

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL ACUÍFERO FORMACIÓN MORROA POR  
APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS EN SU ÁREA DE RECARGA,  
SUCRE- COLOMBIA**

**VICENTE VERGARA FLOREZ**

**Director**

**Guillermo Gutiérrez Ribon**

**M.Sc. Ingeniería Ambiental**

**Grupo de Investigación C.R.H.I.A. Universidad de Sucre**

**SUE-Caribe  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
Universidad de Cartagena  
Cartagena, D. T.  
2009**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Ciudad y Fecha: \_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

A **Dios** todopoderoso, por ser el refugio de mis momentos difíciles

Al pequeño **David Ernesto**, que me convirtió en tío justo cuando alcanzo este sueño y es una más de mis razones para ser mejor cada día, toma esto como un regalo de quien quiere ser para ti el mejor de los ejemplos

A mis padres **Ernesto** y **Rosario**, por todos los esfuerzos en hacerme un hombre de bien

A mi hermano **Ernesto**, que siempre confió en mí y ha estado siempre presente con su mágico cariño en la solución de mis problemas

A mi novia **María Victoria**, por ser mi inspiración, mi compañera, mi amiga y mi apoyo incondicional en las alegrías y tristezas

A **Mama Inés** por siempre estar allí

A mis ahijados **Juan Salvador** y **Miguel David**

A todos mis **amigos** y **estudiantes**

Y por ultimo y no menos importante

A mi pequeña gran **Universidad de Sucre**, espero ser siempre un buen embajador tuyo Alma Mater.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

- Doctor Rafael de Jesús Peralta Castro, rector Universidad de Sucre, por todo su apoyo en este proceso de mi vida.
- Al ingeniero Guillermo Gutiérrez Ribon, decano de la facultad de ingeniería y director de este trabajo.
- A todo el personal académico y administrativo de la Universidad de Sucre.
- Al personal técnico y administrativo de la Corporación Autónoma Regional de Sucre, CARSUCRE, en especial al ingeniero Jorge Martínez.
- A la división ambiental de DASSALUD Sucre, en especial a señor Luis Romero por el acompañamiento en la fase de encuestas.
- Al Ph. D. José Luis Marrugo, por sus aportes como evaluador del presente trabajo.
- Al Ph. D. Edgar Quiñones Bolaño, por sus aportes como evaluador del presente trabajo.
- A los directores de las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria, UMATAS, de los municipios de Sincelejo, Sampues, Ovejas y en especial Corozal, Los Palmitos y Morroa; ingenieros: Ángel Barreto y Noel Camilo Núñez

- A los Inspectores de los corregimientos, Flor del monte, San Rafael, la Peña en Ovejas y Segovia y Mata de Caña en Sampues.
  
- A los ingenieros Humberto Flórez, Gastón Ballut, Daniel Núñez, John Víctor Vidal y Dalmiro Pacheco, por su asesoría y facilitación de información en diferentes componentes del trabajo.
  
- A Los estudiantes de ingeniería agrícola de la Universidad de Sucre, Jamir Tovar y José Morales, por su acompañamiento en la toma de muestras.
  
- Al Licenciado José Gregorio Arrieta, por su apoyo en los análisis de laboratorios fisicoquímicos de suelos.
  
- A los conductores de DASSALUD-Sucre y al conductor Carlos Pérez de la Universidad de Sucre, por sus servicios prestados en la realización de las encuestas y toma de muestras respectivamente.
  
- A los agricultores del área de estudio por su gentil atención al momento de las visitas.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pagina</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
<b>3.1. GENERALIDADES SOBRE ACUÍFEROS</b>	<b>5</b>
<b>3.1.1. Método DRASTIC</b>	<b>7</b>
<b>3.2. GENERALIDADES SOBRE AGROQUÍMICOS</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1. Dinámica de los agroquímicos en el suelo y en la zona no saturada de los Acuíferos</b>	<b>17</b>
<b>4. HIPÓTESIS</b>	<b>24</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
<b>5.1. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>25</b>
<b>5.1.1. Climatología</b>	<b>26</b>
<b>5.1.2. Suelos e hidrogeología</b>	<b>26</b>
<b>5.2. ACTIVIDADES SOCIALES DE RECONOCIMIENTO RURAL Y DISEÑO DEL MAPA DE USO DE AGROQUÍMICOS</b>	<b>27</b>
<b>5.3. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS MÁS VULNERABLES A CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS.</b>	<b>30</b>
<b>5.3.1. Obtención de la información concerniente a las siete variables que requiere la metodología DRASTIC.</b>	<b>30</b>
<b>5.3.2. Realización de mapas de Vulnerabilidad</b>	<b>31</b>
<b>5.4. ACTIVIDADES DE CAMPO</b>	<b>32</b>
<b>5.4.1. Identificación de puntos de muestreo</b>	<b>32</b>
<b>5.4.2. Toma de muestras</b>	<b>32</b>
<b>5.4.3. Análisis de laboratorios</b>	<b>34</b>

<b>5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS FINALES</b>	<b>35</b>
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>36</b>
<b>6.1. Análisis estadístico de encuestas</b>	<b>36</b>
<b>6.2. Áreas vulnerables a contaminación del Acuífero Morroa</b>	<b>42</b>
<b>6.3. Características Físico-químicas de los suelos y detección de plaguicidas en los mismos.</b>	<b>48</b>
<b>6.4. Alternativas de manejo ambiental del Acuífero.</b>	<b>53</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABLAS

	Paginas
<b>Tabla 1.</b> Peso de cada variable según su importancia de acuerdo a DRASTIC para cálculo de vulnerabilidad Intrínseca y específica a plaguicidas.	9
<b>Tabla 2.</b> Grado de vulnerabilidad de acuerdo al valor $I_v$ obtenido con DRASTIC.	10
<b>Tabla 3.</b> Puntaje de acuerdo a la profundidad del Acuífero ( $D_R$ ) de DRASTIC.	11
<b>Tabla 4.</b> Puntaje de acuerdo a la recarga neta del Acuífero ( $R_R$ ) de DRASTIC.	11
<b>Tabla 5.</b> Puntaje de acuerdo a la pendiente del Acuífero ( $T_R$ ) de DRASTIC.	11
<b>Tabla 6.</b> Puntaje de acuerdo al tipo de material del Acuífero ( $A_R$ ) de DRASTIC.	12
<b>Tabla 7.</b> Puntaje de acuerdo al tipo de suelo del Acuífero ( $s_R$ ) de DRASTIC.	12
<b>Tabla 8.</b> Puntaje de acuerdo a la conductividad hidráulica del Acuífero ( $C_R$ ) de DRASTIC.	13
<b>Tabla 9.</b> Puntaje de acuerdo al impacto de la zona no saturada del Acuífero ( $I_R$ ) de DRASTIC.	13
<b>Tabla 10.</b> Corregimientos de cada municipio sobre el Acuífero Morroa, donde se realizaron las encuestas a los agricultores.	28
<b>Tabla 11.</b> Resultados de Vulnerabilidad Intrínseca por área en el Acuífero Morroa.	44
<b>Tabla 12.</b> Resultados de Vulnerabilidad Específica por área en el Acuífero Morroa.	45
<b>Tabla 13.</b> Características Físico-químicas de los suelos.	48
<b>Tabla 14.</b> Resultados de plaguicidas en suelos.	49

## LISTA DE FIGURAS

	Pagina
<b>Figura 1.</b> Esquema general de un Acuífero con sus principales componentes.	6
<b>Figura 2.</b> Estructura de algunos plaguicidas Organoclorados.	15
<b>Figura 3.</b> Estructura de algunos plaguicidas Organofosforados.	16
<b>Figura 4.</b> Área de estudio, Acuífero de Morroa ubicado sobre los municipios de Sucre que hacen parte de él.	25
<b>Figura 5.</b> Predios donde se realizaron las encuestas a los agricultores sobre el área de estudio.	29
<b>Figura 6.</b> Puntos donde se tomaron las muestras de suelo sobre el área de estudio.	33
<b>Figura 7.</b> Toma de muestras de suelos en zonas de Sincelejo.	34
<b>Figura 8.</b> Toma de muestras suelos en zonas de Sampues.	34
<b>Figura 9.</b> Plaguicidas utilizados en el área de estudio, expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de uso.	37
<b>Figura 10.</b> Distribución del uso de plaguicidas según cada municipio, expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de uso en el área de estudio.	38
<b>Figura 11.</b> Cultivos implementados en el área de estudio expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de implantación.	38
<b>Figura 12.</b> Dosis aplicadas de plaguicidas en Lt/ha en área de estudio.	39
<b>Figura 13.</b> Fertilizantes aplicados en el área de estudio.	40
<b>Figura 14.</b> Motivo por el que usan los agroquímicos los agricultores en área de estudio.	40
<b>Figura 15.</b> Otras actividades realizadas en el área de estudio por los agricultores.	41
<b>Figura 16.</b> Utilización de elementos de protección, por parte de los agricultores al momento de aplicar los agroquímicos en área de estudio.	41
<b>Figura 17.</b> Mapa de los plaguicidas más aplicados en (%) por cada municipio del área de estudio.	43
<b>Figura 18.</b> Mapa de vulnerabilidad intrínseca (Iv) del Acuífero Morroa.	46
<b>Figura 19.</b> Mapa de vulnerabilidad específica a plaguicidas (Iv) del Acuífero de Morroa.	47
<b>Figura 20.</b> Frecuencia de detección de plaguicidas en suelos.	50
<b>Figura 21.</b> Análisis Clúster de características del suelo y detección de plaguicidas.	52
<b>Figura 22.</b> Análisis de Componentes Principales.	53

## RESUMEN

El Acuífero Morroa es una de las principales fuentes de agua del Departamento de Sucre-Colombia, sobre todo de la capital, Sincelejo, de allí la importancia de darle un manejo sostenible.

Durante años sobre y alrededor del área de recarga, de este arreglo geológico, han sido llevadas a cabo prácticas agrícolas con base en la utilización de agroquímicos (Revolución Verde), hecho que vulnera la conservación en el transcurrir del tiempo de esta fuente de agua, según antecedentes de índole mundial. Por esta razón, en el presente trabajo se identificaron los agroquímicos más utilizados, junto al manejo ejercido de ellos, por los agricultores sobre esta zona; se determinaron las extensiones geográficas más vulnerables a plaguicidas; se evaluaron parámetros fisicoquímicos de los suelos sobre éstas y se detectaron concentración de plaguicidas, para emitir alternativas de manejo ambiental del Acuífero, ante los impactos ambientales adversos establecidos.

Los resultados revelaron que los plaguicidas más utilizados son Glifosato (61%), Clorpirifos (42%), Paracuat (38%), Metilparatión (11%) y Malatión (8%). Asimismo, el 7.4% del área total presenta vulnerabilidad a plaguicidas y se encuentran distribuidas en zonas rurales correspondientes a los municipios de Sincelejo y Sampues. Por otra parte, los suelos de estas zonas presentan relativa homogeneidad en cuanto a su textura, pH, C.I.C. De igual forma, los plaguicidas detectados en esta matriz ambiental fueron Malatión (28.6), Clorpirifos (21.4),  $\beta$ -BCH (14.3%).

Con los resultados obtenidos se concluyó que la presencia de plaguicidas en las zonas más vulnerables del Acuífero Morroa está relacionada con el pH y la textura del suelo y con las características intrínsecas de estas sustancias.

Los resultados constituyen una base de gestión ambiental y un punto de partida para investigaciones posteriores; especialmente en hidrogeología, modelación matemática, agroecológica, entre otras áreas; encaminadas a la protección del Acuífero contra la contaminación, principalmente por agroquímicos, y demás sustancias de especial cuidado ambiental.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son un recurso importante que amerita cuidado y en los últimos años el reto pasó de propender por una sostenibilidad en cuanto a su cantidad a la gestión de su calidad; esto principalmente por el incremento de actividades antrópicas sobre sus áreas de recarga, incluyendo prácticas agrícolas, fundamentadas en el uso de agroquímicos (Hiscock, 2005); Según MAFF (1991) la agricultura constituye la mayor fuente de contaminación difusa de las aguas subterráneas. Existen reportes de índole mundial como los de Garrido *et al.* (1998), quienes determinaron altas concentraciones de triazinas, organofosforados e incluso organoclorados en los Acuíferos de Cataluña; de igual manera, Martínez *et al.* (2004), establecieron la presencia de pesticidas como Malatión, Endosulfan, y Clorpirifus, en concentraciones que superan los 42,9 ( $\mu\text{g/L}$ ) en aguas subterráneas de las principales áreas agrícolas de la provincia de Almería. Por su parte en América Latina, Loewy (2000) encontró un comportamiento estacional de la presencia de pesticidas organofosforados y Metil Azinfos, en el Acuífero del alto valle del Río Negro y Neuquen en Argentina.

En nuestro país, más específicamente en la Región Caribe, por su lado han sido reportados estos contaminantes en aguas superficiales, así por ejemplo en el Río Ranchería, en el departamento de La Guajira fueron determinados 28 compuestos organoclorados, 22 organofosforados y 11 carbamatos en muestras de agua y sedimento (Aranza y Pérez, 2006); y en el departamento de Córdoba Lans *et al.* (2008) detectaron en muestras de agua y sedimentos procedentes de la ciénaga Grande de Lórica, la cual a su vez es alimentada por el río Sinú, los plaguicidas:  $\alpha$ -BCH,  $\beta$ -BCH,  $\gamma$ -BCH, aldrin y heptacloro epóxido. Por otra parte, INVEMAR (2001) indica también que para la Región Caribe colombiana; se han registrado concentraciones de plaguicidas organoclorados en aguas, sedimentos y organismos de la ciénaga Grande de Santa Marta, encontrándose aldrín, lindano,

dieldrín y DDT, especialmente en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos provenientes de las zonas bananeras de la Sierra Nevada de Santa Marta, El Sevilla, Aracataca y Fundación. Asimismo, en la zona costera de Cartagena; se detectaron niveles de aldrín, DDT, heptacloro, dieldrín y HCHs; en la bahía, y de aldrín, lindano, heptacloro, DDT y sus metabolitos DDE y DDD y PCBs; en la ciénaga de Tesca. De igual forma, en el golfo de Morrosquillo se encontraron concentraciones de aldrín, DDT, lindano y heptacloro. Para el golfo de Urabá, en cuya cuenca existe una fuerte actividad bananera que consume insumos agroquímicos, se reporta presencia de Aldrín.

Por otro lado, esta misma fuente reporta para el Pacífico colombiano concentraciones de plaguicidas organoclorados e indica una gran capacidad por parte de organismos (Bivalvos) de acumular estos compuestos, tomándolos del sedimento en su proceso metabólico. De la misma forma, el DDT y sus metabolitos en aguas, presentaron un comportamiento irregular durante el periodo de 1999 - 2001, en la misma región, mientras que en los sedimentos son más estables. Las zonas más afectadas han sido Tumaco, Buenaventura y las adyacentes a las desembocaduras de los ríos San Juan, Guapi, Timbiquí y Mira, importantes tributarios de la cuenca del Pacífico.

En el departamento de Sucre por varias décadas se ha venido realizando un sin número de labores propias del quehacer humano en el área de recarga del Acuífero Morroa, única fuente de agua de los municipios ubicados sobre ésta, entre ellas el empleo masivo de plaguicidas para el control de plagas en cultivos, especialmente maíz, yuca, ñame, algodón, y tabaco (Vergara et al., 2006); en consecuencia las aguas en mención, están expuestas a contaminación por agroquímicos, pero existía la necesidad de realizar una evaluación ambiental de esta importante fuente de agua por uso de estas sustancias en su área de recarga.

