A	1	0,5	0,7	0,6	0,2	BAJA
	B	0,5	0,5	0,7	0,6	0,1	BAJA
	C	0,2	0,5	0,5	0,6	0,0	NINGUNA
ETa	A	1	0,7	0,7	0,6	0,3	MODERADA
	B	0,5	0,7	0,7	0,6	0,1	BAJA
	C	0,2	0,7	0,5	0,6	0,0	NINGUNA
GAa	A	1	0,6	0,7	0,9	0,4	MODERADA
	B	0,5	0,6	0,7	0,9	0,2	BAJA
	C	0,2	0,6	0,5	0,9	0,1	NINGUNA
PSa	A	1	0,6	0,7	0,8	0,3	MODERADA
	B	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	BAJA
	C	0,2	0,6	0,5	0,8	0,0	NINGUNA

TABLA 22. GRADO DE VULNERABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO GOD'S MODIFICADO

3.6 DETERMINACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL EN LAS ZONAS DE VULNERABILIDAD

Teniendo en cuenta el riesgo de contaminación por la presencia de las unidades de saneamiento in situ en los diferentes barrios y su ubicación sobre las cuatro diferentes asociaciones de suelo presentes en el área de estudio se procedió a superponer el mapa de riesgo potencial a la contaminación por saneamiento in situ con el mapa de vulnerabilidad del acuífero obtenido por la metodología aplicada, dividiendo la zona de estudio en áreas según la cobertura del alcantarillado y la asociación sobre la cual estaban, expresado en la tabla 23.

ASOCIACIÓN	BARRIOS	ÁREA TOTAL (Ha)	DRASTIC		GODS		Riesgo de contaminación
			ÁREA (Ha)		ÁREA (Ha)		
			V. Mod.	V. Baja	V. Mod.	V. Baja	
ETa	BRISAS DEL MAR	2,64	0.01	2.63	2,64	0	MODERADO
SLa	CALLE NUEVA	36,62	0,11	36,51	5,49	31,13	MODERADO
SLa	CENTRO	9,05	0	9,05	0	9,05	MODERADO
ETa	CIUDADELA EL GOLFO	2,33	0	2.33	2,33	0	MODERADO
ETa	EL ARROYITO	10,68	0	10.68	9,08	1,6	MODERADO
ETa	EL CANGREJO	15,4	0	15.40	10,77	4,63	MODERADO
SLa	EL EDÉN	4,37	0	4.37	0,4	3,97	ALTO
ETa/ SLa	EL PALMAR	8,01	0	8.01	8,01	0	MODERADO
SLa	EL PROGRESO	16,46	0	10.46	1,49	14,97	MODERADO
SLa	EL SANTUARIO	7,49	0	7.49	1,47	6,02	ALTO
ETa	EL SÍMBOLO	4,86	0	4.86	4,86	0	ALTO
ETa	LA ESPERANZA	5,88	0	5.88	5,88	0	ALTO
SLa/ ETa	LA GRACIA DE DIOS	8,39	0	8.39	5,19	3,2	ALTO
ETa/ PSa	LUIS CARLOS GALÁN	2,68	0.55	2.13	2,68	0	ALTO
ETa	MAFUFO	5,69	0	5.69	4,4	1,29	MODERADO
GAa	PLAYA HERMOSA	14,01	11,5	2,51	11,5	2,51	ALTO
GAa	SAMORA	11,57	6,77	4,8	6,77	4,8	ALTO
SLa	SAN FELIPE	6,72	0	6.72	1,06	5,66	ALTO
ETa	SAN ISIDRO	10,55	0	10.55	10,37	0,18	ALTO
SLa	SAN MIGUEL	3,58	0	3.58	0,47	3,11	ALTO
ETa	SANTA CATALINA	2,45	0	2.45	2,45	0	MODERADO
ETa/ PSa	TOLÚ NUEVO	12,48	1.94	10.54	12,48	0	ALTO
ETa	URBANIZACIÓN BETANIA	3,34	0	3.34	3,34	0	ALTO
ETa	URBANIZACIÓN MARAVILLA	3,59	0	3.59	3,59	0	MODERADO
ETa	URBANIZACIÓN MORROSQUILLO	3,68	0	3.68	3,68	0	MODERADO

TABLA 23. ÁREA DE CADA BARRIO SOBRE ZONAS DE VULNERABILIDAD EN AL ÁREA DE ESTUDIO CON SU RESPECTIVO RIESGO DE CONTAMINACIÓN.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 PLANTEAMIENTO CUANTITATIVO SIMPLE PARA PREDECIR LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO GOLFO MORROSQUILLO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Para llevar a cabo el objetivo de determinar la vulnerabilidad fue necesario calcular e identificar las características intrínsecas del medio acuífero que nos condujeran a valorar lo mas real posible los parámetros necesario para establecer la vulnerabilidad del acuífero Golfo de Morrosquillo en el área de estudio mediante las metodologías GOD'S y DRASTIC frente al riesgo potencial a la contaminación por saneamiento in situ que representan los diferentes barrios que conforman el casco urbano del municipio; Estableciendo un orden prioritario de atención según los resultados obtenidos de la combinación de las diferentes metodologías y el riesgo propio que representan los diversos asentamientos urbanos.

4.2 PREDICCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL ENTORNO AFECTADO. IMPACTOS A MICRO-ESCALA.

El emplazamiento apropiado para realizar la evaluación ambiental en éste caso es el área en donde históricamente se ha ubicado el municipio Santiago de Tolú y las áreas comprendidas como zona urbana en la que actualmente se esta desarrollando asentamientos urbanos, producto de la migración de la zona rural y otros municipios, que no cuentan con una planificación urbanística acorde con la disposiciones propuestas en el plan de ordenamiento municipal que propendan por el desarrollo social y ambientalmente sostenible, minimizando el impacto la expansión urbanística sobre el recurso hídrico subterráneo de vital importancia para el consumo

humano y el uso doméstico en el Municipio de Santiago de Tolú. Esta evaluación no da lugar a comparaciones con otro entorno afectado.

La metodología anunciada, denominada por Canter en Canter, 1998, los “impactos a micro escala” consisten en los impactos presentes y potenciales sobre el agua subterránea local dentro de los límites del área de estudio. Teniendo en cuenta el entorno hidrogeológico en estudio, se procedió específicamente con la técnica de índices empíricos DRASTIC para determinar la Vulnerabilidad del Acuífero, al igual que el método GOD’S modificado según metodología del CEPIS, conforme lo expresado en el numeral 1.5.4, frente a la valoración de la carga contaminante producto del saneamiento in situ.

4.3 METODOLOGÍA DRASTIC

La interpretación de la valoración de los parámetros evaluados para el índice de vulnerabilidad en cada asociación dentro del área de estudio presentados en la tabla 18 GRADO DE VULNERABILIDAD PARA CADA ASOCIACIÓN, da como resultado:

4.3.1 ASOCIACIÓN SANTA LUCIA

En esta, el acuífero A o libre, presenta un índice total de 120 puntos de Vulnerabilidad, que lo clasifica como un acuífero de VULNERABILIDAD BAJA.

El acuífero B o semi-confinado, tuvo un puntaje de 100 puntos, que lo clasifica como un acuífero con grado de VULNERABILIDAD INSIGNIFICANTE. De igual forma el acuífero C o confinado, tiene un puntaje

de 90 puntos determinados por la profundidad del acuífero que lo clasifica con un grado de VULNERABILIDAD INSIGNIFICANTE.

El área de estudio es de 851,94 Ha de las cuales 240,13 Ha corresponden a esta asociación en donde 91.90 Ha se encuentran dentro del área urbana de las cuales 30.33 Ha están en un riesgo potencial de contaminación alta debido al saneamiento in situ, correspondiente al 33% y el restante 67% de la asociación que se encuentra debajo del área urbana, equivalente a 61.57 Ha se encuentra sometido a un riesgo potencial de contaminación moderado. Esta es la tercera asociación en tamaño de afloramiento en la zona de estudio.

La asociación Santa Lucía, es la formación en la cual están ubicados los pozos de abastecimiento de agua potable para el área urbana del municipio. Con excepción del pozo Rancho Alegre que se ubica sobre la asociación Estanzuela.

De los tres acuíferos se determino que el acuífero A o libre es para esta asociación el más vulnerable al igual que para las demás asociaciones cada una con su grado de vulnerabilidad. Este acuífero es el más explotado en el casco urbano a través de pozos profundos y artesanos, extrayéndose agua destinada al uso domestico y comercial para suplir la demanda de la población, estos se encuentran en mayor parte en el mismo sitio donde existe una unidad de saneamiento in situ, ya sea Letrina, poza séptica, tubería inodoro pozo séptico, los cuales no tienen protección sanitaria.

4.3.2 ASOCIACIÓN ESTANZUELA

En esta, el acuífero A o libre presenta una valoración del índice de

vulnerabilidad total de 134 puntos que lo categoriza como zona de VULNERABILIDAD BAJA.