Es esta la justificación del presente trabajo, a través del cual se realizó en primera medida una evaluación de las actividades sociales relacionadas con el manejo de los agroquímicos por parte de los agricultores; en segunda instancia construyó mapas de vulnerabilidad a través del método paramétrico DRASTIC para ubicar las zonas más vulnerables a contaminación y posteriormente se identificaron parámetros fisicoquímicos de los suelos, junto a plaguicidas presentes en ellos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVOS GENERALES**

- Evaluar ambientalmente el Acuífero Formación Morroa por el uso de plaguicidas en su área de recarga, en el Departamento de Sucre.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Generar un mapa que refleje la intensidad actual de uso de agroquímicos, en el área de estudio.
- ✓ Determinar las áreas más vulnerables geológicamente, del acuífero Formación Morroa.
- ✓ Evaluar los impactos de los plaguicidas en relación con las características fisicoquímicas de los suelo.
- ✓ Establecer algunas alternativas de manejo ambiental del Acuífero, ante los impactos ambientales adversos establecidos.

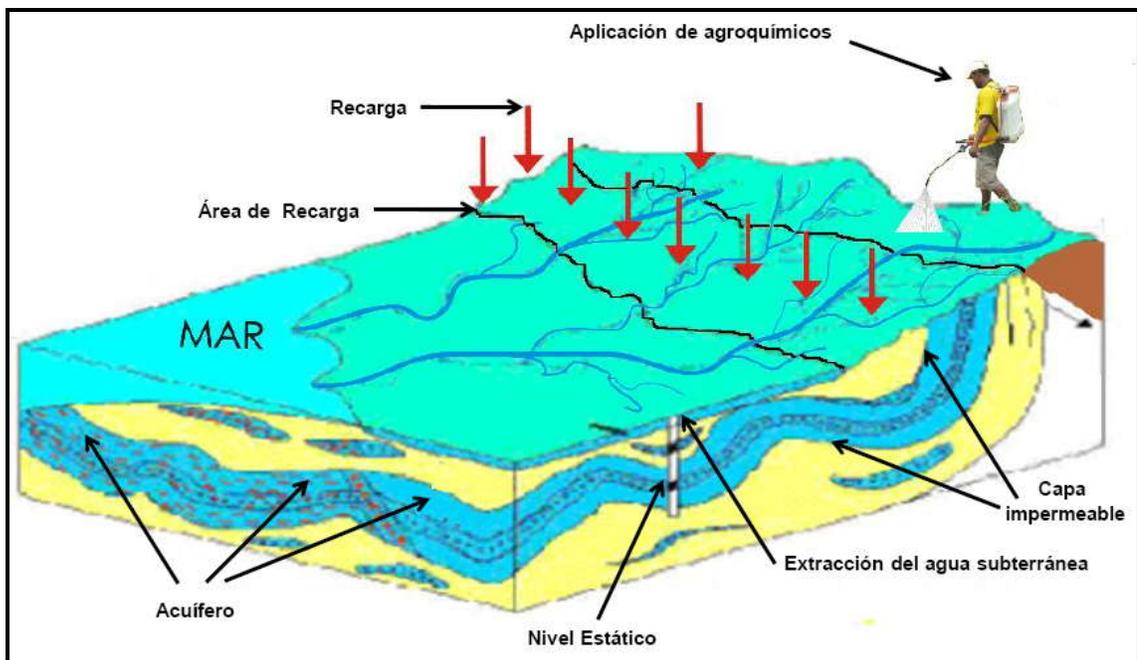
### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. GENERALIDADES SOBRE ACUÍFEROS

Acuífero es un estrato, formación geológica, parte de ella o roca permeable que se halla saturada y contiene intersticios intercomunicados que permiten la circulación, transmisión y el almacenamiento de agua con relativa facilidad, bajo condiciones naturales de campo, en cantidades apreciables (Custodio, 1998). Puede ser *Acuífero libre*, también llamado Acuífero freático y es una formación permeable saturada limitada en su parte inferior por una capa impermeable; el límite superior está formado por la tabla de agua, la que se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica. *Acuífero confinado*, es una formación permeable completamente saturada de agua y cuyos límites superior e inferior son capas impermeables, la presión del agua es mayor que la atmosférica, por tal razón, el agua en pozos que penetran tales Acuíferos se le denomina agua confinada o artesiana. También puede ser *Acuífero semi confinado*, el cual es una formación permeable saturada, cuyo límite superior está constituido por una capa semipermeable, en la capa superior se encuentra la tabla de agua, cuya altura difiere de la carga piezométrica (Villón, 2002).

Por otro lado, el área donde por sus características geológicas particulares, es recargado un Acuífero, es llamada *Área de Recarga* (Foster *et al.*, 2003) (Figura 1); en este sentido, es el lugar geográfico donde se deben puntualizar los esfuerzos investigativos para garantizar la sostenibilidad de estas importantes fuentes de agua, por considerar que allí serán más vulnerables a la contaminación.

Para hacer referencia a este término es necesario en primera medida establecer diferencias entre *vulnerabilidad intrínseca* y *vulnerabilidad específica*, el primer concepto indica la susceptibilidad del agua subterránea a ser contaminada frente a los contaminantes generados por actividades humanas en función de las características físicas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área, independientemente del tipo de contaminante (Daly *et al.*, 2002; Ríos y Vélez, 2008). La vulnerabilidad específica por su parte, es la susceptibilidad del agua subterránea frente a un contaminante particular o a un grupo de contaminantes (como los plaguicidas), tomando en cuenta las propiedades de éstos y su relación con los diversos componentes de la vulnerabilidad intrínseca (Ríos y Vélez 2008; Morell y Tuñón, 2001).



(Fuente: Propia)

**Figura 1:** Esquema general de un Acuífero con sus principales componentes.

### 3.1.2. Método DRASTIC

Es importante resaltar que para la determinación de la vulnerabilidad de Acuíferos han sido creadas varias metodologías por ejemplo, GOD, EPIK, AVI, SINTACS y DRASTIC (Foster *et al.*, 2003), siendo esta última más aceptada para trabajos de investigación, en relación a las tres primeras, por considerar mayor número de variables lo que hace los resultados obtenidos más confiables (Xavier *et al.*, 2004). Aunque SINTACS involucre los mismos parámetros (Nicoletti y Spandre, 1996), para este estudio fueron determinadas las vulnerabilidades, intrínseca y específica, mediante la metodología DRASTIC, debido a que tiene establecidas ponderaciones diferentes para el caso específico de plaguicidas (tabla 1). Es una metodología desarrollada por la United State Environmental Protection Agency (U.S. E.P.A.) en 1988 (EPA, 1991), consiste en un sistema paramétrico de evaluación que incluye siete características fundamentales, a las que asigna valores, y un multiplicador (peso según su importancia). Posee tres supuestos importantes: el contaminante es introducido sobre la superficie de la tierra, el contaminante es trasladado al agua subterránea por precipitación y el contaminante es móvil en el agua. Con estas premisas el índice de vulnerabilidad (Iv) es calculado mediante la ecuación 1.

$$Ec.1. Iv = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W,$$

Donde los subíndices R y W significan factor de clasificación y factor de ponderación respectivamente en este sentido:

$D_R$ = Puntaje de acuerdo a la profundidad del Acuífero

$D_W$ = Peso de la profundidad de Acuífero según su importancia

$R_R$ = Puntaje de acuerdo a la recarga

$R_W$ = Peso de la recarga según su importancia

$A_R$ = Puntaje de acuerdo al tipo de Acuífero

$A_W$ = Peso del tipo de Acuífero según su importancia  
 $S_R$ = Puntaje de acuerdo al tipo de suelo  
 $S_W$ = Peso del tipo de suelo según su importancia  
 $T_R$ = Puntaje de acuerdo a la pendiente del terreno  
 $T_W$ = Peso de la pendiente según su importancia  
 $I_R$ = Puntaje de acuerdo al Impacto de la zona vadosa  
 $I_W$ = Peso del impacto de la zona vadosa según su importancia  
 $C_R$ = Puntaje de acuerdo a la conductividad hidráulica  
 $C_W$ = Peso de la conductividad hidráulica según su importancia

Este método provee una forma simple de asignar la susceptibilidad de ciertas áreas a la contaminación. Los factores de clasificación se establecen del 1 al 10, mientras los factores de ponderación varían según el factor implicado entre 1 y 5. Los factores más importantes son la profundidad del nivel de agua, el tipo de suelo y el impacto de la zona no saturada. Además los factores de ponderación cambian cuando se trata de agentes contaminantes plaguicidas, como se mencionó anteriormente. Estas diferencias son establecidas debido a las características particulares de los pesticidas, ya indicadas; en la tabla 1 se observan las siete variables con sus respectivos factores de ponderación ( $W$ ) de acuerdo al tipo de vulnerabilidad, con los cuales a partir de remplazar los diferentes valores en la fórmula de  $I_v$  son obtenidos los puntajes de índice de vulnerabilidad por zona y se clasifican de acuerdo a la tabla 2 (Xavier *et al.*, 2004).

**Tabla 1.** Peso de cada variable según su importancia de acuerdo a DRASTIC para cálculo de vulnerabilidad Intrínseca y específica a plaguicidas.

<b>PARAMETROS</b>	<b>Peso (W) General</b>	<b>Peso (W) Pesticidas</b>
<b>D-</b> Deep Water (Profundidad del Acuífero) (m)	5	5
<b>R-</b> Recharge Net (Recarga Neta) (mm/año)	4	4
<b>A-</b> Aquifer media (Tipo de Acuífero)	3	3
<b>S-</b> Soil Media (Tipo de Suelo)	2	5
<b>T-</b> Topography (Topografía, Pendiente) (%)	1	3
<b>I-</b> Impact of Vadose Zone (Impacto de la Zona Vadosa)	5	4
<b>C-</b> Conductivity, Hydraulic (Conductividad Hidráulica del Acuífero) (m/día)	3	2

Los factores de clasificación son valorados así: *La profundidad al Acuífero*, es medida desde la superficie de la tierra, correspondiendo el valor mayor a la profundidad más pequeña, como se observa en la tabla 3; en cuanto a *la recarga neta*, la cantidad y calidad del agua recargada afecta significativamente los procesos físicos y químicos en el sistema del agua subterránea con las rocas y el suelo, se interpreta entonces como la mayor cantidad de agua que atraviesa la zona no saturada y que alimenta al Acuífero, usualmente es expresada en mm/año, como se puede ver en la tabla 4; *la topografía*, es considerada en este parámetro la pendiente del terreno, a menor pendiente del terreno aumenta la vulnerabilidad del Acuífero como lo refleja la tabla 5; el *tipo de Acuífero*, la capacidad para atenuar o restringir el transporte de la contaminación por el medio saturado depende de características del material en cuanto a su porosidad, grado de fracturación, química del agua, tamaño de la grava y grado de meteorización, así mismo la velocidad del agua, es mucho mayor en los Acuíferos fracturados que en los granulares y de hecho será mas vulnerable a la contaminación como se observa en la tabla 6; el *tipo de suelo*, tiene una importante función de atenuación para la vulnerabilidad de los Acuíferos cuando la contaminación es difusa (fertilizantes, pesticidas, y depósitos de ácidos), sus parámetros relativos para esta situación incluyen la textura, estructura, contenido de materia orgánica y tipos de

minerales arcillosos, ver tabla 7; la *conductividad hidráulica*, es un coeficiente de proporcionalidad que determina el grado de movilidad del agua en un medio permeable, un Acuífero será más vulnerable mientras mayor sea su conductividad hidráulica y es utilizado para expresar la capacidad del Acuífero de transmitir el agua como se observa en la tabla 8; y por ultimo, el *Impacto del tipo de zona no saturada o zona vadosa*, la zona no saturada se encuentra situada inmediatamente debajo del suelo, es de gran importancia pues en ella ocurren los procesos de lixiviación de los contaminantes y también la transpiración, absorción, reacciones químicas, filtración mecánica, degradación biológica, etc., estos procesos pueden amortiguar la contaminación, mientras más finos son los granos más capacidad de retardo o atenuación de la contaminación existe, como lo refleja la tabla 9 (Corrales, 2007).

**Tabla 2.** Grado de vulnerabilidad de acuerdo al valor *Iv* obtenido con DRASTIC.

<b>Puntaje</b>	<b>Grado de Vulnerabilidad</b>
<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 3.** Puntaje de acuerdo a la profundidad del Acuífero ( $D_R$ ) de DRASTIC.

<b>Profundidades en (m)</b>	<b>Puntaje</b>
0 - 1.5	10
1.5 - 4.5	9
4.5 - 9	8
9 - 15	5
15 - 23	3
23 - 30	2
> 30	1

**Tabla 4.** Puntaje de acuerdo a la recarga neta del Acuífero ( $R_R$ ) de DRASTIC.

<b>Rango (mm/año)</b>	<b>Puntaje</b>
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 250	8
>250	9

**Tabla 5.** Puntaje de acuerdo a la pendiente del Acuífero ( $T_R$ ) de DRASTIC.

<b>Rango (Pendiente%)</b>	<b>Puntaje</b>
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

**Tabla 6.** Puntaje de acuerdo al tipo de material del Acuífero ( $A_R$ ) de DRASTIC.

<b>Tipo de Material</b>	<b>Puntaje</b>
Esquistos Masivos	1 – 3
Rocas Metamórficas e Ígneas	2 – 5
Rocas Metamórficas e Ígneas Intemperizadas	3 – 5
Glacial Till	4 – 6
Areniscas Estratificadas, Calizas y Secuencias de Esquistos	5 – 7
Areniscas Masivas	4 – 9
Calizas Masivas	4 – 9
Arenas y Gravas	4 – 9
Basaltos	2 -10
Calizas Cársticas	9 – 10

**Tabla 7.** Puntaje de acuerdo al tipo de suelo del Acuífero ( $s_R$ ) de DRASTIC.

<b>Rango</b>	<b>Puntaje</b>
Suelo Fino o Inexistente	10
Grava	10
Arena	9
Turba	8
Arcillas Sueltas	7
Limo Arenoso	6
Limo	5
Limo Fangoso	4
Limo Arcilloso	3
Materia Orgánica	2
Arcillas Compactas	1

**Tabla 8.** Puntaje de acuerdo a la conductividad hidráulica del Acuífero ( $C_R$ ) de DRASTIC.

<b>Conductividad Hidráulica (m/día)</b>	<b>Puntaje</b>
>200	10
200 – 100	8
100 – 10	6
10 – 1	4
1 – 0.1	2
<0.1	1

**Tabla 9.** Puntaje de acuerdo al impacto de la zona no saturada del Acuífero ( $I_R$ ) de DRASTIC.

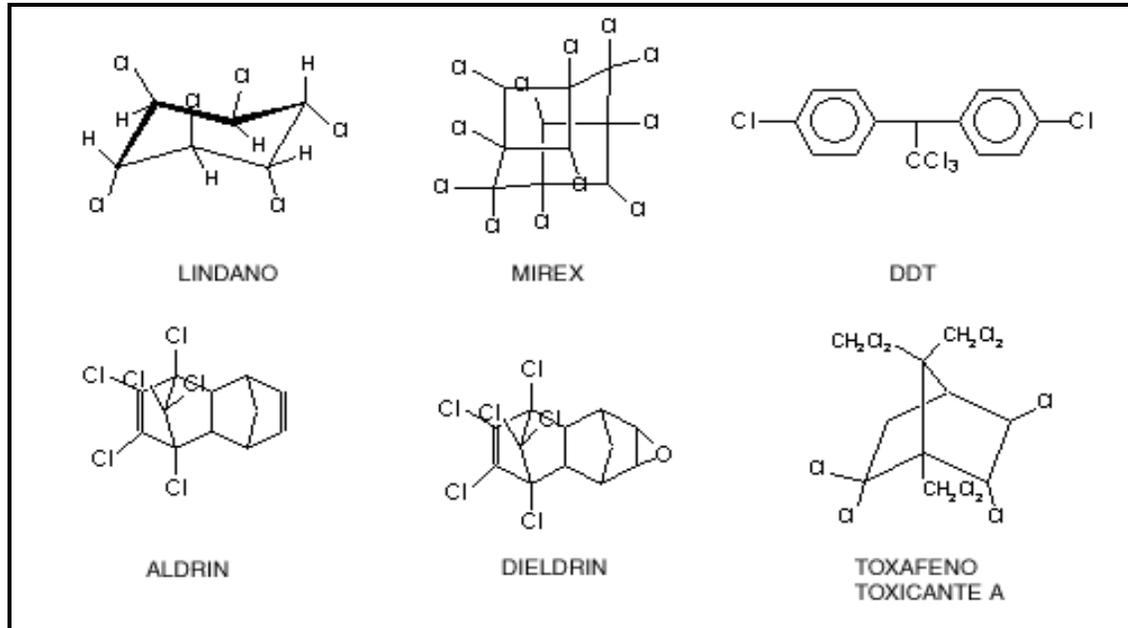
<b>Rango</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Puntaje Característico</b>
Capas Confinadas	1	1
Arcillas	2 – 6	3
Pizarras y Esquistos	2 – 5	3
Calizas	2 – 7	6
Arenas	4 – 8	6
Calizas, Arenas y Esquistos	4 – 8	6
Glacial Till	4 – 8	6
Rocas Metamórficas e Ígneas	2 – 8	6
Arenas y Gravas	6 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Calizas Cársticas	9 – 10	10

### 3.2. GENERALIDADES SOBRE AGROQUÍMICOS

Los agroquímicos son productos sintéticos, complejos utilizados básicamente para combatir las plagas a través de los plaguicidas, y para mejorar las productividades de las cosechas y los pastizales mediante el aporte de uno o varios elementos nutritivos indispensables para su desarrollo vegetativo normal, a través de los fertilizantes (Ramos, 2005). Según la definición dada por la FAO “Los plaguicidas son sustancias o mezclas de cualquier sustancia destinadas a destruir o controlar cualquier plaga, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicios o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera. El termino incluye productos a utilizarse como reguladores de crecimiento, defoliantes, desecantes y las sustancias aplicadas a los cultivos antes y después de las cosechas para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte” (Ferrer, 2003). Básicamente son:

- *Herbicidas*; Sustancias que acaban con plantas que compiten con la especie privilegiada. Estos pueden ser bipiridílicos como el Paracuat y el Dicuat, organoclorados como la Atrazina; (son derivados clorados de hidrocarburos aromáticos, de amplio espectro y gran persistencia), entre otros.
  
- *Insecticidas*: Atacan insectos y parásitos, los insecticidas básicamente proceden de piretroides (son extractos vegetales o sintéticos), organoclorados (como: DDT, Lindano, Aldrín, Mirex, Dieldrin y Toxafeno), organofosforados (son derivados del fósforo con radicales orgánicos, su principal característica es su biodegradabilidad, han ido reemplazando los organoclorados) y carbamatos (son sales o esteres del ácido carbámico o uretano).

- **Fungicidas:** Son compuestos que atacan a los hongos, estos pueden ser organoclorados u órgano mercuriales (Badii *et al.*, 2005; Ferrer, 2003).



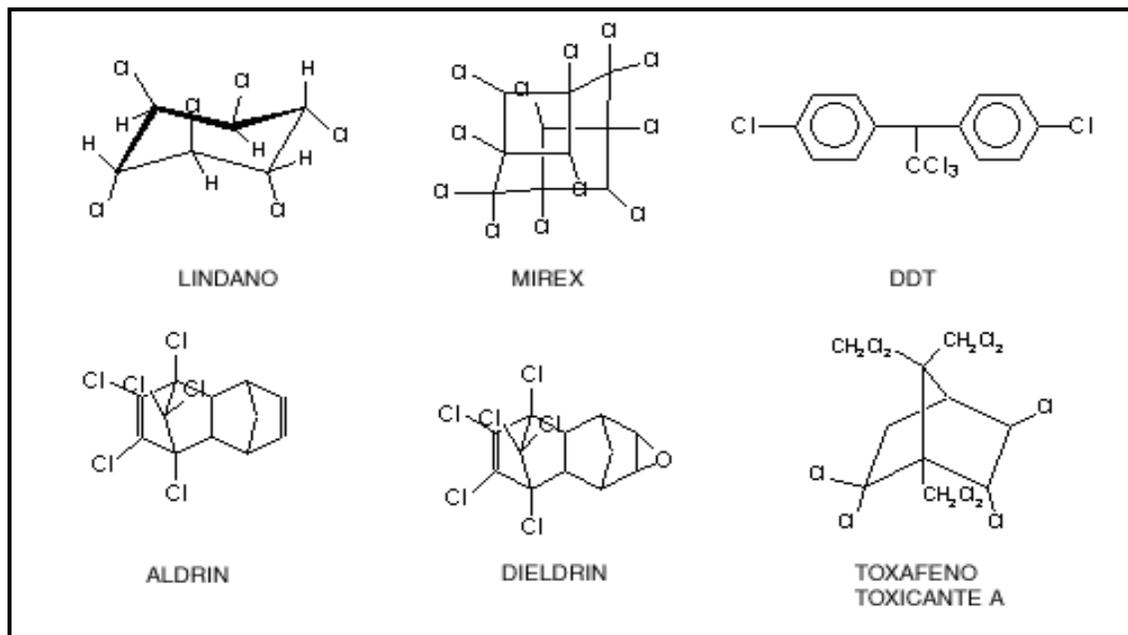
(Fuente: Ferrer, 2003)

**Figura 2:** Estructura de algunos plaguicidas Organoclorados

Los agroquímicos como productos que apoyan la producción agropecuaria, generan efectos sobre el entorno y entre los más evidentes: la extinción de muchas especies de insectos que son claves para el desarrollo sostenible de la nueva cultura de la industria agropecuaria y la proliferación de otros que crean resistencia a estas sustancias generando un desequilibrio en los ecosistemas (Bielza, 2007); además de la contaminación de los productos agropecuarios, incorporándose a la cadena alimenticia, lo que afecta la salud y la calidad de vida (Antle *et al.*, 2003).

La problemática va mas allá del producto agroquímico en sí ya que es extendida hasta el inadecuado uso de los mismos, como es el caso de las mezclas incorrectas de químicos, aplicaciones en dosis y frecuencias inadecuadas,

transporte de estos productos en las fincas cerca de habitaciones y lugares de acopio de alimentos humanos, así como concentrados para animales (Contraloría General del Departamento de Sucre, 1997).



(Fuente: Ferrer, 2003)

**Figura 3:** Estructura de algunos plaguicidas Organofosforados

Todos los productos agroquímicos, después de haber sido esparcidos y aplicados son arrastrados por las lluvias, desde las hojas y del suelo por la escorrentía, además de las corrientes de aire, llevando el producto y sus principios activos a ecosistemas más allá de las fronteras y áreas de aplicación (Candela, 1998).

Desde otra perspectiva se tienen los residuos volátiles cuando pasan a la atmósfera vuelven a ser precipitados por las lluvias en lugares distintos a aquellos donde se realizaron las aplicaciones, entonces el problema generado pasa de un contexto local a uno general (Zhang y Wang, 2007).

### **3.2.1. Dinámica de los agroquímicos en el suelo y en la zona no saturada de los Acuíferos**

De la dinámica de los agroquímicos en el suelo y en la zona no saturada depende su eventual presencia en las aguas subterráneas. Es así como la sorción, degradación y volatilización; son regidas fundamentalmente por la acción de los factores climáticos, las características del plaguicida y su tipo de aplicación, la naturaleza del suelo y los procesos que en él se desarrollan (Arias *et al.*, 2007).

El 60% del total utilizado de plaguicidas es acumulado en el suelo lo que hace que los persistentes planteen cierta peligrosidad, provoquen alteraciones sobre la microfauna del mismo y toxicidad sobre ciertos vegetales. Los plaguicidas son presentados de forma heterogénea en esta matriz, apareciendo más concentrados en la superficie sin un reparto uniforme, en general su zona de acción se ejerce hasta una profundidad de 30 a 40 cm, aunque cerca del 50% de estas sustancias vertidas permanecen a menos de 2,5 cm (Seoanez, 1996).

La degradación de los plaguicidas en el suelo después de las pérdidas por evaporación y arrastre, cerca de la superficie, depende de varios procesos abióticos y bióticos, tales como fotodegradación, hidrólisis química y transformación por las raíces de las plantas y los microorganismos del mismo; se reconoce que el mecanismo predominante es el efecto de la microflora. La degradación microbiana de un plaguicida en el suelo, es afectada por las propiedades físicas y químicas del mismo, la frecuencia y cantidad de aplicación, el sistema de cosecha y la presencia de otros plaguicidas; en algunos casos se observa que solo una parte de la molécula puede ser degradada, y usada como fuente de carbono y energía para el crecimiento microbiano. En el mejor de los casos, se puede alcanzar la degradación completa del plaguicida y la alternativa es la formación de productos intermedios de mayor o menor toxicidad que podrían ser transformados por otras cadenas microbianas (Fournier *et al.*, 1997). En este

sentido es la naturaleza del producto, quien en primera medida condiciona fundamentalmente su persistencia en el suelo y posterior lixiviación a los mantos freáticos; condicionando antes los siguientes aspectos:

➤ *Solubilidad en Agua*, la mayoría de plaguicidas químicos son sustancias de bajos pesos moleculares y poco solubles en agua (son más solubles los iónicos, y que los no iónicos y los catiónicos que los aniónicos); en este sentido, son poco solubles en agua los organoclorados debido a su carácter apolar, los organofosforados son generalmente más solubles y los herbicidas ácidos son los menos solubles (Morell y Candela, 1998).

En general, un plaguicida con solubilidad mayor que 30 ppm (mg/L) implica un riesgo potencial de alcanzar el agua subterránea. Un criterio que ha sido empleado en la estimación del comportamiento ambiental es el índice de partición octanol - agua ( $K_{ow}$ ), el cual es una medida de su hidrofobicidad. Se ha propuesto que aquellos plaguicidas con un  $\log K_{ow} < 3$  no serían solubles en grasas y aquellos con  $\log K_{ow} > 4$  sí lo serían. (Baez *et al.*, 1996). Los plaguicidas organoclorados y piretroides se definen como liposolubles y la mayoría de ellos tienen  $\log K_{ow}$  mayores a 5; la cipermetrina presenta valores mayores de 4 y muchos de los plaguicidas organofosforados pertenecen a una zona de superposición ( $4 < \log K_{ow} < 3$ ), la cual no puede considerarse como un límite definido. Hay, además algunos compuestos que son pobremente solubles tanto en octanol como en agua (ditiocarbamatos poliméricos) para los cuales el  $K_{ow}$  no constituye una medida útil de clasificación (Noble, 1993). Estos conceptos adquieren importancia ambiental relevante, al determinarse que los plaguicidas hidrofóbicos ( $\log K_{ow}$  por encima de 4) tienden a permanecer adsorbidos a la fracción sólida del suelo, mientras que los hidrosolubles ( $\log K_{ow}$  por debajo de 3) no, siendo de esta forma más propensos a ser lixiviados (Kreuger *et al.*, 1999).

➤ *Volatilidad*, la tensión de vapor de los plaguicidas suele ser baja, aunque no por ello pueden despreciarse las pérdidas por volatilización, en ella influyen las temperaturas elevadas, con altas concentraciones y la humedad del aire cuando es superior a la del suelo. Las mayores pérdidas por este aspecto se producen en el período inmediatamente posterior a la aplicación del plaguicida, sin embargo, también pueden ser significativas las pérdidas lentas pero continuas en ambientes secos. La volatilización se reduce apreciablemente una vez que el plaguicida es incorporado al suelo donde su velocidad empieza a depender de su movimiento hacia la superficie, a través de la difusión o transporte por el agua de esta matriz (Loewy, 2000).

Una vez en el agua la volatilización debe evaluarse a partir de la constante de la Ley Henry (KH), que se determina dividiendo la presión de vapor por la solubilidad acuosa del producto. Los compuestos con KH mucho mayores que  $2.5 \times 10^{-5}$  son volátiles y su volatilidad disminuye con el tiempo, mientras que aquellos compuestos con valores de KH mucho menores que  $2.5 \times 10^{-5}$  son menos volátiles y su volatilidad se incrementa con el tiempo (Van der Werf, 1996). Los plaguicidas con presión de vapor alta no se consideran peligrosos para las aguas subterráneas, sin embargo, no siempre se tiene en cuenta que sustancias hidrofóbicas, de alto peso molecular (ej. DDT o PCB's) que tienen bajas presiones de vapor, pueden particionarse apreciablemente en la atmósfera en la medida que tienen también muy bajas solubilidades en agua (Loewy, 2000).

➤ *Estructura química*, los compuestos de estructura estable son los más persistentes (algunos herbicidas con triazinas y los insecticidas organoclorados), es decir, resisten en el suelo los procesos de descomposición que conducen a la degradación química, en particular a la hidrólisis, la fotólisis y la transformación microbiana; y además no se evaporan. En fin, los plaguicidas de estructura estable tendrán una vida media (tiempo requerido para que la concentración inicial del producto se reduzca a la mitad (DT50)) muy larga y un alto potencial para

contaminar el agua subterránea. La degradación de estos compuestos en suelo usualmente se incrementa con la temperatura y con el contenido de agua del mismo, por lo que las velocidades de degradación no pueden predecirse solo a partir de la estructura química o de las propiedades fisicoquímicas del compuesto, aunque en general la degradación puede describirse satisfactoriamente como un decaimiento exponencial simple, asumiendo que la cantidad degradada por unidad de tiempo es directamente proporcional a la cantidad presente (Nichols, 1991).

➤ *Biodegradación*, los agroquímicos en suelos se transforman en su estructura química, como ya se mencionó, a través de procesos de hidrólisis, oxidación, reducción, sustitución o eliminación de grupos funcionales y fragmentación de sus estructuras; dando lugar a compuestos inorgánicos como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, haluros, fosfatos, amonio, entre otros; en el último caso citado el proceso global se denomina degradación. La transformación se lleva cabo por vía química, fotoquímica o bioquímica, siendo esta última debida a la actividad de los microorganismos del suelo, por lo tanto es la más predominante en éste y se denomina en forma general biodegradación, la cual se define como cualquier transformación estructural en el compuesto original inducida biológicamente de tal manera que cambie la integridad de la molécula; depende del tipo de suelo, del pH, del contenido de agua y de la temperatura, y de acuerdo al compuesto se tendrá una reacción oxidante, reductora, hidrolizadora o de polimerización. Es difícil distinguir las reacciones gobernadas por la actividad microbiana de las puramente químicas, especialmente cuando los procesos y productos de la degradación son similares (Morell y Candela, 1998).

Como segunda medida, la dinámica de los plaguicidas depende de las características del suelo, como se había dicho la evolución de un ingrediente activo en el mismo depende del pH, la estructura, la riqueza en coloides, y otros factores; pues éstos marcan decisivamente su persistencia así:

➤ *Tipo de suelo*, los plaguicidas actúan más fácilmente en suelos arenosos que en suelos arcillosos en cuanto a que permiten más la lixiviación, favoreciéndose de esta manera la contaminación del agua subterránea (Montoya *et al.*, 2006); toda vez, que la arcilla tiene una alta, fuerte e importante capacidad de adsorción química y por su gran superficie de contacto también presenta una alta capacidad de adsorción física (Loewy, 2000). Por otro lado los coloides orgánicos absorben más los plaguicidas que los coloides minerales (Goody *et al.*, 2007); y éstos en general presentan una alta adsorción frente a los plaguicidas cargados positivamente (Morell y Candela, 1998).

En los suelos a medida que la textura tiende a ser arenosa mayor es la cantidad de cierto compuesto químico que se mueva cerca del frente de agua y los compuestos móviles pueden ser totalmente eliminados (filtrados) de la superficie del suelo (Nichols, 1991). En suelos arcillosos con una estructura substancial, consistente en agregados y terrones, la propagación o dispersión horizontal de pesticidas es grande debido a la retención en los poros pequeños dentro de los agregados, y solo hay una muy pequeña difusión a los principales canales de flujo de agua, pero aún así una mínima proporción puede penetrar profunda y rápidamente en estos grandes canales; por otra parte, la sustitución de  $\text{Si}^{4+}$  en las arcillas por  $\text{Al}^{3+}$  y de  $\text{Al}^{3+}$  por  $\text{Mg}^{2+}$  produce una deficiencia de cargas positivas que tiende a ser compensada por adsorción de cationes, esta última sustitución se da muy frecuente en la montmorillonita y las de Aluminio por Sílice son pequeñas en la caolinita, mientras que la illita se encuentra en una situación intermedia (Loewy, 2000).