El acuífero B, presenta una valoración de 104 puntos calificando como VULNERABILIDAD MUY BAJA. Valorando en igual forma el acuífero C, se obtuvo para este un grado de VULNERABILIDAD INSIGNIFICANTE correspondiente a 94 puntos. El área de esta asociación dentro de la zona de estudio es de 285.36 Ha, de las cuales el 47.68% correspondiente a 136.06 Ha que se encuentran bajo un riesgo potencial de contaminación alto y el 52.32% restante del área en la zona urbana se encuentra en riesgo potencial de contaminación moderado. Cabe anotar que esta asociación presenta la mayor afloración dentro del área urbana en los sectores periféricos donde se hace mayor uso del saneamiento in situ.

4.3.3 ASOCIACIÓN LA GRANJA

El acuífero A presenta un grado de VULNERABILIDAD MODERADA correspondiente a un puntaje de 142 puntos.

El acuífero B y C con 112 y 102 puntos respectivamente, califican como zona de VULNERABILIDAD MUY BAJA.

El área de esta asociación dentro de la zona de estudio es de 275.3 Ha de las cuales solamente 18.27 Ha hacen parte del área urbana, el 100% de esta se encuentra bajo un riesgo potencial de contaminación alto por saneamiento in situ donde la cobertura de alcantarillado va de 0 – 3%, de 366 viviendas solamente 11 cuentan con este servicio, y corresponde a los barrios subnormales desarrollados en la periferia norte cercana a la vía que conduce al corregimiento del francés.

4.3.4 ASOCIACIÓN PICHILIN

El grado de vulnerabilidad determinado para esta asociación de acuerdo a los acuíferos fue MODERADO, para el acuífero A, con índice de 140 puntos, MUY BAJA para el acuífero B, con índice de 110 puntos y para el acuífero C, con índice de 100 puntos dando un grado de VULNERABILIDAD INSIGNIFICANTE. El área de afloramiento de esta asociación dentro de la zona de estudio es de 51.15 Ha, de las cuales 2.58 Ha se encuentran dentro del área urbana y el 100% esta en riesgo potencial de contaminación alto, aflora en el sector sur del municipio y sobre ella están establecidos los barrios Luis Carlos Galán y Tolú Nuevo, en construcción.

Los datos referentes al riesgo de cada una de las asociaciones dentro del área urbana se encuentran expresados en la tabla 24.

ASOCIACIONES	ÁREA Ha	Área no ocupada	Área urbana	Área R. Alto	%	Área R. Moderado	%
ESTANZUELA	285,36	185,60	99,76	47,57	47,68	52,19	52,32
SANTA LUCIA	240,13	148,23	91,90	30,33	33,00	61,57	67,00
LA GRANJA	275,30	257,03	18,27	18,27	100,00	0	0,00
PICHILIN	51,15	48,57	2,58	2,58	100,00	0	0,00
Total	851,94	639,43	212,51	98,75		113,8	

TABLA 24. PONDERACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO.

4.4 METODOLOGÍA GOD'S MODIFICADO

En el área de estudio se asignaron valores a cada uno de los parámetros que intervienen en la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología ya explicada y se obtuvo el mapa de vulnerabilidad GOD'S a escala 1:8500 que se presenta en el anexo 4. En este mapa se definen dos zonas: la de

moderada vulnerabilidad, con índice de vulnerabilidad entre 0.30 y 0.34 que ocupa un área de 120.39 Ha correspondientes al 56.7% del área urbana, y la de vulnerabilidad baja, con valores de este índice de 0.2 y que abarca el 43.3% del área urbana. El área de estudio en términos generales esta comprendida por una zona de vulnerabilidad moderada, conformada por las asociaciones Estanzuela, La Granja y Pichilin con un área de 611.81 Ha y por la asociación Santa Lucia que conforma la zona de vulnerabilidad baja con un área de 240.13 Ha. En términos generales se puede decir que el acuífero presenta una vulnerabilidad moderada. Se destaca que el campo de pozos del Acueducto, ubicado al Sur-oriente en la porción central, se encuentra en una zona de vulnerabilidad moderada.

4.4.1 ASOCIACIÓN SANTA LUCIA

Los índices de vulnerabilidad de los acuíferos A y B en este sector fueron 0.2 y 0.1 respectivamente, que los ubican dentro del rango de vulnerabilidad bajo. Presentándose que estas capas acuíferas son vulnerables a contaminantes que son muy móviles y persistentes, y a eventos de contaminación continuos durante largos periodos de tiempo. El impacto causado en el acuífero se caracteriza por ser de efecto a largo plazo y sus manifestaciones sobre la calidad del agua son tan débiles que suelen pasar inadvertidos durante mucho tiempo.

La capa confinada, acuífero C, una vez evaluada arrojó un índice de 0.03, con la cual se tiene en la escala de vulnerabilidad se considera despreciable.

4.4.2 ASOCIACIÓN ESTANZUELA – LA GRANJA – PICHILIN.

Estas asociaciones presentan igual susceptibilidad a la carga contaminante,

aunque la textura de las capas de suelos sea diferente su índice de vulnerabilidad se encuentran dentro del mismo rango. La capa acuífera A en la evaluación realizada arrojó un valor de 0.34 que la ubica en el rango de vulnerabilidad moderada, lo cual lo hace un acuífero vulnerable a contaminantes relativamente móviles y/o persistentes o bien, a eventos de contaminación continua, causados durante largos periodos de tiempo.

El índice de vulnerabilidad correspondiente a la acuífera B, de 0.1, corresponde a un grado de vulnerabilidad bajo y la capa acuífera C por presentar un índice inferior a 0.1, se clasifica con vulnerabilidad despreciable. Cabe anotar que a pesar de no ser “susceptible” a la acción de agentes contaminantes derivados del saneamiento in situ, en caso de presentarse contaminación en esta el proceso de descontaminación sería largo, costoso y técnicamente imposible.

4.5 DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Comparando los dos métodos tenemos que ambos identifican las mismas zonas como moderadas y bajas, a excepción de la zona determinada por la asociación Estanzuela en donde por la metodología DRASTIC se obtuvo que la vulnerabilidad es Baja y por la metodología GOD'S, la vulnerabilidad es Moderada como se aprecia en los anexos 7 y 8 respectivamente para cada metodología, de acuerdo a los resultados y a la información evaluada a través de los parámetros, se aprecia mucho más la vulnerabilidad a una posible contaminación en los resultados arrojados por el DRASTIC, por la gran información que maneja el método y sus resultados son más exactos cuando se trabaja en áreas de estudio de este tamaño, por lo cual asumen los investigadores que el mapa definitivo está regido por la información

DRASTIC, no dejando atrás los resultados de los índices de GOD'S, para lo que es profundidad y textura del suelo, teniéndose esto en cuenta como un resultado óptimo y seguro de la Capacidad de atenuación y disipación de los suelos sobre los acuíferos ante un posible contaminante.

El riesgo de contaminación se determino de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, expresado en el mapa definitivo (DRASTIC) y en la caracterización de la carga contaminante por Saneamiento in Situ al subsuelo, expresado en el mapa Peligro Potencial a la contaminación expresado en el anexo 6. Los resultados de la superposición del anexo 6 con cada uno de las metodologías se aprecian en los anexos 9 y 10, denominados Superposición Peligro Potencial Vs. DRASTIC y Superposición Peligro Potencial Vs. GOD'S.

Superponiendo estos mapas se zonifico la zona de estudio en los niveles de riesgo a la contaminación por Saneamiento In Situ según la convergencia entre Riesgo Potencial y Vulnerabilidad, estableciéndose dos zonas de Riesgo, una de riesgo moderado dividida en dos sub-zonas y una de riesgo bajo. Anexo 11

4.5.1 ZONA DE MODERADO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN

4.5.1.1 SUB-ZONA 1. RIESGO ALTO-VULNERABILIDAD MODERADA

Esta zona está compuesta por la convergencia de la zona de peligro potencial alto producto del saneamiento in situ y la zona de Vulnerabilidad Moderada. Se encuentran ubicadas en el sector periférico norte en los barrios playa hermosa y Samora, parte sur de los barrios Nuevo Tolú y Luis Carlos Galán.

4.5.1.2 SUB-ZONA 2. RIESGO MODERADO-VULNERABILIDAD BAJA

La Zona de Peligro Potencial Moderado y la Zona de Vulnerabilidad Baja, conforman esta sub-área de evaluación, en ella se encuentran ubicados los barrios céntricos a orillas de la playa; El Cangrejo, El Arroyito, El centro, El Progreso y Barrio periférico Maravilla como un primer grupo de barrios.

Un segundo sector determinado en esta sub-zona con una mayor área de cobertura es el ubicado de la parte oriental a sur-oriental delimitado por la carretera que de este municipio conduce al municipio de Coveñas, los barrios sectorizados son: El Palmar, Urb. El golfo, Urb. Morrosquillo, Brisas del Mar, Santa Catalina, Mafufo y el barrio Calle Nueva (el más extenso de los barrios desde la playa hasta la carretera).