➤ *pH*, se ha evidenciado la influencia del pH en la degradación de los plaguicidas (Barcelo, 1996). La adsorción de ciertos herbicidas aumenta al bajar el pH y los productos organofosforados son más persistentes en suelos ácidos (Arias *et al.*, 2007); y en general las reacciones químicas de descomposición disminuyen a pH superior a 7 (Orozco *et al.*, 2003). Como ya se había dicho, las cargas

negativas de las partículas de suelo y de la materia orgánica, adsorben cualquier componente o sustancia que esté cargada positivamente; el pH influye entonces en la adsorción y disponibilidad de los herbicidas porque la mayoría de éstos, se cargan positivamente cuando el pH del suelo es ácido (H<sup>+</sup>) (Bohn *et al.*, 1993).

➤ *Contenido de Materia Orgánica*, aumenta la capacidad de adsorción en el suelo como resultado de su alta capacidad de intercambio catiónico, en ese sentido los suelos arcillosos con mucha materia orgánica presentan poca volatilización, lo que conlleva a que los plaguicidas sean retenidos en él disminuyendo el riesgo de contaminar los mantos freáticos, asimismo la materia orgánica proporciona el sustrato alimenticio de los microorganismos incrementando su actividad metabólica en el suelo (Delgado *et al.*, 2007). Por otro lado, la adsorción de químicos no ionizados está fuertemente relacionada con el contenido de materia orgánica más que con cualquier otra propiedad del suelo y aunque la constante de adsorción para plaguicidas iónicos o ionizables es dependiente sólo del plaguicida y esencialmente independiente del tipo de suelo, cuando éste presenta muy bajo contenido de materia orgánica la estimación de esta constante podría estar sujeto a errores (Delphin y Chapot, 2006).

La materia orgánica también presenta una alta absorción y este termino hace referencia a su capacidad para unirse a sustancias orgánicas hidrofóbicas, es decir, la disolución de un compuesto hidrofóbico en el seno del material orgánico presente en el suelo (Loewy, 2000).

Por ultimo, en la persistencia de los plaguicidas influye también el medio, en este sentido, la temperatura, las precipitaciones y la cubierta vegetal actúan así:

➤ *Temperatura*, todos los procesos metabólicos y de degradación de los plaguicidas están influidos por la temperatura, así por ejemplo, la disminución de la temperatura influye negativamente en la volatilización de los plaguicidas

(Bloomfield et al., 2006); y el aumento, incrementa la actividad microbiana, cuya situación óptima, en que se acelera la degradación de plaguicidas, se encuentra en suelos húmedos y con temperatura superior a 25 °C (Alloway y Ayres, 1997).

➤ *Precipitaciones*, la humedad del suelo favorece la degradación viéndose catalizado el fenómeno por una temperatura elevada (Alloway y Ayres, 1997); las precipitaciones proporcionan esa humedad y al mismo tiempo, producen arrastres y lavados del suelo. Por otra parte existe cierta competencia, en cuanto a la adsorción entre plaguicidas y el agua; en general la humedad del suelo produce los siguientes efectos: menor adsorción inicial del plaguicida, aumenta la difusión y asimilación del producto (Kladivko et al., 1997; Gooddy et al, 2001).

➤ *Cubierta vegetal*, produce una disminución de la energía lumínica que llega a la superficie del suelo, al incrementar la cantidad de luz que es reflejada y absorbida, este hecho disminuye los procesos de degradación de plaguicidas por fotólisis. Asimismo, la cubierta vegetal actúa como aislante produciendo que los suelos resulten entre 2 y 10°C más fríos (Agrela, 2003; Rodríguez, 2005). Los vegetales sobre todo tubérculos, asimilan parte de los plaguicidas del suelo disminuyendo su contenido. Igualmente ha sido comprobado que algunos productos organoclorados aumentan su persistencia en el suelo ante la presencia de ciertas herbáceas de pastizales (Seoanez, 1996).

## **4. HIPÓTESIS**

### **- Hipótesis Nula**

La aplicación de agroquímicos sobre el área de recarga del Acuífero Formación Morroa han generado un impacto ambiental negativo sobre esta fuente de agua, evidenciado en el riesgo que los agroquímicos lleguen a contaminarlo.

### **- Hipótesis Alternativa**

La aplicación de agroquímicos, desarrolladas en el área de recarga del Acuífero Formación Morroa no han generado impacto ambiental negativo alguno sobre esta fuente de agua.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. ÁREA DE ESTUDIO

El Acuífero Morroa es la fuente más importante de abastecimiento de agua y desarrollo humano para las comunidades de los municipios que lo circunscriben como Sampues, Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos y Ovejas en el departamento de Sucre, así como Sahagún y Chinú en el departamento de Córdoba; y El Carmen de Bolívar, en el departamento Bolívar. La zona de estudio corresponde a 526.9 km<sup>2</sup> y se localiza, en la parte central del departamento de Sucre al nor-occidente de Colombia, entre las coordenadas planas, proyección transversa *Mercator elipsoide Hayford*, origen Bogotá:  $X_1=1.500.000$ ,  $X_2=1.540.000$ ,  $Y_1=846.000$ ,  $Y_2=880.000$  (CARSUCRE, 2005), (Figura 4).



Fuente propia

**Figura 4.** Área de estudio, Acuífero Morroa ubicado sobre los municipios de Sucre que hacen parte de él.

### **5.1.1. Climatología**

El clima está clasificado como sabana tropical o bosque seco tropical (bs- T), con influencia de los vientos alisios del Noreste que predominan durante algunos meses del año, determinando variaciones de humedad relativa y de precipitaciones; la humedad relativa media anual de la zona es de un 78% alcanzando un valor máximo de 83% en el mes de octubre y un valor mínimo de 71% en el mes de enero. Desde el punto de vista de temperatura los climas sucreños son casi uniformemente cálidos, la temperatura media fluctúa entre los 26.5 y 28.5 °C, la máxima es de 37.4 °C en el mes de marzo y la mínima de 18.5 °C en el mes de enero. Son presentadas dos estaciones, una seca con altas temperaturas y alta evapotranspiración que es extendida desde el mes de diciembre hasta mediados de abril y otra época de lluvia desde mediados de abril hasta mediados de noviembre (Abreu y Díaz, 2004); con precipitaciones promedio anual del orden de 1056 mm (CARSUCRE, Op.cit.). Por otra parte, en las subregiones Montes de María y Sabanas, que no presentan aguas superficiales permanentes, el fenómeno de la intensa evaporación hace más importante las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento (Abreu y Díaz, Op.cit).

### **5.1.2. Suelos e hidrogeología**

Se presentan suelos con paisaje de montañas litológicamente compuestos por areniscas calcáreas y/o areniscas, con paisaje de lomerío compuestos por areniscas calcáreas poco consolidadas y con arcillas carbonatadas, y también con paisaje de planicie litológicamente compuestos por arcillas (IGAC, 2003). Estos suelos son muy superficiales con pérdidas en la mayor parte del horizonte A; en muchas áreas sobresalen gravillas en la superficie y el drenaje natural es de tipo excesivo a bien drenado (CARSUCRE, 2005). En cuanto a hidrogeología, el Acuífero Morroa es un complejo constituido por capas de areniscas y conglomerados pocos consolidados, intercalados con capas de arcillolitas

producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales; estructuralmente este Acuífero está dispuesto en forma monoclinial, en su mayor parte presenta dirección N 25° E y una inclinación hacia el Este, variable entre 25° en la base y de 5° a 6° en el techo descansa con un ángulo cerca de 20° de inclinación sobre la Formación Sincelejo superior, que presenta cerca del tope una inclinación de 45°, lo cual indica una posible discordancia entre las dos Formaciones, asimismo tiene un espesor variable de hasta 500 m (INGEOMINAS, 1993). La Corporación Autónoma Regional del Departamento de Sucre, CARSUCRE, a partir de estudios de FINAGUAS en el 2001, dividió el Acuífero de Morroa en cuatro grupos principales: Formación Morroa areno-conglomerática, Formación Morroa arenosa, Formación Morroa areno-arcillosa y Formación Morroa arcillosa.

Para conseguir los objetivos enmarcados en este trabajo, fue realizado un plan de labores, que condujo al logro satisfactorio de los mismos. Para lo cual se llevó a cabo las cuatro actividades generales siguientes:

## **5.2. ACTIVIDADES SOCIALES DE RECONOCIMIENTO RURAL Y DISEÑO DEL MAPA DE USO DE AGROQUÍMICOS**

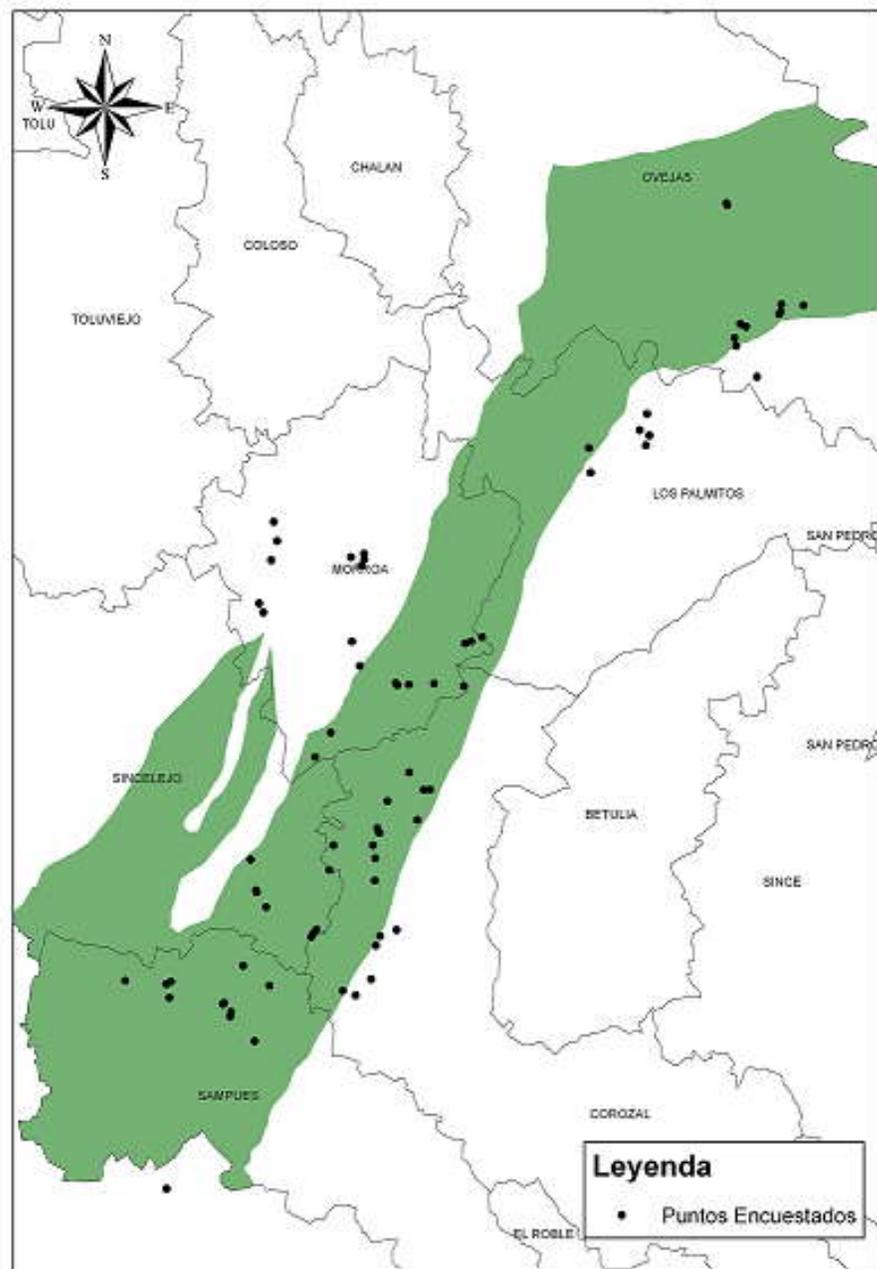
Aprovechando que las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuarias (UMATAS), por su razón de ser conocen totalmente el manejo agronómico de los cultivos en su jurisdicción, se extrajo con ellas una muestra representativa de los agricultores que aplican agroquímicos con mayor frecuencia, por municipio. Con esta información, se diseñó un muestreo no probabilístico, intencional, caso extremo (Gallardo y Moreno, 1999); siendo el extremo los productores que más aplican estas sustancias como subsidios energéticos a sus agro-ecosistemas. Posteriormente, en compañía del personal técnico perteneciente a estas instituciones se visitó cada predio para aplicar una encuesta entre las personas seleccionadas, tendiente a determinar: áreas cultivadas, cultivos implantados,

fertilizantes y plaguicidas utilizados con sus correspondientes dosificaciones, propósitos y motivos de uso, herramientas y prevenciones de aplicación, casos de intoxicaciones y características físicas generales del área cultivada (Anexo 1).

En total se realizaron 76 encuestas distribuidas entre todos los corregimientos ubicados sobre el área recarga del Acuífero Morroa, (Tabla 10) y mediante el sistema de posicionamiento global (GPS – Garmin), se georeferenció cada finca encuestada (figura 5,) para luego generarse el mapa de intensidad de uso de agroquímicos por zona. El análisis estadístico de la información levantada se hizo mediante el software estadístico *Epi Info* y las graficas por variables a través de *Microsoft Office Excel 2007*.

**Tabla 10:** Corregimientos de cada municipio sobre el Acuífero Morroa, donde se realizaron las encuestas a los agricultores.

<b>SINCELEJO</b>	<b>COROZAL</b>	<b>MORROA</b>	<b>LOS PALMITOS</b>	<b>SAMPUES</b>	<b>OVEJAS</b>
-Chochó	-Don Alonso	-Casco Urbano	-El Piñal	-Casco Urbano	-Casco Urbano
-Las Palmas	-Canta Gallo	-Las Flores	-El Bongo	-Segovia	-La Peña
-Castañeda	-El Mamón	-Sabanas de Cali		-Mata de Caña	-San Rafael
	-Pileta	-Las Brujas		-Mateo Pérez	-Flor del Monte
	-Las tinas	-El Rincón			
		-Bremen			
		-Los Hatos			
		-El Rosario			



**Figura 5.** Predios donde se realizaron las encuestas a los agricultores sobre el área de estudio.

### **5.3. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS MÁS VULNERABLES A CONTAMINACIÓN POR PLAGUICIDAS**

Para la identificación de las zonas más vulnerables a la contaminación fue necesario aplicar el método DRASTIC, involucrando la información secundaria en lo concerniente a los 7 parámetros que lo conforman, con sus respectivas ponderaciones de acuerdo a vulnerabilidad intrínseca y específica a plaguicidas.

#### **5.3.1. Obtención de la información concerniente a las siete variables que requiere la metodología DRASTIC**

Del inventario de pozos del área de estudio, disponible en CARSUCRE se obtuvieron las coordenadas planas en X y Y, y las profundidades del agua con relación al nivel estático; de Buitrago y Donado (2000) fueron obtenidas las recargas por zona del Acuífero; en cuanto a la zona vadosa y al tipo de Acuífero fueron extraídos del más reciente trabajo realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi con el auspicio de la Gobernación del departamento de Sucre (IGAC, 2003); los tipos de suelo fueron obtenidos de Cárdenas y Medrano (2007), en complemento con IGAC (2003); las pendientes, se obtuvieron de la cartografía digital IGAC (1998), específicamente de las curvas de nivel con ayuda de la herramienta *Arcgis 9.2* (McKoy, 2001) y las conductividades hidráulicas de los diferentes pozos se obtuvieron a partir de Buitrago y Donado (2000) - Pacheco y Villegas (2003) – De Vivero y Montoya (2004), asimismo de pruebas de bombeo realizadas por empresas prestadoras del servicio de agua y consultores en general, y avaladas por dicha corporación autónoma para expedición de la licencia de explotación de pozos, de donde fueron determinados los valores para esta variable mediante el *software Aquifer Test v.4.0*.

### 5.3.2. Realización de mapas de Vulnerabilidad

Los mapas de distribución espacial de la vulnerabilidad DRASTIC fueron realizados mediante *Arcgis 9.2*, a partir los datos obtenidos de cada una de las variables. Las capas necesarias para aplicar el método fueron generadas en formato Raster con un tamaño de pixel 90 metros por lado. Se procedió de la siguiente manera:

- Los valores puntuales de fenómenos continuos como los niveles estáticos fueron interpolados con el objeto de generar una superficie continua del fenómeno respectivo.
- La hidrogeología correspondiente al Acuífero Morroa se encontraba como una capa vector y fue transformada a Raster para poder realizar el algebra de mapas.
- Todas las capas de información fueron reclasificadas según los intervalos que sugiere DRASTIC. Esta operación consiste en transformar los valores originales de cada variable a valores que van de 1 a 10, donde 1 significa que es menos susceptible al fenómeno en cuestión y 10 más susceptible, como ya se había mencionado.
- Teniendo todas la variables reclasificadas, y en formato Raster se procedió a realizar el algebra de mapas. Los sistemas de información geográfica SIG, son muy importantes en este paso ya que brindan la posibilidad de sumar todas las capas y que cada una sea multiplicada por su respectivo factor de ponderación; para eso fue utilizada la extensión *Spatial Analyst* de *Arcgis 9.2*.

## **5.4. ACTIVIDADES DE CAMPO**

### **5.4.1. Identificación de puntos de muestreo**

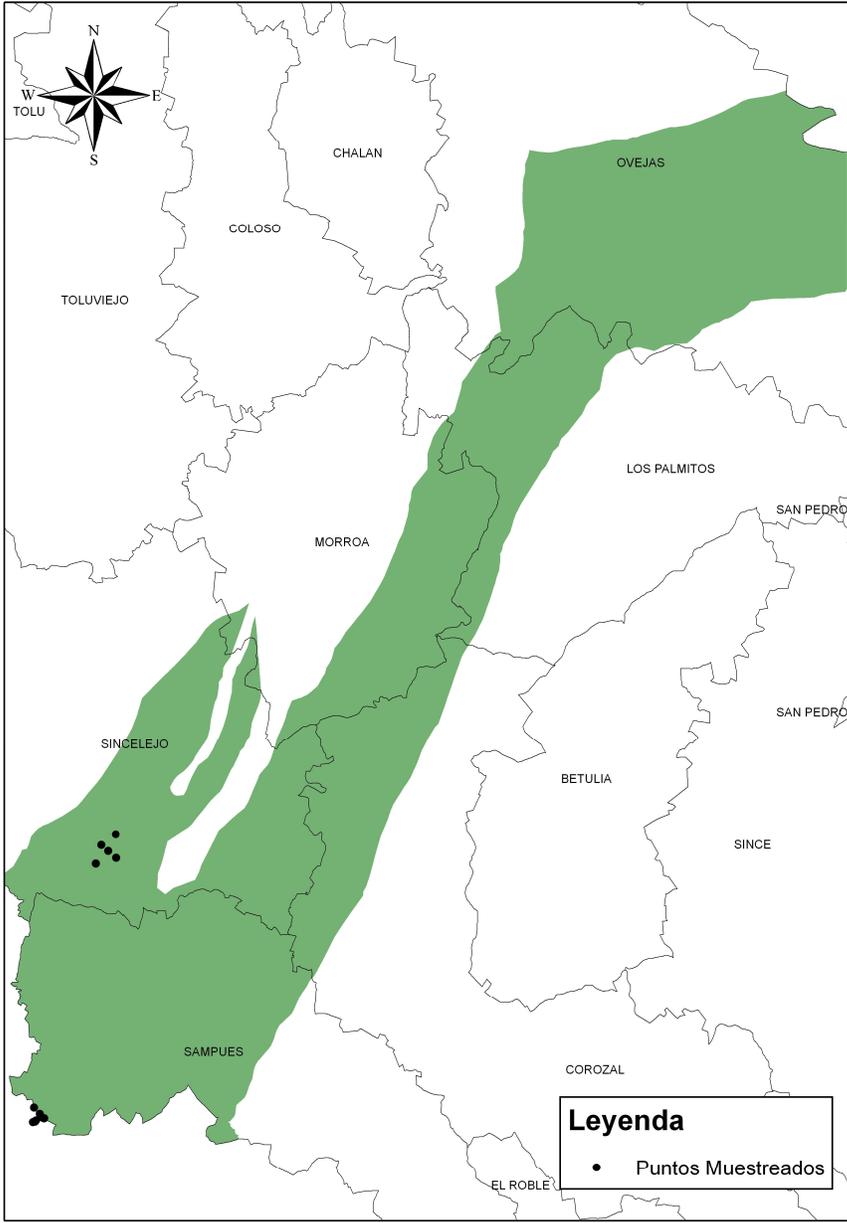
Identificadas las áreas más vulnerables y mediante, la cartografía digitalizada de la zona de estudio y los datos arrojados por las encuestas, se seleccionaron los puntos de muestreo de suelos georeferenciandolos, y los plaguicidas de acuerdo con su frecuencia de uso, a evaluar en cada muestra. Considerando también, que los sitios topográficamente de menor altura son los más representativos (para este caso) de un área; pues, por efectos de la escorrentía, los vientos y otros factores, todo lo hecho en las zonas altas tendrá efecto en los sitios de menor nivel (Vargas, 2004). Este es un muestreo no probabilístico, intencional, caso extremo (Gallardo, 1999); siendo el caso extremo los puntos de cota inferior en el relieve.

Es importante resaltar que los puntos seleccionados corresponden solo a las menores alturas, por lo que no necesariamente están ubicados en predios agrícolas, pero si se considera que éstos transmiten la información de toda la cuenca ya que a ellos llegan las escorrentías, que fluyen desde las fincas donde se aplican los agroquímicos situadas aguas arriba.

### **5.4.2. Toma de muestras**

Ubicados los puntos en el mapa, mediante el GPS fueron situados en campo y de esta forma se tomaron en total 14 muestras representativas de suelo como, (figura 6), compuestas de 3 a 5 sub-muestras cada una. Así, a una profundidad de entre 30 y 40 cm, considerando que en esta profundidad es donde permanecen los plaguicidas en el suelo más aun en zonas bajas (zonas de ganancia) (Seonez, 1996); mediante barreno y barretón se tomó aproximadamente 1,3 kg. de suelo por muestra representativa como se observa en las figuras 7 y 8; cada una de esta se dividió en 2 partes, 300 grs. se depositaron en un frasco de vidrio recubierto

totalmente con papel aluminio, de acuerdo al método estándar, para análisis de trazas de agroquímicos; y la otra parte (aprox. 1 kg.) se depositó en una bolsa plásticas de color negro para la realización de los análisis físico-químicos.



**Figura 6.** Puntos donde se tomaron las muestras de suelo sobre el área de estudio.



**Figura 7.** Toma de muestras de suelos en zonas de Sincelejo.



**Figura 8.** Toma de muestras suelos en zonas de Sampues.

#### **5.4.3. Análisis de laboratorios**

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos en los suelos muestreados se realizaron los siguientes análisis:

- Textura, Mediante la metodología del Hidrómetro o Bouyoucos (IGAC, 2006).
- Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.), a través del método *Acetato de Amonio 1 Normal y Neutro* (IGAC, 2006).
- pH, con Potenciómetro (Relación Suelo/Agua=1.1 Peso/Volumen) (IGAC, 2006).
- Materia Orgánica (M.O.), mediante el método de Walkley-Black (IGAC, 2006).

En cuanto a plaguicidas, se hicieron análisis cromatográficos para determinar concentraciones de los más utilizados según los resultados de las encuestas y como control se analizaron también tres ingredientes activos más, que no están siendo aplicados en la actualidad.

Los métodos cromatográficos que se usaron fueron:

- Para organofosforados (Clorpirifos, Malatión, Metil Paratión y Metil Azinfos) mediante extracción sólido-líquido en cromatografía gaseosa con *Detector NPD*, de acuerdo a la metodología de la EPA (8140 (b)) (Barcelo, 1993).
- Para organoclorados, piretroides y metabolitos de Cipermetrina, mediante extracción líquido-líquido en cromatografía gaseosa con *Detector GC-ECD*, de acuerdo a la metodología EPA (8081) (Barcelo, 1993).
- Para Carbamatos, mediante cromatografía gaseosa con detector selectivo de masas (GC-MS) de acuerdo a la metodología EPA (630) (Barcelo, 1993).
- Para Glifosato, mediante cromatografía gaseosa con detector de captura electrónica Ni (ECD), Según Eberbach'J y Douglas (1991).

## **5.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS FINALES**

A los resultados obtenidos de los exámenes de laboratorios, se le aplicaron las herramientas estadísticas Análisis Clúster disponibles en el paquete estadístico *Statgraphics Plus 5.1*, para establecer que variables del suelo tienen comportamiento similar con la determinación de plaguicidas; también se aplicó Análisis de Componentes Principales disponibles en el paquete estadístico XLSTAT 2009, para establecer el parámetro fisicoquímico que condiciona la presencia del plaguicida en el suelo.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS

**6.1. Análisis estadístico de encuestas:** Del análisis estadístico de las encuestas se obtuvieron los siguientes resultados:

En la figura 9, se muestran los plaguicidas en orden, de acuerdo con sus frecuencias de uso. Siendo el herbicida no selectivo Glifosato, el más aplicado, (61,%); Seguido en frecuencia de uso por el insecticida organofosforado de categoría toxicológica I, Clorpirifos, (42%); continúa en orden de aplicación el herbicida perteneciente al grupo de los dipiridilos, ubicado en la categoría toxicológica II, denominado Paracuat; sigue el insecticida organofosforado de categoría toxicológica III, Dimetoato; y así continúan con relativa importancia en cuanto a su frecuencia de aplicación, Diuron, Cipermetrina, Amina, Metilparati6n hasta el Malati6n.

Resulta importante mencionar que en estudio realizado por Vergara *et al.* (2006) en los municipios de Corozal, Morroa y Los Palmitos (zona parcial de la presente jurisdicci6n), se identificaron como ingredientes activos m1s frecuentes en su uso, por los agricultores: Paracuat, Malati6n, Glifosato y Cipermetrina, lo que revela que los presentes resultados est1n de acuerdo con el uso de plaguicidas de la regi6n, con una respectiva variaci6n debido a que el paso del tiempo modifica relativamente los uso de estas sustancias, por efecto de que las plagas se vuelven resistentes a los mismos agroqu1micos, porque los comerciantes cambian sus ofertas buscando mejorar sus utilidades y tambi6n algunos plaguicidas van disminuyendo su aplicaci6n por sus efectos toxicol6gicos a nivel humano.

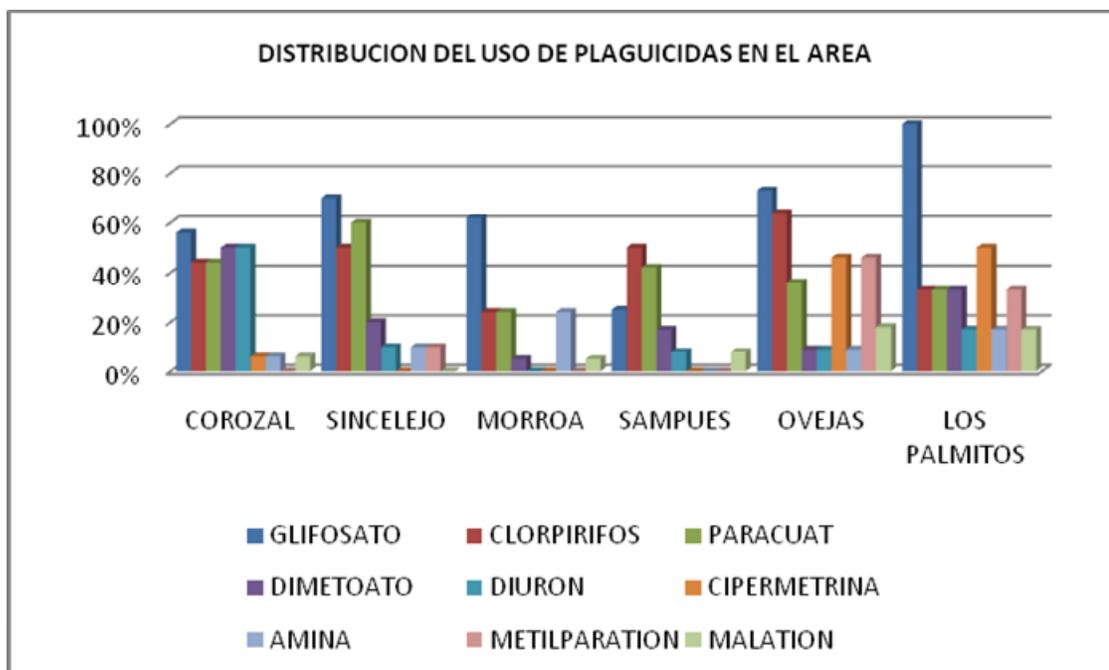
- En la figura 10, se muestra la distribuci6n del uso de plaguicidas de acuerdo a cada municipio, en 6sta puede evidenciarse la alta frecuencia de uso del Glifosato, en relaci6n a los dem1s ingredientes activos, solo en el municipio de

- Sampsues no es el más usado por los productores, aunque si lo aplican, pero en Los Palmitos es utilizado por el total de los agricultores encuestados.

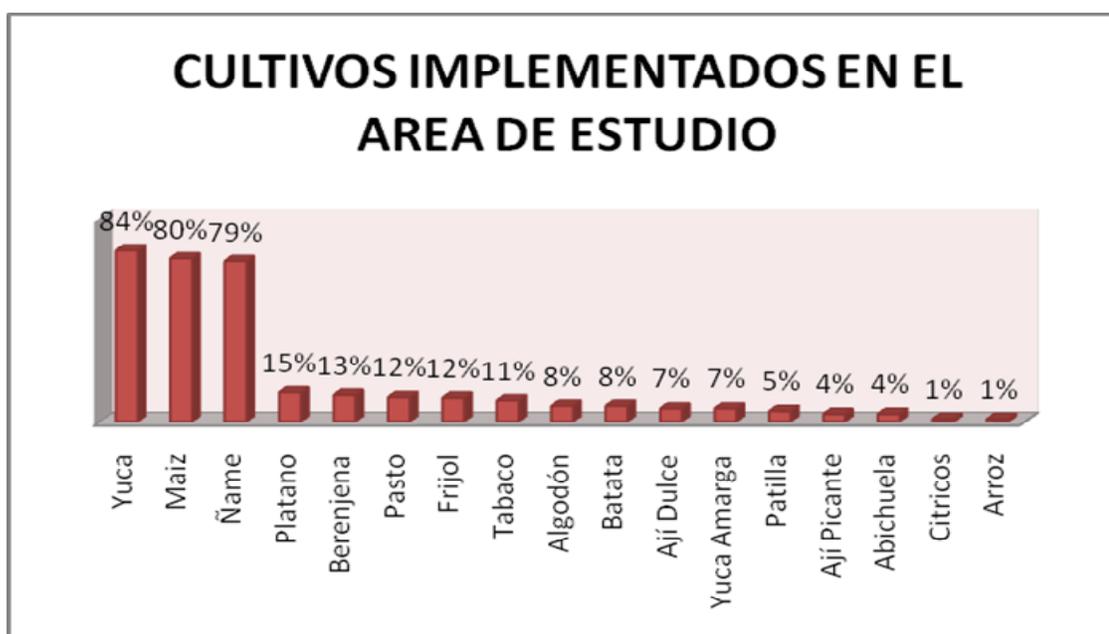


**Figura 9.** Plaguicidas utilizados en el área de estudio, expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de uso.

La figura 11 refleja la marcada implementación de yuca, ñame y maíz en la zona, pues un 84%, 80% y un 79%, respectivamente, de los productores de la zona tienen estos cultivos en sus predios. Aunque la grafica no lo refleje los otros cultivos solo existen en algunos municipios.