4.5.2 ZONA DE BAJO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN

4.5.2.1 SUB-ZONA 3. RIESGO ALTO-VULNERABILIDAD BAJA

Este sector está determinado por la superposición de la Zona de Peligro Potencial Alto y la Zona de Vulnerabilidad Baja. La ubicación de esta sub-zona esta dada en el sector de los barrios Playa Hermosa, en la parte sur oriental entre la vía que conduce a el Francés y la vía que conduce al corregimiento de Pita.

Otro sector de ubicación de esta área es la formada por la parte oriental y occidental de los barrios Samora, Gracia de Dios, El Símbolo, La Esperanza y San Isidro.

Un tercer sector es el conformado por los barrios San Miguel, El Santuario, San Felipe y El Edén, ubicados entre la avenida Circunvalar y la salida hacia el municipio de Sincelejo.

Un cuarto sector es el formado en la parte sur del área urbana limitada por el arroyo Pichilin, por los barrios Betania, Luis Carlos Galán y la zona de construcción del barrio Nuevo Tolú en su mayor extensión.

4.5.3 ZONA DE MUY BAJO RIESGO A LA CONTAMINACIÓN

La zona de muy bajo riesgo a la contaminación fue determinada como la zona donde el peligro potencial a la contaminación es muy bajo o no existe peligro alguno, debido a que el porcentaje de utilización de Saneamiento In situ es mínimo o nulo y la zona de vulnerabilidad es baja, donde los posibles contaminantes como el Nitrato producto del saneamiento in situ pueden ser disipados o atenuados muy rápidamente. Esta zona se ubicada en el área denominada Zona de Expansión Urbana (Z.E.U.), que por el momento puede ser baja pero según se desarrolle el crecimiento urbanístico dentro de los próximos 10 años puede ser considerada como zona de moderado o alto riesgo de contaminación.

Dentro del proceso de evaluación del área de estudio se identifico un sector ubicado al oriente y nororiente del casco urbano compuesto por una serie de barrios o asentamientos subnormales, los cuales presenta condiciones sanitarias deficientes, donde se presenta mayor facilidad para la proliferación de enfermedades producto de agentes y sustancias patógenas provenientes de las pozas sépticas o del manejo inadecuado de sus desechos.

Al tenor de las disposiciones establecidas en el Reglamento RAS vigente en nuestro país, examinamos el cambio en el entorno, el municipio no cuenta con la cobertura del servicio de alcantarillado establecido para su nivel de complejidad, favorecido por la ausencia de control en los procesos de urbanización y el creciente desarrollo de asentamientos urbanos en la zona periférica, los cuales presentan un manejo inadecuado de los sistemas alternos de saneamiento in situ que utilizan.

CONCLUSIONES

Como conclusiones de carácter general se plantean las siguientes:

DE LAS METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

- La metodología DRASTIC utiliza las variables de profundidad del agua subterránea, recarga neta, tipo de acuífero, tipo de suelo, pendiente, impacto en la zona no saturada y conductividad hidráulica. El método GOD por su parte utiliza la profundidad del agua subterránea, el impacto en la zona no saturada y la ocurrencia del agua subterránea. Y es necesario incorporarle el parámetro (S) suelo para poder considerar el efecto de atenuación de este sobre la carga contaminante. Al despreciar o tomar en cuenta el efecto del suelo en la atenuación de contaminantes y por lo tanto en la vulnerabilidad, debe tenerse sumo cuidado al establecer el posible contaminante y su modo de aplicación en el área.
- Las metodologías de vulnerabilidad a la contaminación parten del supuesto de aplicación de la carga contaminante en la superficie o directamente debajo de ella. No son muy apropiadas para la determinación de la amenaza por cargas contaminantes introducidas por debajo del subsuelo ó lateralmente.
- El método DRASTIC es mucho más complejo que el método GOD por la utilización de un número mayor de variables. Sin embargo algunas de estas variables son tomadas también en cuenta por el método GOD en forma indirecta a través de la amenaza.
- Otra diferencia sustancial es el modelo matemático. Mientras el GOD es un modelo multiplicativo, el DRASTIC es un modelo sumativo con

asignación de pesos a las variables.

- El Índice DRASTIC presenta una mayor variabilidad que el Índice GOD, tanto por su mayor número de variables como por su mayor número de categorías en cada variable.

DE LOS RESULTADOS DE VULNERABILIDAD EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

- Debido a que los tiempos de residencia del agua en la zona no saturada son cortos debido a la permeabilidad existente en el área de estudio, los efectos de los eventos contaminantes (dependiendo del contaminante) pueden apreciarse en meses o años. Este tiempo puede ser menor en el caso de infiltraciones al acuífero desde el cauce de los arroyos Güainí o Pichilin o desde las áreas de ubicación de los pozos de abastecimiento, activos, inactivos y/o abandonados, en donde están presentes las letrinas o los pozos sépticos, infiltrándose aguas servidas, tanto por percolación como por escorrentía, esta última producto del desborde o inundación de las letrinas por lluvias infiltrándose el agua contaminada por los sellos sanitarios o por el empaque de grava del pozo.
- En general los índices DRASTIC y GOD'S coinciden en las áreas de moderada y baja vulnerabilidad respectivamente, debido al mayor peso de las variables de profundidad y conformación de la zona no saturada en el índice DRASTIC, que son dos de las cuatro variables del índice GOD'S.
- La introducción del parámetro S (atenuación del suelo) en el método GOD'S permite una mejor convergencia con los resultados obtenidos en el índice DRASTIC.
- La mayoría de la zona de estudio se encuentra en niveles de

vulnerabilidad baja, debido a la poca recarga natural que presenta el acuífero y la capa de suelo que tiende a ser poco permeable casi en toda su extensión. De toda el área de estudio mucho menos de un 28% tiene un nivel moderado de vulnerabilidad, comprendido por las asociaciones de suelo La Granja y Pichilin.

- La mayor extensión del área urbana se encuentra sobre un suelo con Vulnerabilidad Baja, a consecuencia que las asociaciones Estanzuela y Santa Lucia presentan esta vulnerabilidad.
- Con base en lo anterior, las zonas de mayor vulnerabilidad a la contaminación por Saneamiento In Situ se concentran en las áreas periféricas del casco urbano, tanto en el norte (Playa Hermosa y Samora), y en el Sur (Luis Carlos Galán y Nuevo Tolú), estos últimos ubicados en cercanías del cause del Pichilin y sobre su asociación, debido a la alta concentración del uso del saneamiento in situ y por ende a la baja cobertura del sistema de alcantarillado.
- La clasificación del suelo, de acuerdo a la textura y permeabilidad permitió establecer la capacidad de atenuación de contaminantes que puede presentar los suelos en el área de estudio, presentándose permeabilidades de moderadamente permeables (SLa, ETa y PSa) a muy permeables (GAa).
- Las características físicas del suelo no presentan una mayor defensa natural al acuífero en el área correspondiente a las asociaciones La Granja y Pichilin, por ser en su mayoría superficiales y permeables en especial, en lo que corresponde al área urbana debido a su cercanía al mar y que llevan un ángulo ascendente de oeste a este. Solo las asociaciones Santa Lucia y Estanzuela en la parte del campo de pozos presentan capas no saturadas mayores a 15 metros.
- En el área proyectada para el barrio Tolú Nuevo se estableció un riesgo de contaminación alto, considerando para esta valoración que el sector no presenta actualmente redes de recolección del sistema de

alcantarillado y se prevé la implementación del Saneamiento in Situ como solución primaria.

- A pesar de los resultados obtenidos al aplicar las dos metodologías anteriormente expuestas se debe tener muy en cuenta las condiciones propias del área de estudio, en la cual durante las épocas de lluvia el nivel freático aumenta y se presenta un evidente intercambio de aguas entre las obras de saneamiento in situ y el subsuelo, cuando llueve las pozas se rebosan, tal como se aprecia en el anexo 12.7, lo que nos lleva a suponer una migración de agentes contaminantes desde las obras de saneamiento in situ hacia el acuífero, premisa que debe ser corroborada mediante la realización de futuras investigaciones sobre el mismo.

RECOMENDACIONES

A la Alcaldía Municipal de Santiago de Tolú:

- Se le recomienda, como ente ordenador del uso de los suelos del área urbana, a través de la Secretaría de Planeación, la utilización del Mapa Definitivo de Vulnerabilidad del Acuífero Golfo de Morrosquillo en la zona urbana, como herramienta de apoyo en la formulación y desarrollo de planes urbanísticos que contribuyan al manejo sostenible del recurso hídrico subterráneo.
- Elaborar planes de ampliación de cobertura del servicio de alcantarillado direccionados prioritariamente hacia las zonas de Saneamiento In Situ, clasificadas como de riesgo Moderado-Alto.
- Ejecutar campañas de concientización y adiestramiento sobre el manejo sanitario y ambiental de las unidades de saneamiento in situ, letrinas, fosas y pozas sépticas.
- Para la futura reubicación del botadero a cielo abierto de los residuos sólidos del municipio, tener en cuenta para este efecto las zonas de baja vulnerabilidad, perentoriamente, y que la solución a construir este acorde con lo establecido por el reglamento RAS, vigente.
- Conjuntamente con la Corporación Autónoma, CARSUCRE, se seleccionen puntos para la instalación de piezómetros con el fin de evaluar periódicamente la calidad físico-química y microbiológica del agua para detectar posibles contaminantes.
- Es indispensable que dentro de las calidades de aguas realizadas al sistema de acueducto se evalúe el parámetro de Nitratos NO_3 que permitan detectar posible contaminación por lixiviados provenientes de las letrinas del área urbana.
- Establecer perímetros de protección a las obras de captación que

abastecen al acueducto municipal.