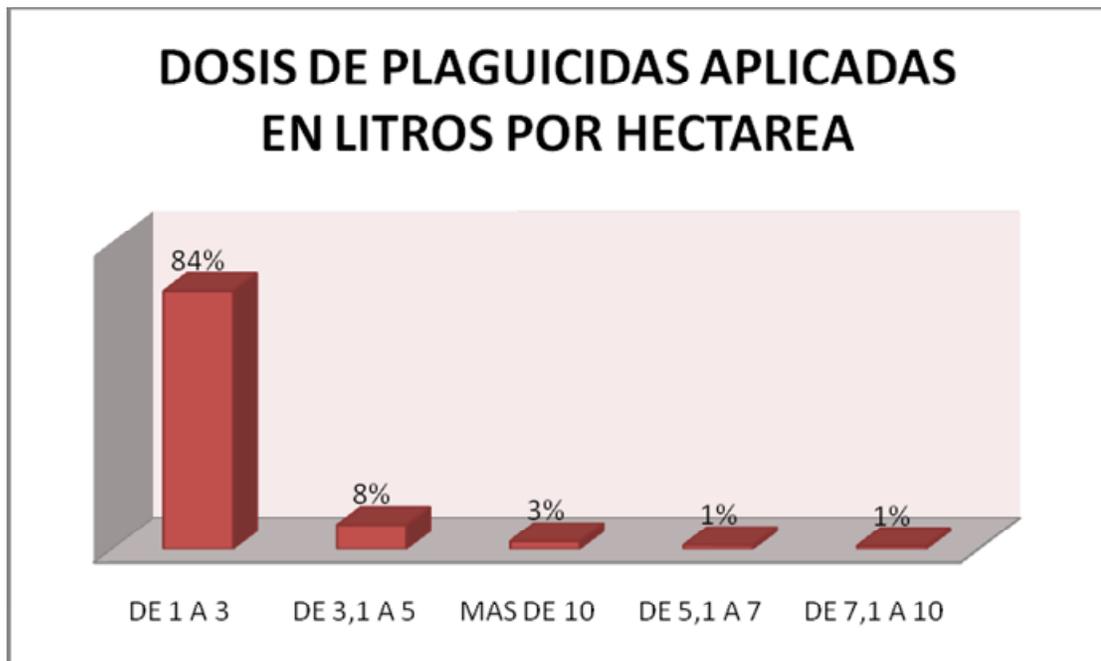


**Figura 10.** Distribución del uso de plaguicidas según cada municipio, expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de uso en el área de estudio.

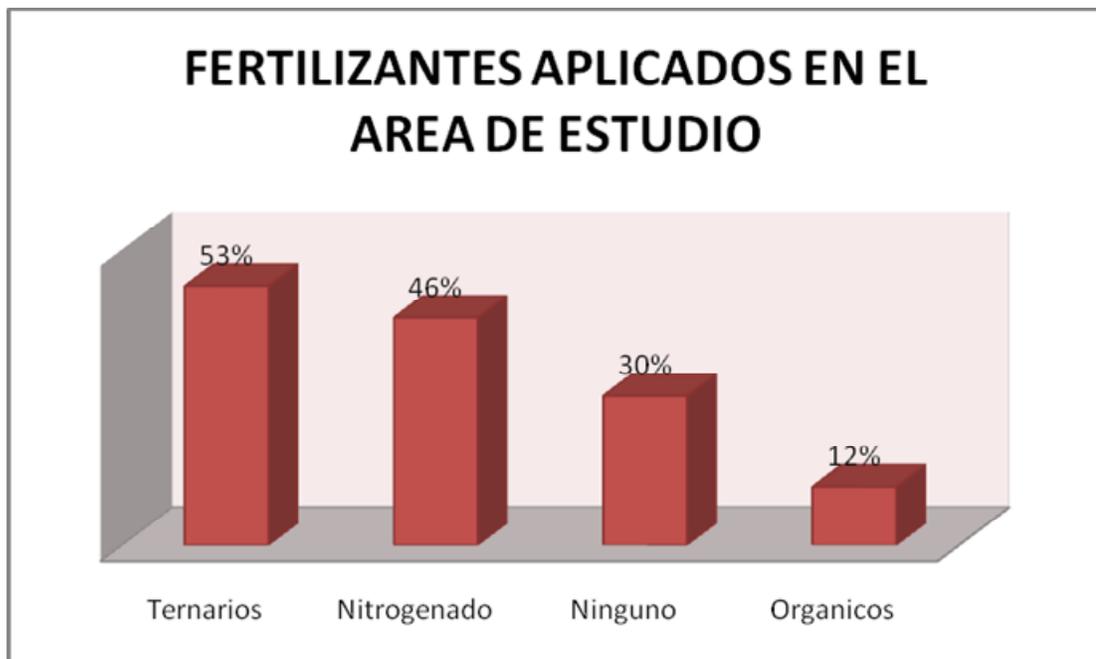


**Figura 11.** Cultivos implementados en el área de estudio expresados en porcentajes (%) de acuerdo a su frecuencia de implantación.

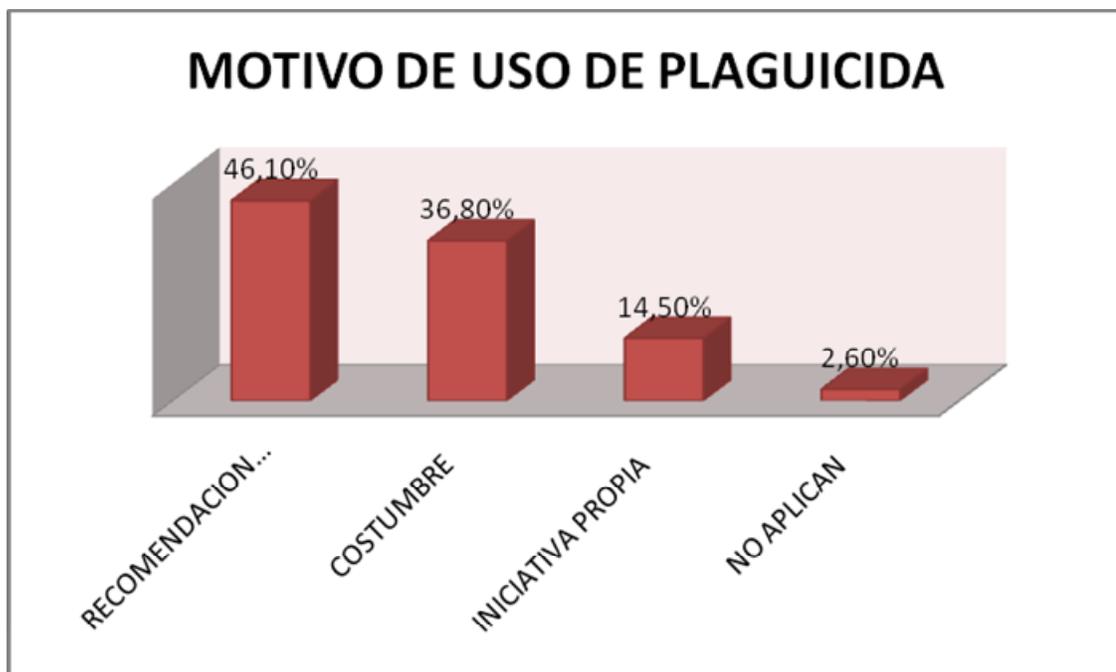
Las figuras 12, 13, 14, 15 y 16, muestran: las dosis de aplicación frecuentes en L/ha de plaguicidas, los fertilizantes empleados con mayor frecuencia, las razones por los cuales son utilizados los agroquímicos, notándose que la mayoría de los agricultores lo hace por recomendación técnica (46,1%). Asimismo se evidencia, que el 59% de los productores combina la actividad agrícola con la ganadería y un 36% solo hace agricultura; y como dato relevante, estas encuestas revelaron que el 93% de los agricultores del área de recarga del Acuífero no utiliza elementos de protección al momento de aplicar los agroquímicos, hecho que coloca en riesgo su salud.



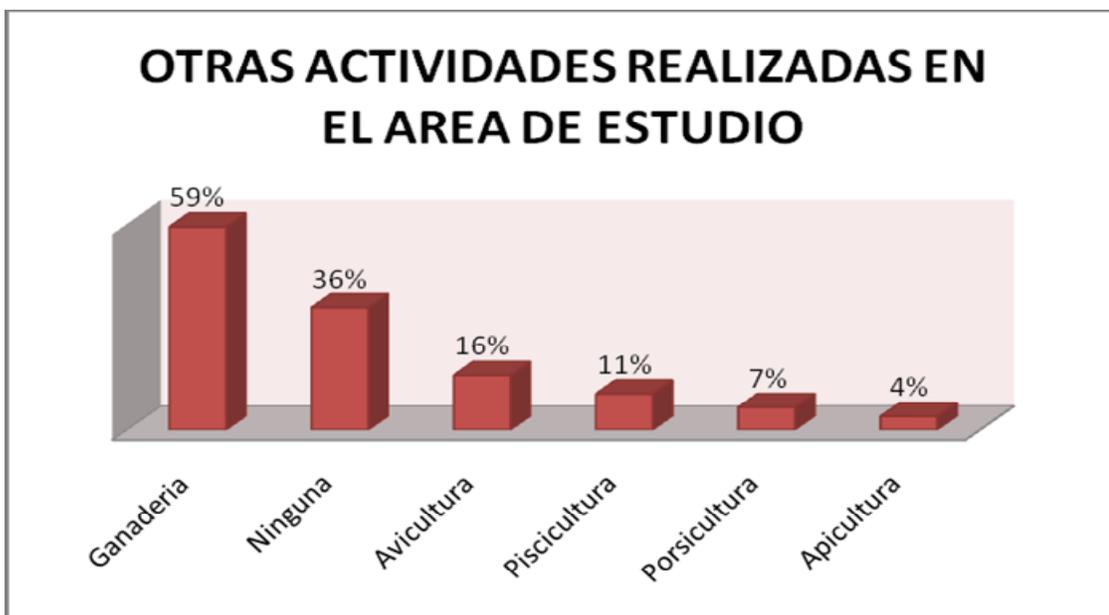
**Figura 12.** Dosis aplicadas de plaguicidas en Lt/ha en área de estudio.



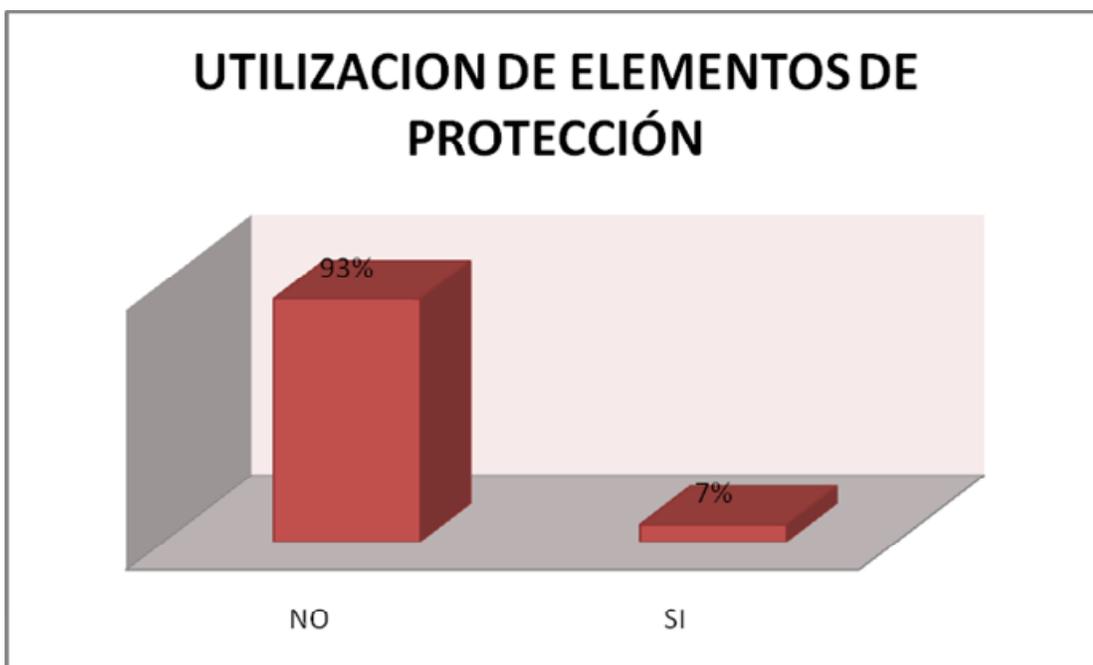
**Figura 13.** Fertilizantes aplicados en el área de estudio.



**Figura 14.** Motivo por el que usan los agroquímicos los agricultores en área de estudio.



**Figura 15.** Otras actividades realizadas en el área de estudio por los agricultores.

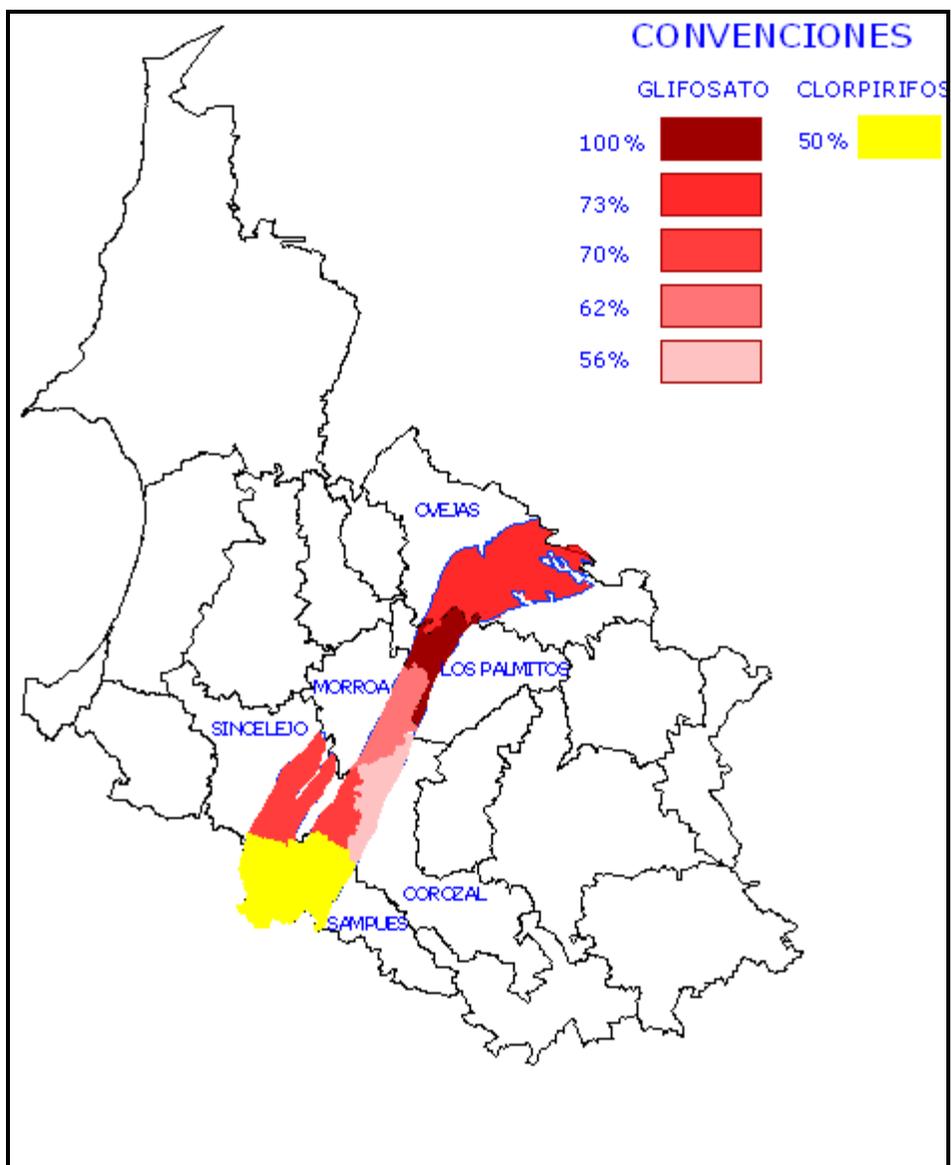


**Figura 16.** Utilización de elementos de protección, por parte de los agricultores al momento de aplicar los agroquímicos en área de estudio.

Con toda esta información, proveniente de las mencionadas encuestas, se elaboró el mapa de los plaguicidas más aplicados en (%) por cada municipio del área de estudio, (figura 17); el cual muestra el plaguicida más utilizado por municipio con su porcentaje, notándose otra vez que el Glifosato es el usado excepto en Sampues, donde es más frecuente en su uso el Clorpirifos.

## **6.2. Áreas vulnerables a contaminación del Acuífero Morroa**

La población de puntos de agua correspondientes al inventario de CARSUCRE es de 165 y en una muestra de 96 se determinaron profundidades entre 0.42 m y 188 m donde derivan factores de clasificación (R) comprendidos entre 10 y 1 respectivamente; las recargas reportaron un valor mínimo de 46 y un máximo de 199 mm/año para factores (R) de 1 a 8; referente a la zona vadosa y al tipo de Acuífero se reportan areniscas masivas, areniscas calcáreas y areniscas calcáreas poco consolidadas, lo que arroja un (R) de 6; los tipos de suelo generaron valores de (R) comprendidos entre 2.5 y 9; las pendientes oscilan entre 0 y 79.6% lo que concibe factores (R) de 10 a 1 y en cuanto conductividad hidráulica los valores estuvieron comprendidos entre 0.027 y 14.4 m/d que determinan factores (R) de 1 a 6.



**Figura 17.** Mapa de los plaguicidas más aplicados en (%) por cada municipio del área de estudio.

El área total de estudio calculada fue de 52,694 ha y sobre esta extensión la distribución espacial de los Índices de Vulnerabilidad Intrínseca proyectaron un entorno numérico de 80 a 147, entre 23 a 226 de valores extremos posibles, dividido en 4 intervalos (vulnerabilidad insignificante, muy baja, baja y moderada, según la tabla 2) como puede observarse en la tabla 11, que muestra el porcentaje

de área que corresponde a cada índice de vulnerabilidad y refleja que el mayor porcentaje de extensión geográfica presenta una vulnerabilidad intrínseca muy baja, en contraposición a un porcentaje de área mínima con vulnerabilidad moderada.

**Tabla 11.** Resultados de Vulnerabilidad Intrínseca por área en el Acuífero Morroa.

<b>Grado de Vulnerabilidad</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>(%) del Área Total</b>
Vulnerabilidad insignificante	13315,6	25,3
Vulnerabilidad muy baja	27321,3	51,8
Vulnerabilidad baja	7321,6	13,9
Vulnerabilidad moderada	77,0	0,1
Discontinuidad del Acuífero	4658,6	8,8
Total Área Continua	48035,4	91,2

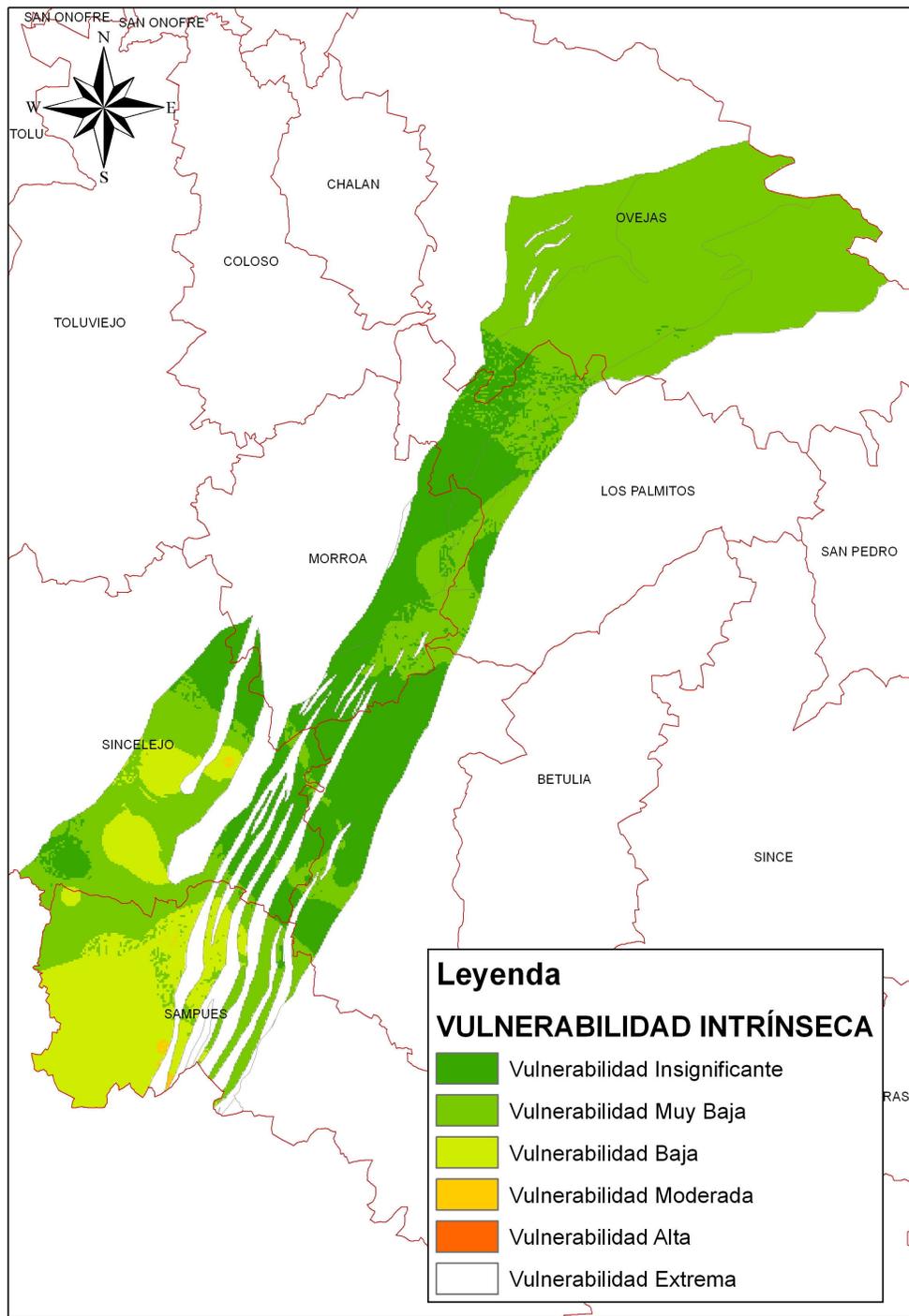
Por otra parte, la distribución espacial de los índices de vulnerabilidad específica a plaguicidas generó un entorno numérico de 89 a 179, entre 26 a 256 de valores extremos posibles, y los intervalos fueron 5 (vulnerabilidad insignificante, muy baja, baja, moderada y alta) distribuidos como puede verse en la tabla 12, en la que aparece un mayor porcentaje de área con una vulnerabilidad específica baja y un porcentaje de 7.4% de la extensión geográfica total presenta vulnerabilidad alta.

Geográficamente estos resultados se pueden ver simultáneamente en las figuras 18 y 19, donde puede evidenciarse que el Acuífero Morroa presenta vulnerabilidad alta a plaguicidas, en un área de 3,917.2 ha que corresponde al 7,4% de la extensión total y ésta se halla distribuida en zonas rurales pertenecientes a los municipios de Sampues y Sincelejo.

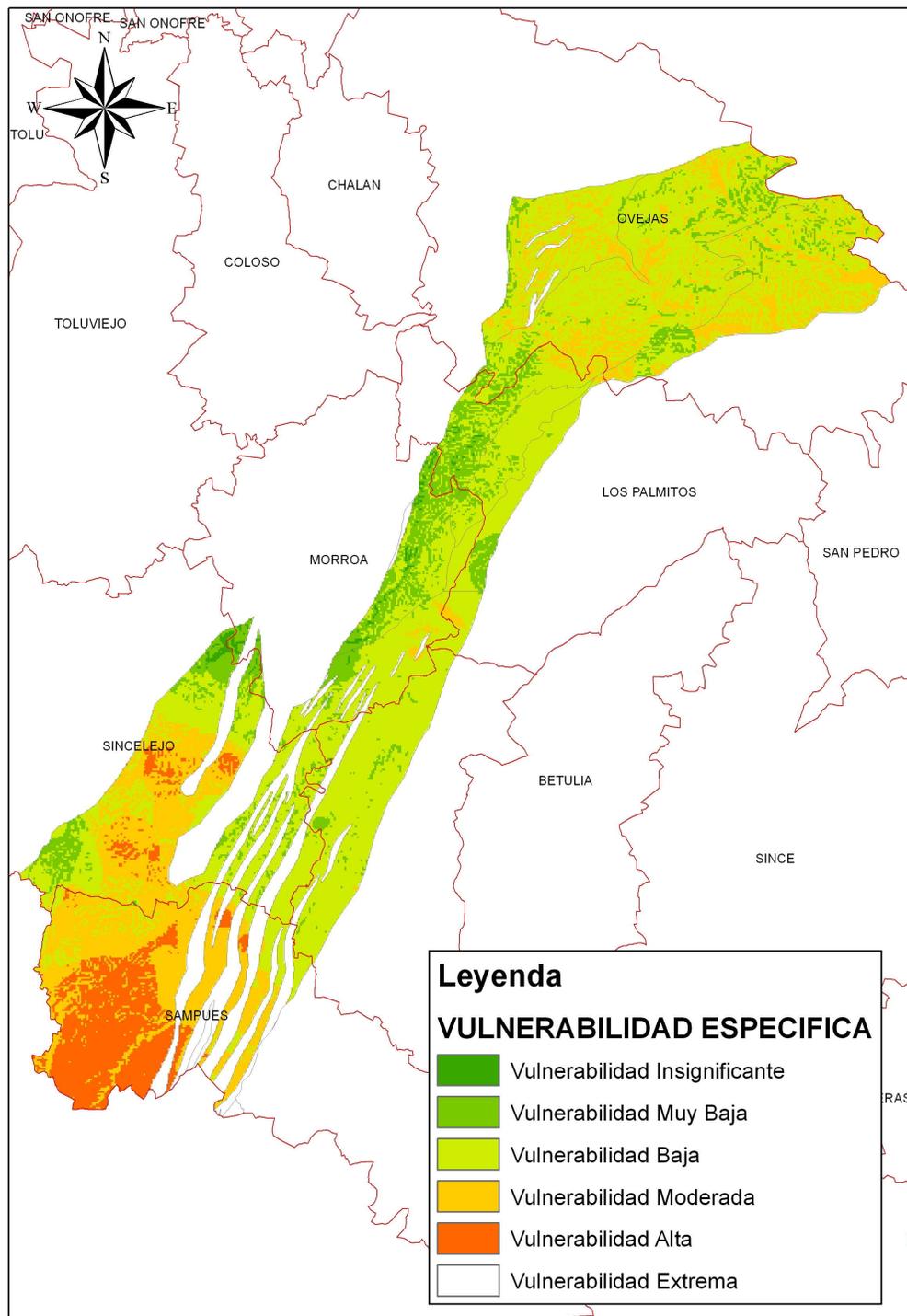
**Tabla 12.** Resultados de Vulnerabilidad Específica por área en el Acuífero Morroa.

<b>Grado de Vulnerabilidad</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>(%) del Área Total</b>
Vulnerabilidad insignificante	290,0	0,6
Vulnerabilidad muy baja	5614,1	10,7
Vulnerabilidad baja	26662,0	50,6
Vulnerabilidad moderada	11552,2	21,9
Vulnerabilidad alta	3917,2	7,4
Discontinuidad del Acuífero	4658,6	8,8
<b>Total Área Continua</b>	<b>48035,4</b>	<b>91,2</b>

Es meritorio mencionar que estos resultados no son absolutos, sobretodo considerando la intensificación de los cambios climáticos en los últimos años, que modifican el régimen pluviométrico generando lluvias de mayor intensidad (Gitay, 2002; Fuentes, 2000), que cambiarían a su vez los resultados de la variable Recarga Neta de gran ponderación en el método DRASTIC (Xavier *et al.*, 2004; Nicoletti y Spandre, 1996); así las cosas, estas precipitaciones dan origen a grandes escorrentías y menores infiltraciones lo que disminuiría los valores para esta variable (Cerdá y Laveé, 1999; Aparicio, 2004).



**Figura 18.** Mapa de vulnerabilidad intrínseca (*Iv*) del Acuífero Morroa.



**Figura 19.** Mapa de vulnerabilidad específica a plaguicidas (IV) del Acuífero Morroa.

### 6.3. Características Físico-químicas de los suelos y detección de plaguicidas en los mismos.

De los análisis fisicoquímicos realizados, se identificaron que los suelos pertenecientes a las zonas más bajas del área de recarga del Acuífero Morroa, presentan cantidades relativamente altas de arcillas y de la misma forma son las capacidades de intercambio catiónico; referente a los contenidos de materia orgánica son de medios a bajos y en cuanto a los pH estos suelos son de neutros a ácidos, (Tabla 13).

**Tabla 13.** Características Físico-químicas de los suelos.

MUESTRA	A (%)	Ar (%)	L (%)	TEXTURA	C.I.C. (me/100 gr. de suelo)	M.O. (%)	pH
1	25,8	42,8	31,4	Arcilloso	20,5 (ALTO)	1,1 (Bajo)	5,8 (Mod. Ácido)
2	29,2	32,8	38,1	Franco-arcilloso	21,5 (ALTO)	1,7 (Bajo)	6,0 (Mod. Ácido)
3	47,5	21,1	31,4	Franco	20,5 (ALTO)	1,1 (Bajo)	7,1 (Neutro)
4	24,2	39,4	36,4	Franco-arcilloso	22,0 (ALTO)	1,7 (Bajo)	6,5 (Lig. Ácido)
5	25,0	36,1	38,9	Franco-arcilloso	22,5 (ALTO)	1,7 (Bajo)	6,4 (Lig. Ácido)
6	25,0	39,4	35,6	Franco-arcilloso	23,0 (ALTO)	1,5 (Bajo)	6,7 (Neutro)
7	46,7	29,4	23,9	Franco-arcillo-arenoso	20 (MEDIO)	1,5 (Bajo)	6,8 (Neutro)
8	15,6	40,8	43,6	Arcillo-limoso	22,5 (ALTO)	2,0 (Bajo)	6,5 (Lig. Ácido)
9	48,9	22,5	28,6	Franco	21,0 (ALTO)	1,1 (Bajo)	5,1 (Fuer. Ácido)
10	32,3	40,8	26,9	Arcilloso	22,5 (ALTO)	1,1 (Bajo)	5,5 (Fuer. Ácido)
11	22,3	40,8	36,9	Arcilloso	19,5 (MEDIO)	2,2 (Medio)	6,2 (Fuer. Ácido)
12	35,6	4,2	60,3	Franco-limoso	20,0 (MEDIO)	3,3 (Medio)	7,2 (Neutro)
13	20,6	35,8	43,6	Franco-arcilloso	20,0 (MEDIO)	2,3 (Medio)	6,1 (Lig. Ácido)
14	23,9	37,5	38,6	Franco-arcilloso	21,5 (ALTO)	2,5 (Medio)	6,1 (Lig. Ácido)

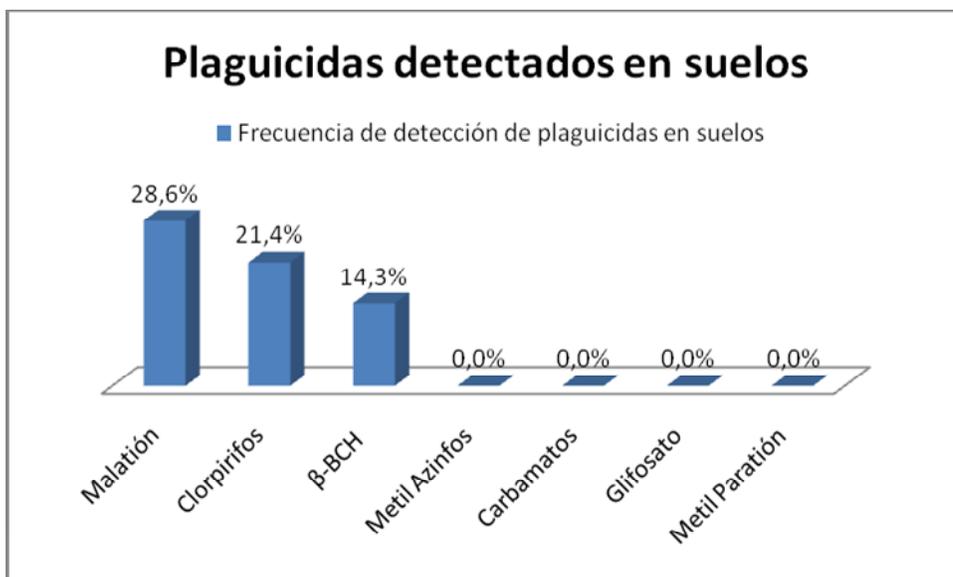
Los análisis para detección de plaguicidas en suelos arrojaron presencia de 3 de ellos (Tabla 14), de donde se desprende la figura 20; los más frecuentes fueron los organofosforados Malatión (en el 26,8% de las muestras) y Clorpirifos (en el 21,4% de las muestras), los cuales por pertenecer a este tipo de clasificación química son de vida corta en el suelo debido a su biodregrabilidad comprobada

(Lopera et al., 2005; Mosquera y Peñuela, 2009; ATSDR, 2001; Tsezos y Bell, 1991) que sugiere un bajo riesgo de alcanzar Acuíferos; sin embargo, se ha reportado su presencia en estas fuentes de agua (Garrido et al., 1998; Martínez et al., 2004). Por otro lado el insecticida organoclorado  $\beta$ -BCH (en el 14,3% de las muestras), el cual no utilizan los agricultores en la actualidad y fue analizado como control, se detectó en el 14.3% de las muestras; esto obedece a sus características de persistencia en suelos (ATSDR, 2005; Calvelo et al, 2006; Kumar, 2006; Abhilash y Singh, 2008), pensándose que fue aplicado años atrás e indicando esta circunstancia riesgo para los mantos freáticos.