- Sellar los pozos que se encuentran fuera de funcionamiento o adecuarlos como piezómetros, debido a que actualmente son puntos de contaminación directa hacia las capas acuíferas.
- Realizar de manera particular o en convenio con la Universidad de Sucre, bajo la asesoría de la Corporación Autónoma Regional CARSUCRE, el estudio de las redes de flujo del acuífero en su jurisdicción, el cual permitirá establecer el flujo de contaminantes dentro del acuífero.
- Adquirir las zonas que se estimen convenientes, considerando la valoración de la vulnerabilidad del medio acuífero, destinadas a la protección y sostenibilidad del recurso hídrico, única fuente de abastecimiento de agua potable del municipio, según lo establecido en los artículos 107 y 111 de la ley 99 de 1993.

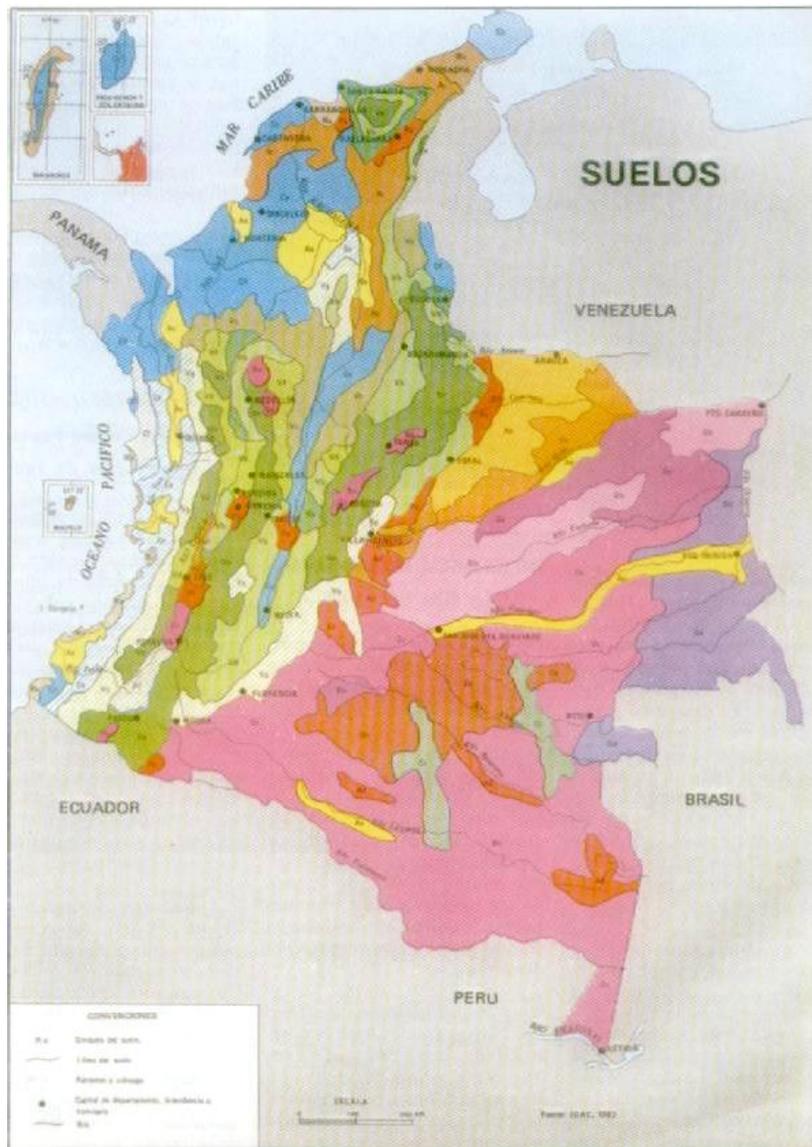
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLER L. ET AL. "Drastic: A Standardized System For Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydro geologic Settings". Junio. 1987.
- CANTER. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. 1998
- CARBONELL, Metodología. Taller-I: Protección De Acuíferos Frente A La Contaminación. 1993.
- CARSUCRE. Zonificación Ambiental. 1999.
- CEPIS, OPS. Contaminación de las aguas subterráneas: Un enfoque de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. 1990 – 1991.
- CEPIS. Guía Para La Determinación Del Riesgo De Contaminación En Acuíferos. 1991.
- CORBITT. Manual Estándar de Ingeniería Ambiental. 1990.
- CUSTODIO, E. Vulnerabilidad De Los Acuíferos A La Polución; Seminario Internacional De Aguas Subterráneas. Santiago de Chile. 1995.
- CUSTODIO Y LLAMAS. Hidrología Subterránea. 1992.
- DANE 1993. Censo Nacional realizado DANE en 1993.
- DÍAZ GRANADOS Y HUGUETT G. A. Resumen del Estudio Hidrogeológico de la Zona Litoral del Golfo de Morrosquillo.
- ESPINOZA, Carlos. Análisis Comparativo De Técnicas De Evaluación De Vulnerabilidad De Acuíferos. Ingeniero Civil, Ph. D. 2002.
- FOSTER, S.S.D E HIRATA R., "Determinación Del Riesgo De Contaminación De Aguas Subterráneas, Una Metodología Basada En Datos Existentes". Lima, CEPIS, 1991, 81p.
- HERRERA P., Héctor Y PUENTES C., Regulo. Investigación Para La Determinación De La Contaminación Salina En El Acuífero De Tolú Elaborado Para Unisucre. 1997.
- IGAC. Mapa General de Suelos del Departamento de Sucre. 1983

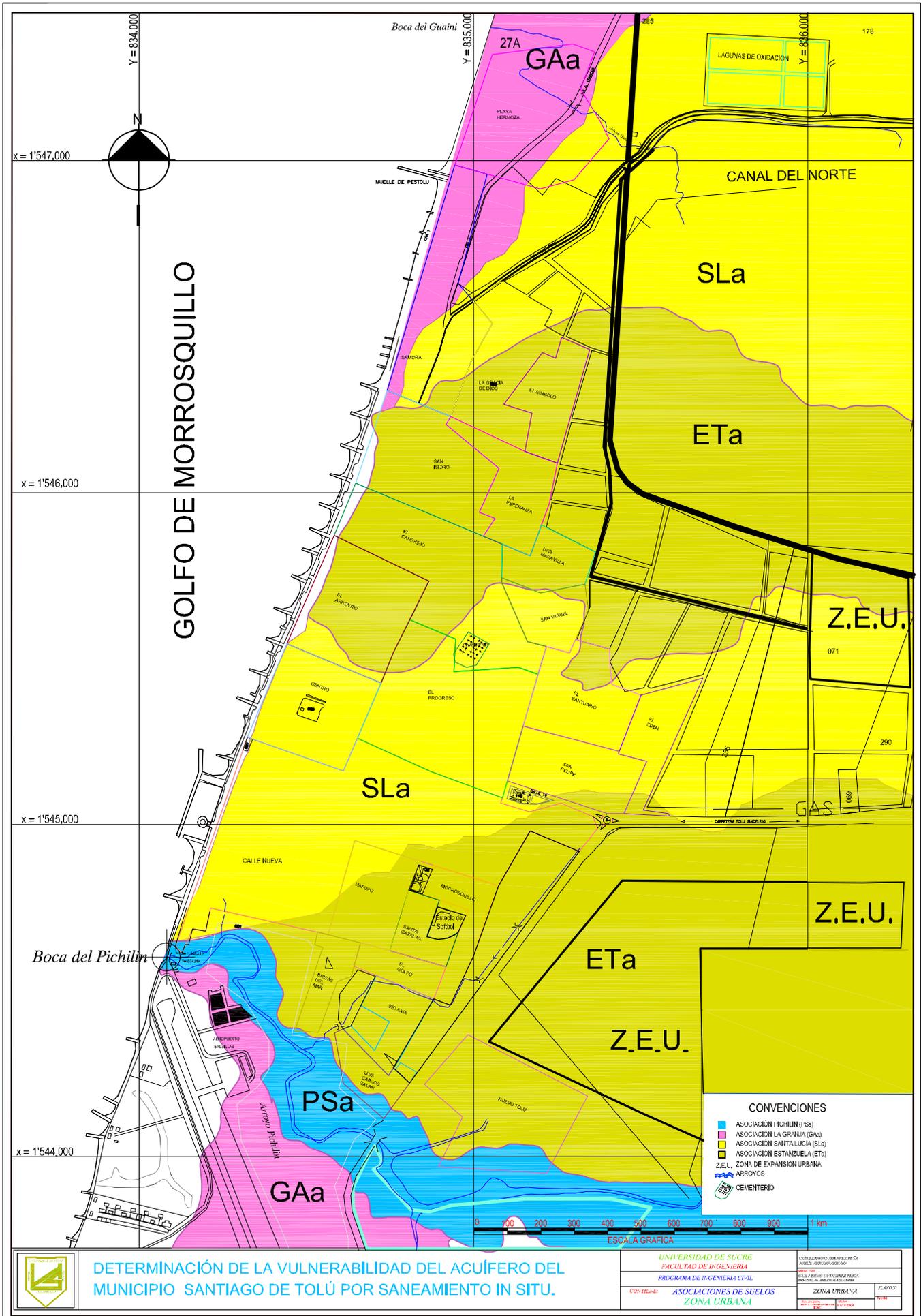
- IGAC. Características Geográficas de Sucre. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2003.
- INGEOMINAS. Introducción a la Geología en Colombia. 2001.
- KIELY. Ingeniería Ambiental. 1997.
- PULIDO SILVA. Hidrogeología Ambiental. 1999.
- RUPERT. MG. Calibration of the Drastic Ground Water Vulnerability Mapping Method. Groundwater. 2001.
- SISBEN. Información Recolectada Para El Municipio de Santiago de Tolú. Planeación Municipal, Oficina SISBEN – Tolú. 2004.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Diagnostico Ambiental Del Golfo De Morrosquillo Elaborado Por Gutiérrez R Guillermo. (2004)
- VRBA, J. ET AL. Guidebook On Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions To Hidrogeology. Vol. 16. Heise. Alemania. 1994.

ANEXOS

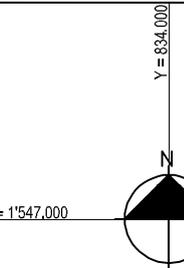
ANEXO 1. MAPA DIVERSOS SUELOS DE COLOMBIA



ANEXO 2. MAPA DE ASOCIACIONES DE SUELO



GOLFO DE MORROSQUILLO



CONVENCIONES

- ASOCIACION PICHILIN (PSa)
- ASOCIACION LA GRANJA (GAa)
- ASOCIACION SANTA LUCIA (SLa)
- ASOCIACION ESTANZUELA (ETa)
- Z.E.U. ZONA DE EXPANSION URBANA
- ~ ARROYOS
- C CEMENTERIO

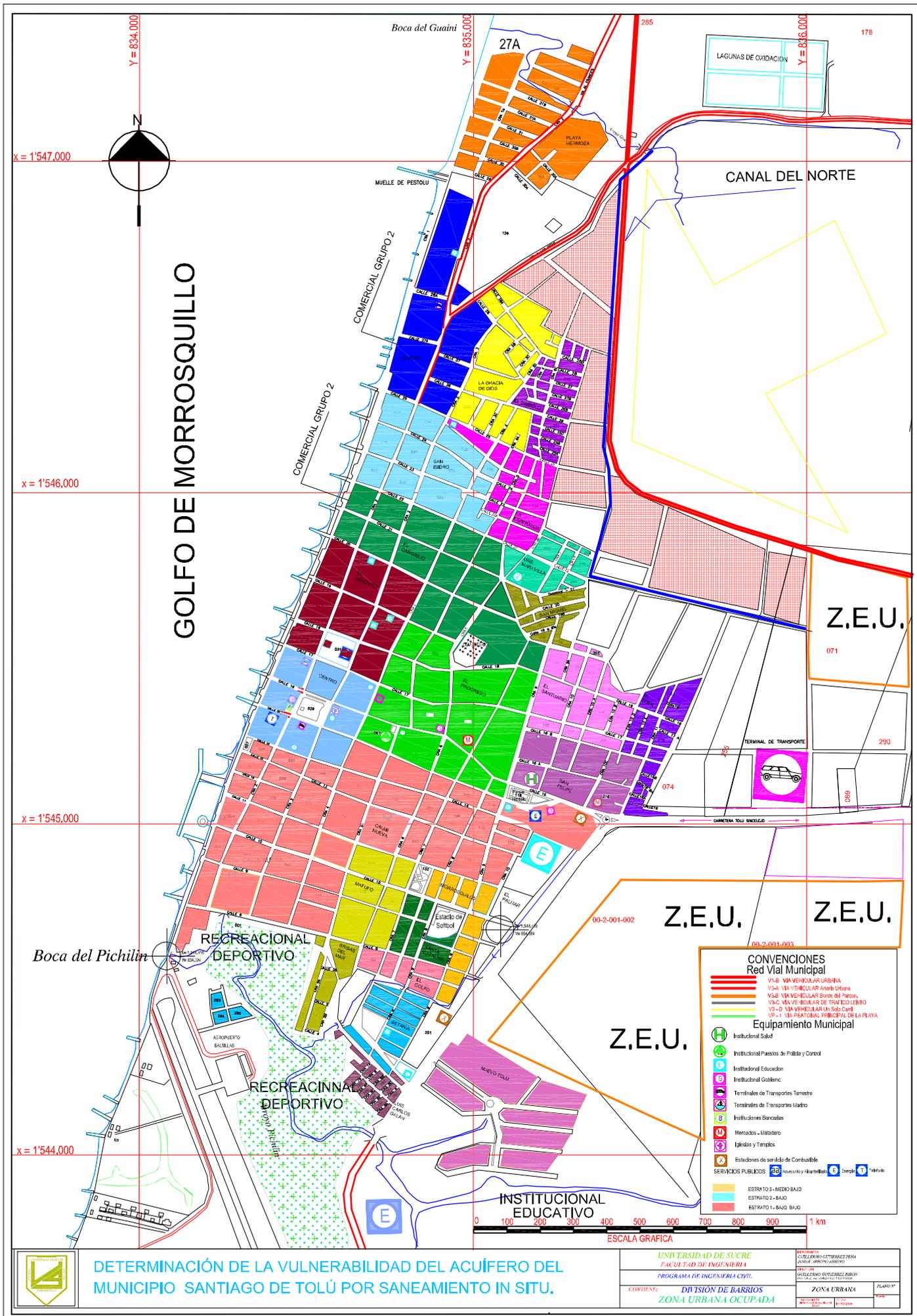


DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO SUBSUELO DE SANTIAGO DE TOLÚ
CONFECHO:	ASOCIACIONES DE SUELOS ZONA URBANA	ZONA URBANA
FECHA:	2015	PLANO N°

ANEXO 3. MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL GOLFO DE MORROSQUILLO

ANEXO 4. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE BARRIOS.



GOLFO DE MORROSQUILLO

CONVENCIONES Red Vial Municipal

- V1-B VIA VEHICULAR URBANA
- V2-A VIA VEHICULAR ANILLO URBANO
- V3-B VIA VEHICULAR BANDA DEL PASEO
- V3-C VIA VEHICULAR DE TRAFICO LENTO
- V3-D VIA VEHICULAR UN SOLO CARRIL
- V3-E VIA PEATONAL PRINCIPAL DE LA PLAYA

Equipamiento Municipal

- Institucional Salud
- Institucional Pasos de Policía y Control
- Institucional Educacion
- Institucional Gobierno
- Terminales de Transportes Terrestre
- Terminales de Transportes Marino
- Instituciones Bancarias
- Mercedes - Matadero
- Iglesias y Temples
- Estaciones de servicio de Combustible

SERVICIOS PUBLICOS

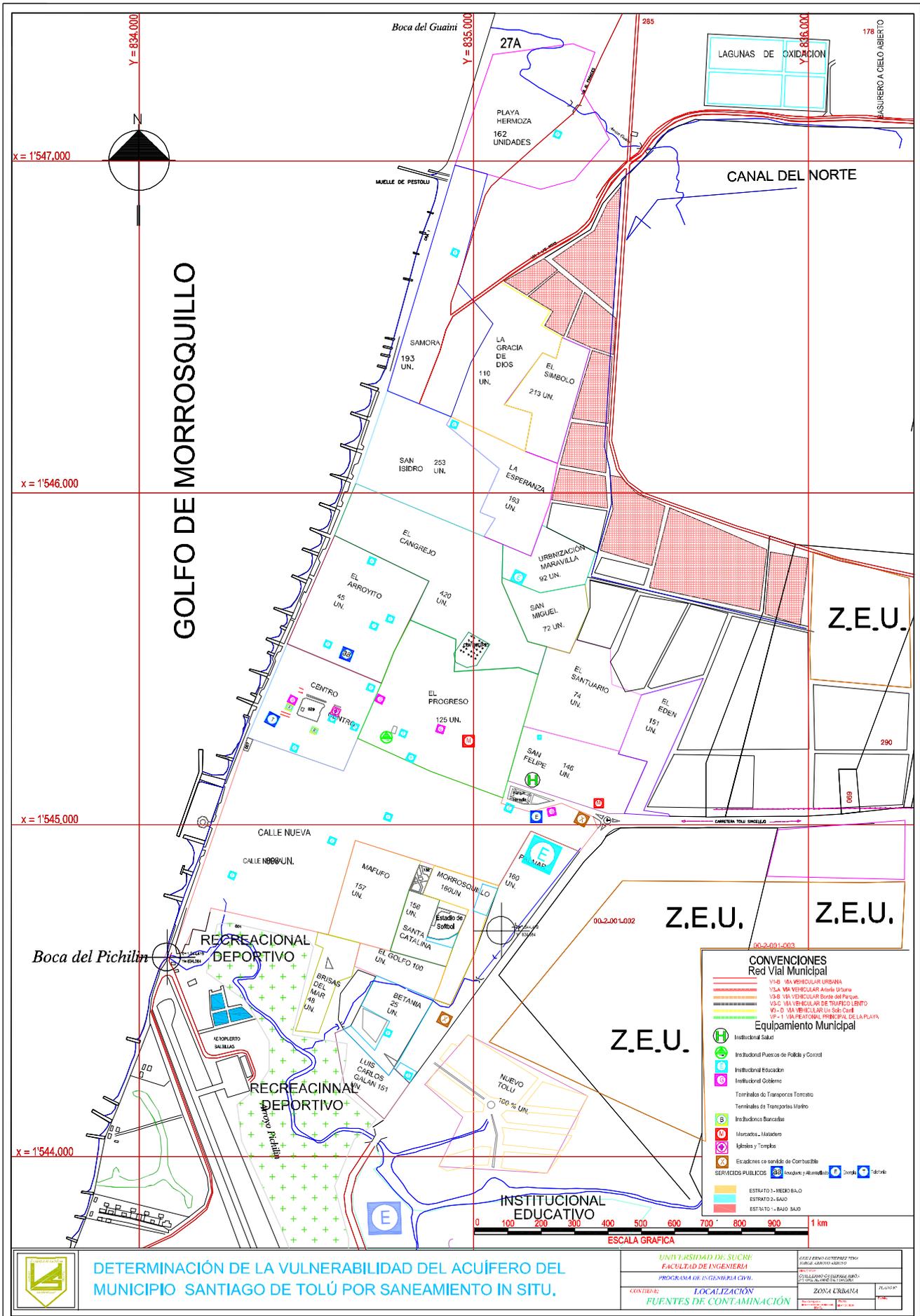
- ESTRATO 3- MEDIO BAJO
- ESTRATO 2- BAJO
- ESTRATO 1- BAJO BAJO

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	PROYECTO: CULTIVANDO COTIZACIONES PARA ZONAS URBANAS OCUPADAS	FECHA: OCTUBRE 2018
CONTENIDO: DIVISION DE BARRIOS ZONA URBANA OCUPADA	ZONA URBANA	FECHA Nº: 15/10/2018



ANEXO 5. LOCALIZACIÓN DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN.



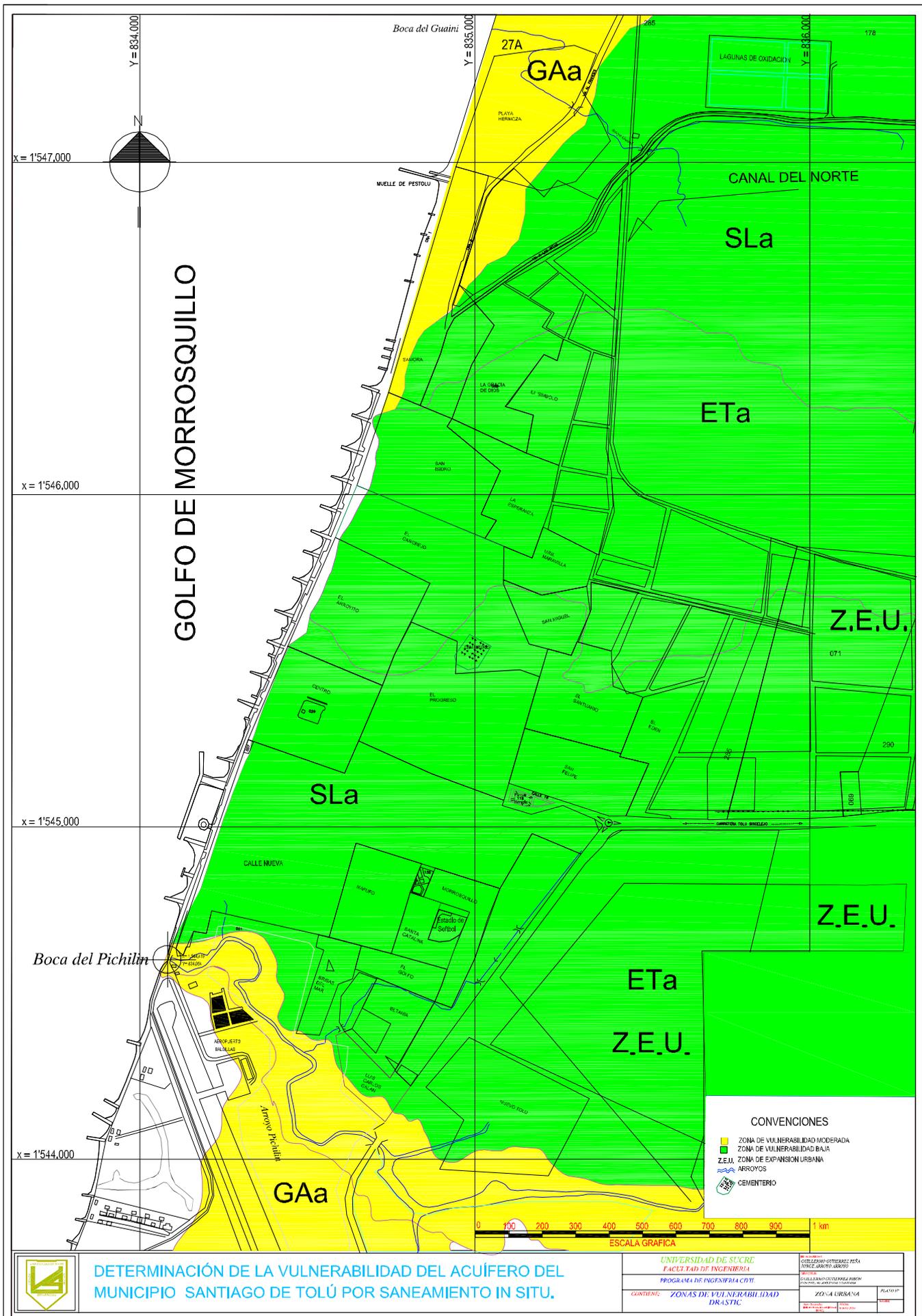
DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL	1. OBJETIVO: determinar la vulnerabilidad del acuífero en el municipio de Santiago de Tolú. 2. LOCALIZACIÓN: MUNICIPIO DE SANTIAGO DE TOLÚ, DEPARTAMENTO DE SUCRE. 3. ZONA: URBANA
CONTIENE: LOCALIZACIÓN FUENTES DE CONTAMINACIÓN	4. ESCALA: 1:50,000 5. FECHA: 2018



**ANEXO 6. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE PELIGRO
POTENCIAL A LA CONTAMINACIÓN.**

**ANEXO 7. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE VULNERABILIDAD
SEGÚN DRASTIC.**



GOLFO DE MORROSQUILLO

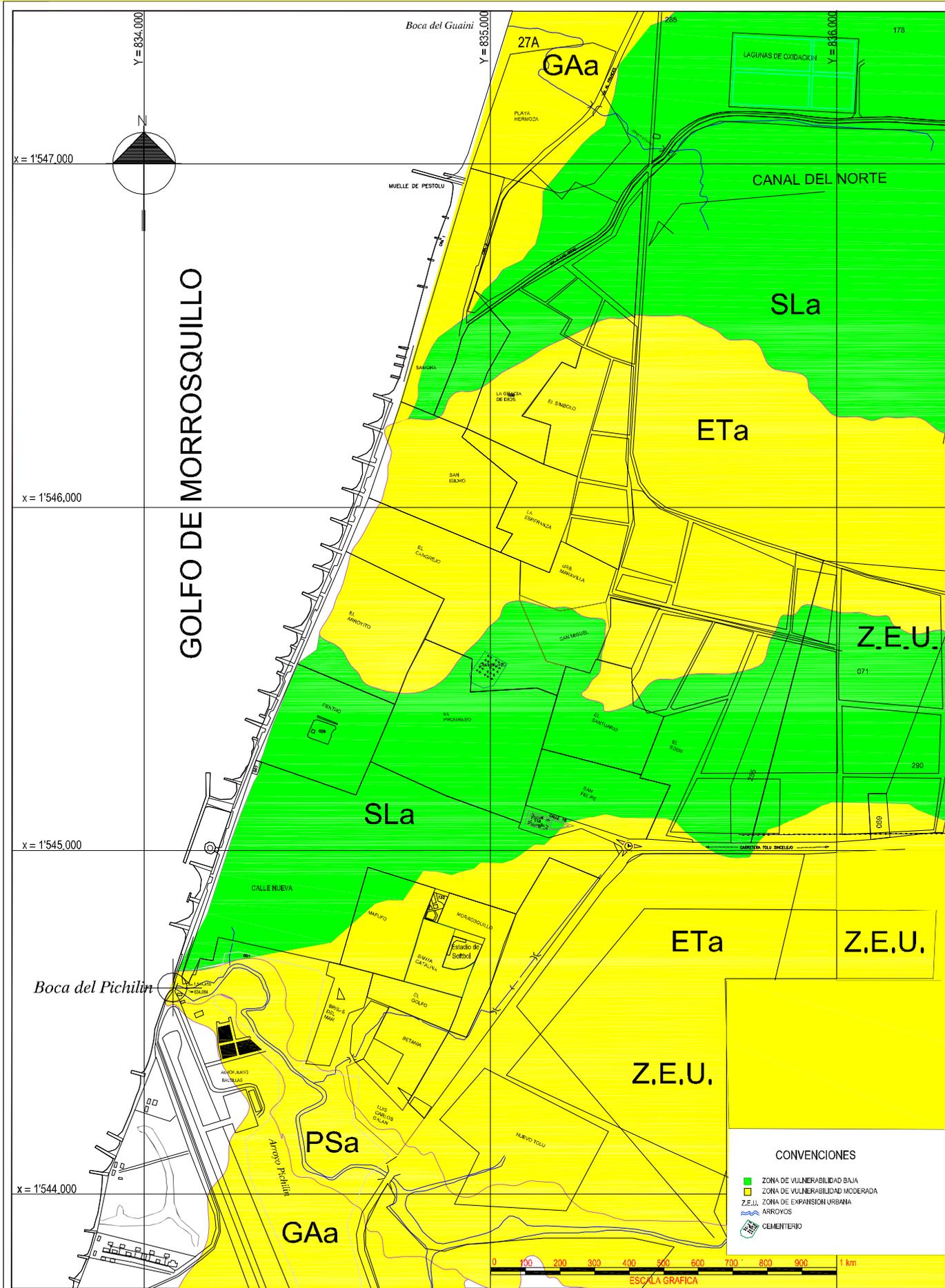
- CONVENCIONES**
- ZONA DE VULNERABILIDAD MODERADA
 - ZONA DE VULNERABILIDAD BAJA
 - Z.E.U. ZONA DE EXPANSION URBANA
 - ARROYOS
 - CEMENTERIO



DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE TOLÚ PLANEO URBANO
CONTENIDO: ZONAS DE VULNERABILIDAD DRÁSTIC	ZONA URBANA PLANO

ANEXO 8. MAPA DE ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN GOD'S.



GOLFO DE MORROSQUILLO

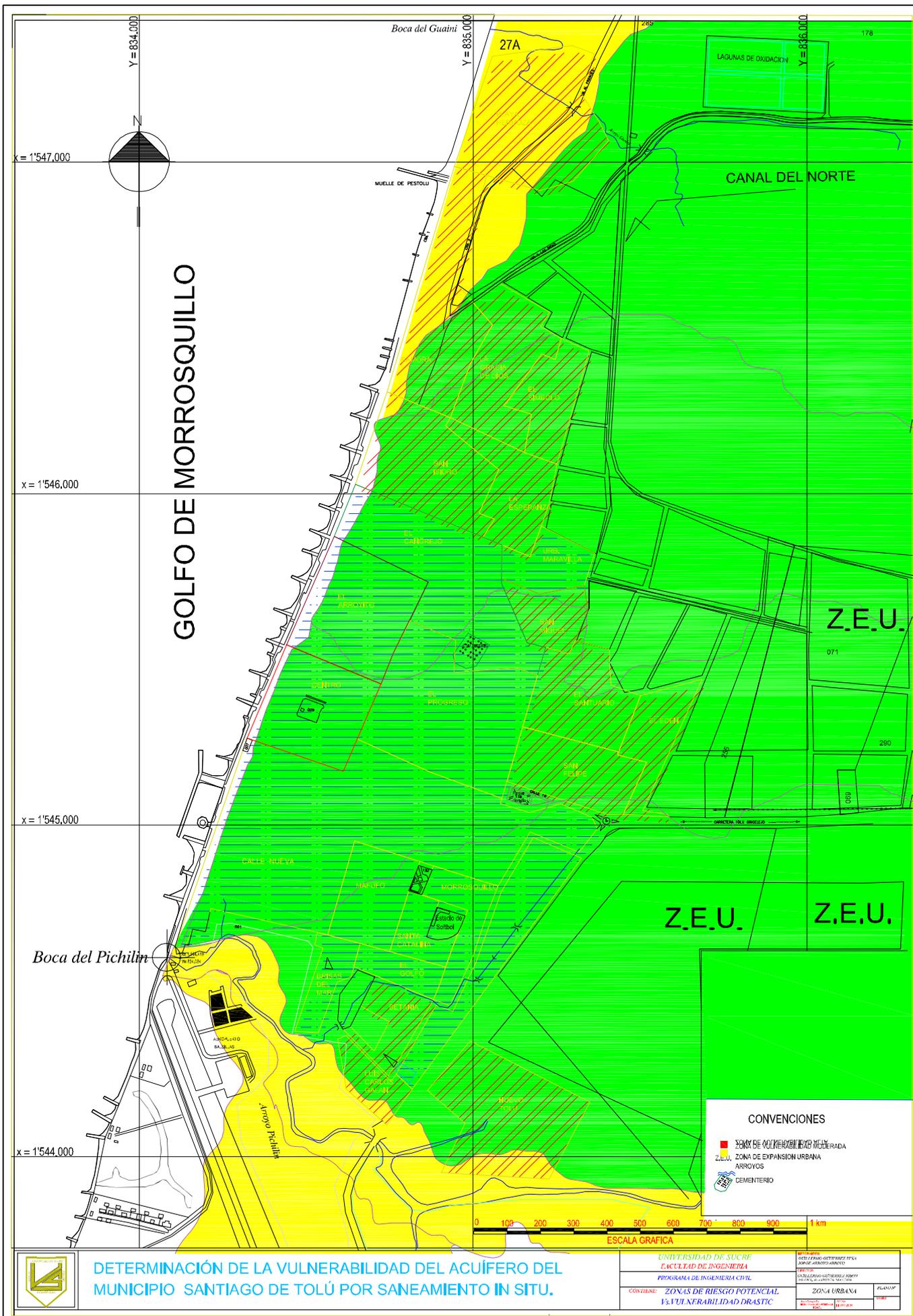
- CONVENCIONES**
- ZONA DE VULNERABILIDAD BAJA
 - ZONA DE VULNERABILIDAD MODERADA
 - Z.E.U. ZONA DE EXPANSION URBANA
 - ~ ARROYOS
 - CEMENTERIO



DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE		FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL		PROYECTO	
CONTIENE		ZONAS DE VULNERABILIDAD	PLANTILLA
		GOD'S	

**ANEXO 9. MAPA DE SUPERPOSICIÓN PELIGRO POTENCIAL Vs.
ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN DRASTIC.**



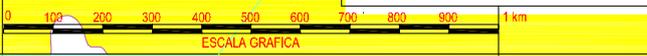
GOLFO DE MORROSQUILLO

Y = 834.000
 x = 1'547.000
 Y = 833.000
 x = 1'546.000
 Y = 832.000
 x = 1'545.000
 Y = 831.000
 x = 1'544.000

DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

CONVENCIONES

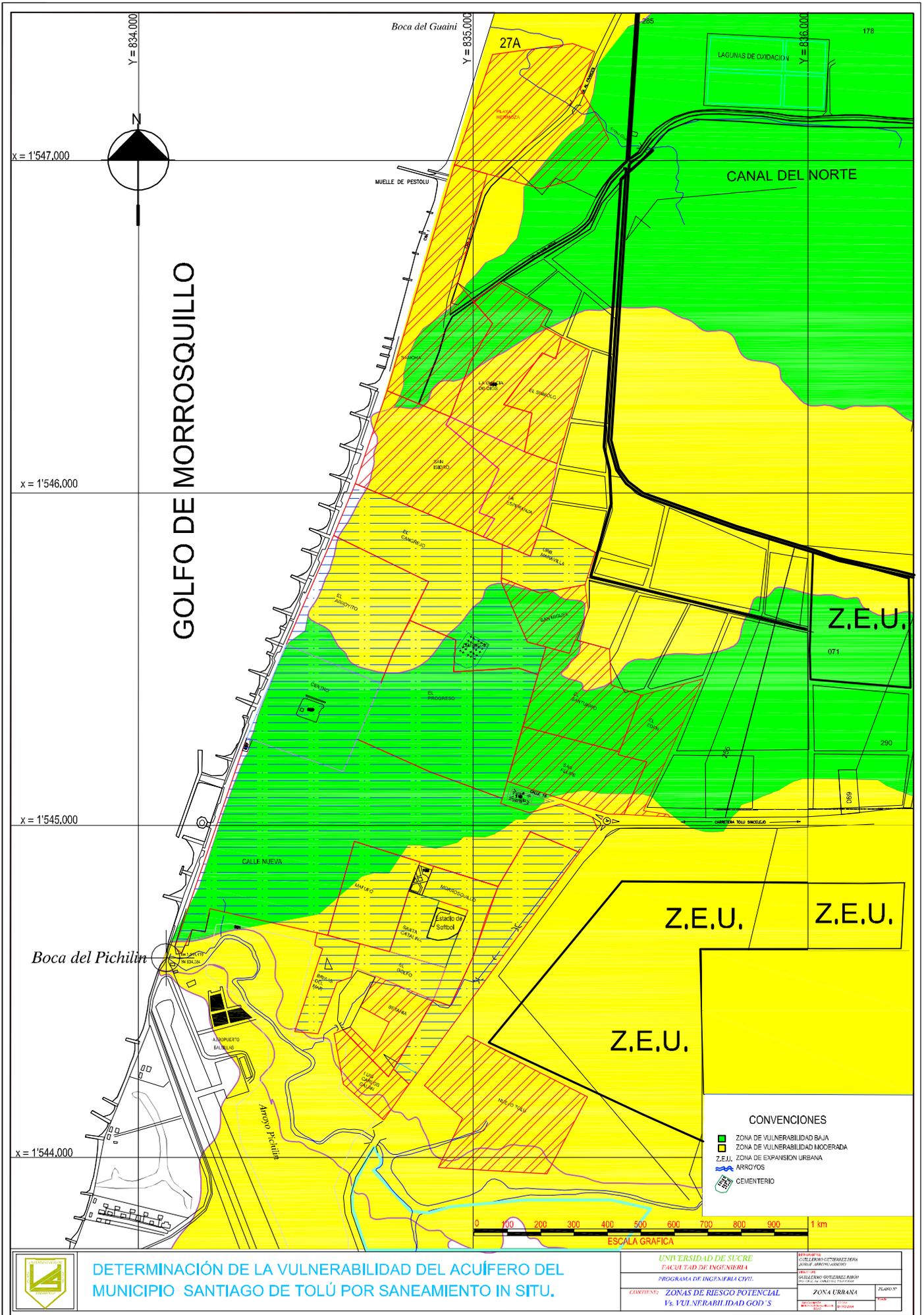
- ZONA DE POTENCIAL RIESGO POTENCIAL
- Z.E.U. ZONA DE EXPANSIÓN URBANA
- ARROYOS
- CEMENTERIO



UNIVERSIDAD DE SUCRE	FECHA: 2014	PROYECTO: SANEAMIENTO IN SITU
FACULTAD DE INGENIERIA	PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	
CONTIENE: ZONAS DE RIESGO POTENCIAL Y VULNERABILIDAD DRÁSTICA		
ZONA URBANA	FECHA: 2014	PROYECTO: SANEAMIENTO IN SITU



**ANEXO 10. MAPA DE SUPERPOSICIÓN PELIGRO POTENCIAL Vs.
ZONAS DE VULNERABILIDAD SEGÚN GOD'S.**



GOLFO DE MORROSQUILLO

Y = 834.000
 x = 1'547.000
 Y = 835.000
 x = 1'546.000
 Y = 836.000
 x = 1'545.000
 Y = 837.000
 x = 1'544.000

Boca del Pichilin

x = 1'544.000

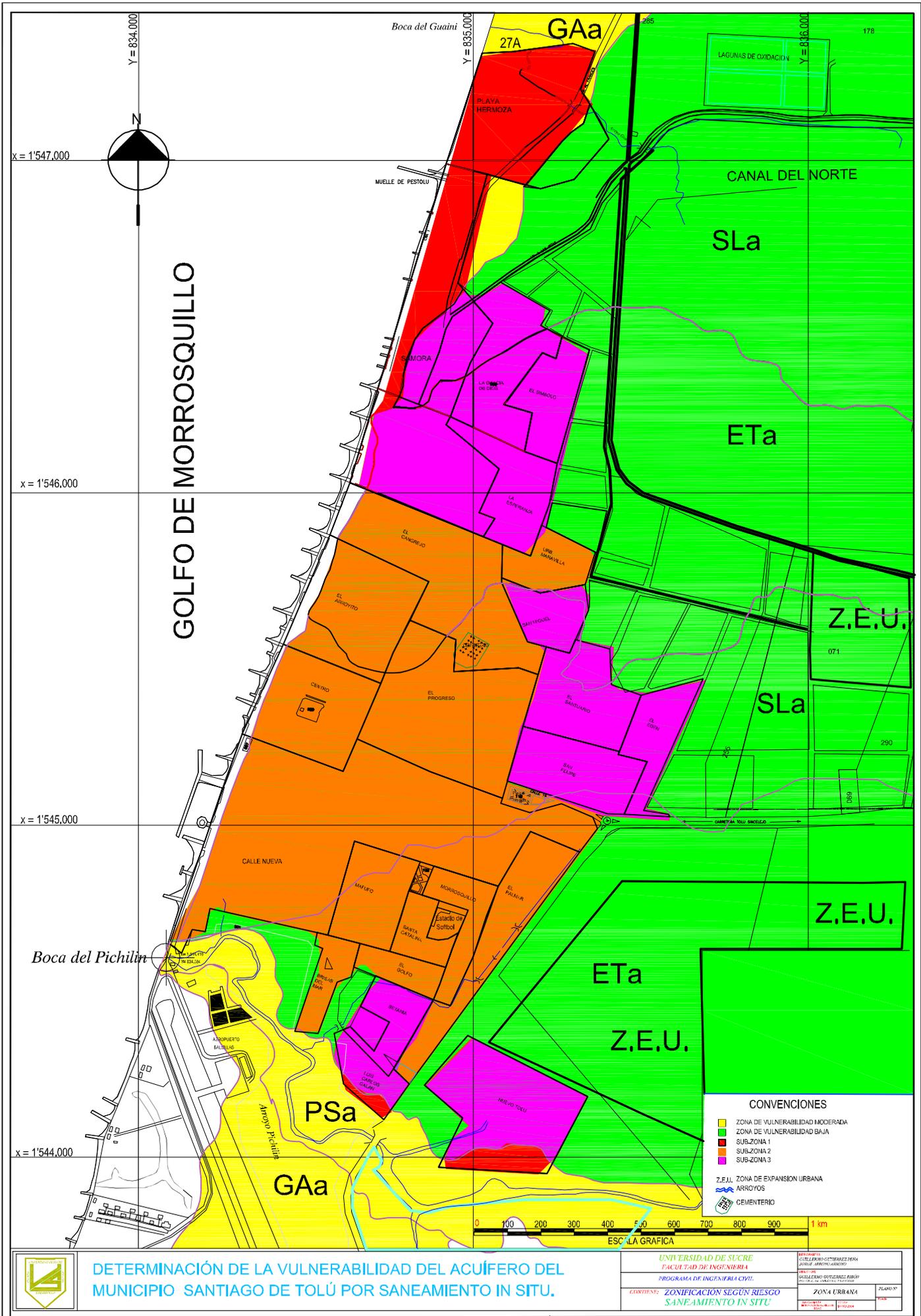
- CONVENCIONES**
- ZONA DE VULNERABILIDAD BAJA
 - ZONA DE VULNERABILIDAD MODERADA
 - Z.E.U. ZONA DE EXPANSION URBANA
 - ARROYOS
 - CEMENTERIO



DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

UNIVERSIDAD DE SUCRE		FACULTAD DE INGENIERIA	
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		CATEDRATICO: GUSTAVO GONZALEZ PABON	
CONTIENE: ZONAS DE RIESGO POTENCIAL Vs. VULNERABILIDAD GOD-S		ZONA URBANA	
AUTORIA: GUSTAVO GONZALEZ PABON		FECHA: 15/05/2018	

**ANEXO 11. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO A LA
CONTAMINACIÓN POR SANEAMIENTO IN SITU.**



DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL MUNICIPIO SANTIAGO DE TOLÚ POR SANEAMIENTO IN SITU.

ANEXO 12. FOTOGRAFÍAS DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN.



**12.1 POZO ABANDONADO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO,
LOCALIZADO EN LA FINCA PALO HUECO.**



**12.2 POZO ABANDONADO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO
LOCALIZADO EN LA FINCA TRES PALMA**



**DESECHOS ORGANICOS
PRODUCIDOS POR LA GRANJA
AVICOLA**

**12.3 DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS SOBRE TERRENO
NATURAL.**



12.4 ESTACIÓN DE SERVICIOS (GASOLINERA Y LAVADO DE AUTOS)



12.5 LAGUNA DE OXIDACIÓN



12.6 SISTEMA DE LETRINA UBICADO EN EL BARRIO SAN FELIPE.



12.7 LETRINA USADA EN EL BARRIO EL SANTUARIO ZONA PERIFÉRICA DEL MUNICIPIO.



12.8 POZA SÉPTICA CON DERRAME Y CON FISURAS. BARRIO EL EDÉN.



12.9 BARRIO LUIS CARLOS GALÁN.



12.10 DETALLE DE LA FOTOGRAFÍA ANTERIOR.



12.11 BASURERO A CIELO ABIERTO CONTIGUO A LA LAGUNA DE OXIDACIÓN.



12.12 ATRÁS LAGUNAS DE OXIDACIÓN Y MÁRGENES DEL BASURERO A CIELO ABIERTO.