Los otros controles Metil Azinfos y Carbamatos como era lo esperado, no se detectaron, pues no son aplicados en la actualidad por los agricultores. Por otra parte, el Metilparatión tampoco se halló, pero como muestra la figura 8 su frecuencia de uso, por parte de los agricultores del área de estudio, es relativamente baja (11%), lo que explica estos resultados.

**Tabla 14.** Resultados de plaguicidas en suelos.

MUESTRA	MALATIÓN	CLORPIRIFO	$\beta$ -BCH	METIL AZINFOS	CARBAMATO	GLIFOSATO	METIL PARATION
1	1 ppb	ND	0,03 ppb	ND	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	0,9 ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	1 ppb	2 ppb	ND	ND	ND	ND	ND
9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	ND	2 ppb	0,035 ppb	ND	ND	ND	ND
12	1.1 ppb	1.7 ppb	ND	ND	ND	ND	ND
13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND



**Figura 20.** Frecuencia de detección de plaguicidas en suelos.

El resultado aparentemente paradójico de no detección del Glifosato, siendo el más aplicado en el área de estudio, obedece a que las muestras fueron tomadas a profundidades de 30 a 40 cm y éste permanece fuertemente adherido entre los 12-14 cm del perfil de suelo; luego entonces, más allá de estas profundidades las concentraciones son prácticamente nulas (Guarracino, 1999). Por otra parte, Calderon *et al.*, (2005) corroboraron su rápida desaparición del suelo y el bajo potencial contaminante de aguas superficiales y subterráneas. Asimismo, Giesy *et al.*, (2000) concluyeron que el Glifosato normalmente se disipa rápidamente de los ecosistemas simples, tales como los agrícolas, y de los ecosistemas más complejos, como la silvicultura, independientemente de la diversidad edáfica del suelo y las condiciones climáticas, indicando una vida media de 32 días. Asimismo, Weaver *et al.*, (2007), determinaron que el glifosato tiene efectos limitados y transitorios en la comunidad microbiana del suelo, incluso cuando se aplica en dosis altas. Pero con todos esos argumentos no se puede descartar que este ingrediente activo alcance los mantos freáticos, pues Van *et al.*, (2008) lo halló, aunque en bajas concentraciones (por debajo de las concentraciones

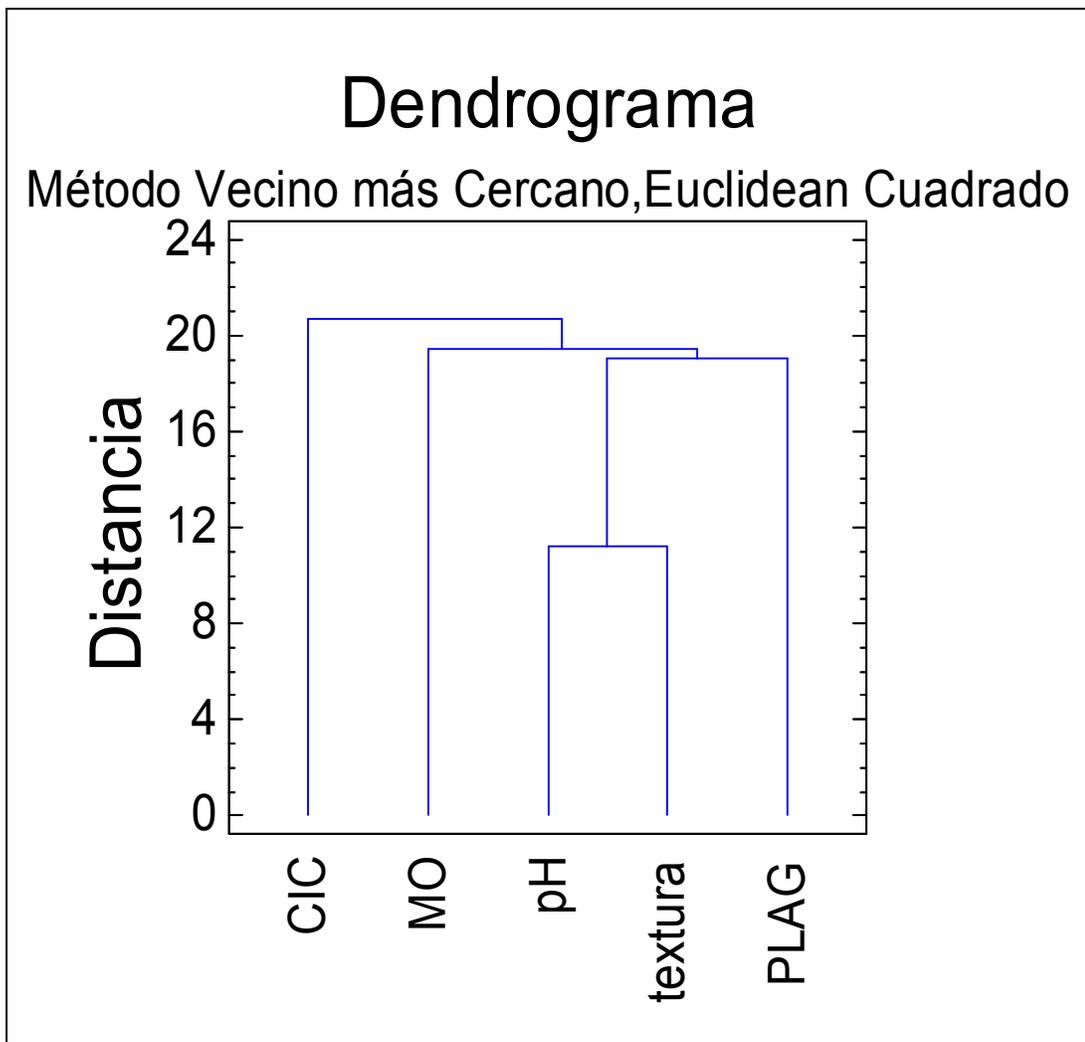
permitidas por la normas de Canadá para agua potable en inferiores a las que pueden generar impactos a los ecosistemas acuáticos), en aguas subterráneas de algunas regiones de

Canadá; es importante mencionar que son Acuíferos pocos profundos (de 10 a 30 m.), compuestos por rocas fracturadas o arenas diferentes al Acuífero Morroa y los factores climáticos, como las temperaturas por ejemplo, son menos agresivos por allá lo que degrada lentamente los plaguicidas, siendo más persistentes en las matrices ambientales (Alloway y Ayres, 1997).

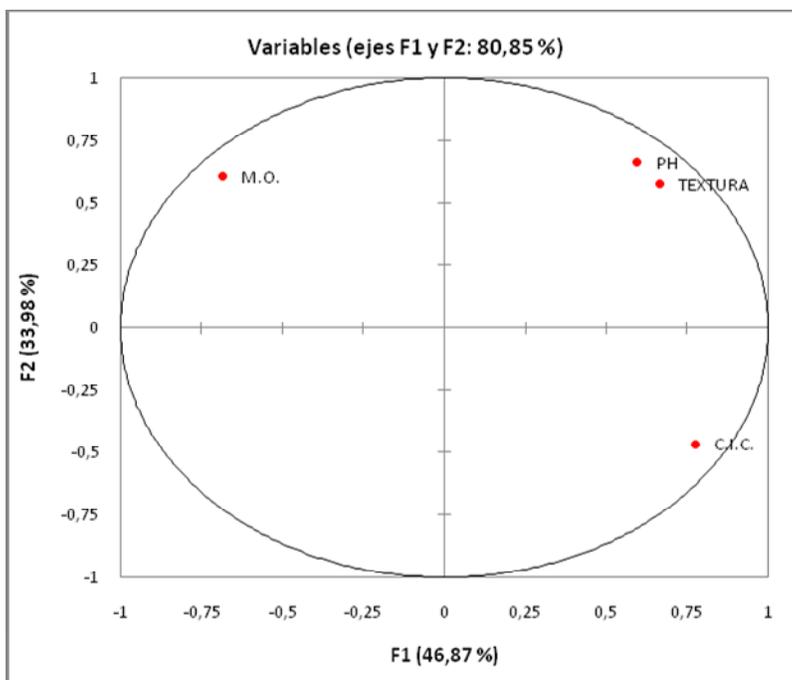
La figura 21 muestra la similitud entre el comportamiento de las variables a partir de los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos de suelos y de detección de plaguicidas en los mismos, en ésta puede observarse que el comportamiento de las factores analizados no presentan semejanza; pues solo se relaciona pH con textura y es mediante un clúster de gran distancia vertical, lo cual indica poca relación en sus comportamientos, y éstas dos a su vez forman un clúster, también de gran tamaño vertical, con la presencia de plaguicidas en el suelo lo que significa que estas dos variables en conjunto tienen un comportamiento similar a la detección de los plaguicidas en el mismo.

Por otra parte la figura 22 muestra, que ninguna de variables evaluadas en el suelo, por si misma, condiciona la presencia de plaguicidas en el mismo, pues en este análisis de componentes principales se observa que los factores M.O., pH, Textura y C.I.C., están alejados de los ejes principales. Sin embargo, la textura y el pH, en conjunto si están condicionan la presencia o ausencia de plaguicidas en esta matriz ambiental de las áreas más vulnerables del Acuífero Morroa.

Estos resultados divergen con Murray *et al.* (2001), que determinaron que la variable pH del suelo, no tiene ningún efecto sobre la tasa de la degradación del Clorpirifos y es éste el segundo ingrediente activo más frecuente en las muestras de suelo evaluadas.



**Figura 21.** Análisis Clúster de características del suelo y detección de plaguicidas.



**Figura 22.** Análisis de Componentes Principales

#### **6.4. Alternativas de manejo ambiental del Acuífero.**

Los resultados obtenidos se convierten en una importante herramienta para la gestión ambiental del Acuífero Morroa, en este sentido permiten generar un conjunto de alternativas de manejo para su conservación; y es así como se propone en primera medida remplazar el uso de agroquímicos en las áreas de recarga por prácticas agroecológicas integrales, principalmente en las extensiones geográficas de mayor vulnerabilidad específicamente a plaguicidas, las cuales corresponden a los municipios de Sampues y Sincelejo.

Entre estas estrategias agrícolas ecológicas se pueden enumerar:

- Cultivos en asocio y rotación de los mismos con la implementación de abonos verdes, como las leguminosas crotalaria y vitabosa, entre ellos, con el fin de

aprovechar la materia orgánica que estas plantas aportan y el nitrógeno que fijan al suelo y de esta forma evitar usar fertilizantes químicos.

- Implementación de cultivos trampa y de plantas alelopáticas como el orégano entre hileras y alrededor de los cultivos para combatir las plagas y evitar usar plaguicidas.
- Utilizar trampas con feromonas para atrapar insectos que afecten los cultivos, así mismo biopreparados con ajo, nim, ají picante y otras sustancias vegetales que funcionen como repelente, todo esto permite también no usar plaguicidas.
- Para el control de las hierbas es necesario volver al tradicional corte con machete o a la guadañadora, sin olvidar que la cobertura vegetal no debe faltar en el suelo, por ello solo se deben cortar las plantas que compitan con el cultivo hasta una determinada altura respecto al terreno.

Por otra parte, se debe pensar en implantar otros cultivos diferentes a los tradicionales (yuca, maíz y ñame), como por ejemplo frutales y demás cultivos perenes menos vulnerable a las plagas, pero como fertilización totalmente biológica a través de compost y otros.

No apartándose de que todo esto se plantea para que los agricultores no utilicen agroquímicos en esta área de especial cuidado ambiental, también se debe implementar la silvicultura por lo menos en las zonas más bajas, de tal forma que la biodiversidad vegetal que caracteriza esta práctica, coadyuve a la remediación los suelos contaminados y de paso funcione como sumidero de plaguicidas.

## 7. CONCLUSIONES

El presente estudio permite concluir fundamentalmente tres factores respecto al área de recarga del Acuífero Morroa:

- En primera medida, a partir del reconocimiento social pudo evidenciarse que sobre este importante arreglo geológico se están realizando actividades no apropiadas, como lo son el uso de plaguicidas como el Glifosato, Clorpirifos, Paracuat, Dimetoato, Diuron, Cipermetrina, Amina, Metil Paratión y Malatión, los cuales son aplicados por el 61%, 42%, 38%, 21%, 16%, 12%, 12%, 11% y 8% de los agricultores respectivamente, que lo colocan en riesgo; más aun si se tiene en cuenta que éstos al momento de realizar estas actividades agrícolas no toman las precauciones necesarias para proteger su salud. En relación a esta problemática es importante mencionar también, que estos plaguicidas presentan antecedentes de contaminación de aguas subterráneas y aunque se refieren a condiciones hidrogeológicas diferentes, es bueno tener en cuenta esto para una correcta gestión ambiental sobre tan importante fuente hídrica.

- Por el lado de la determinación de las zonas más vulnerables, puede concluirse que el Acuífero Morroa es poco vulnerable a los contaminantes en general. Pero en relación a plaguicidas su vulnerabilidad es alta (entre 160 y 179). Esto sumado a la aplicación intensiva de estas sustancias tóxicas, sobre todo en las zonas de mayor vulnerabilidad, lo cual incrementan el riesgo de contaminación.

- En cuanto a la evaluación de el estado actual de este accidente geográfico, puede concluirse que las concentraciones de los plaguicidas en el suelo son bajas (entre 0,03 y 2 ppb), pero se encuentran, y es necesario resaltar la detección de  $\beta$ -BCH que fue analizado como control, por lo que no se esperaba su presencia, la cual obedece a sus reportadas características de persistencia

en el ambiente. Dato entre otros, que sirve además para establecer que la presencia de plaguicidas en los suelos correspondientes a las zonas más vulnerables del Acuífero Morroa se debe a las condiciones intrínsecas de estas sustancias y a los parámetros pH y textura, en estas zonas específicas.

## 8. RECOMENDACIONES:

Las conclusiones obtenidas en este trabajo permiten recomendar a los entes gubernamentales, comunidad en general y principalmente a las autoridades ambientales con jurisdicción en la zona:

- Generar proyectos tendientes a reemplazar el uso de plaguicidas, en este sentido, se sugiere implementar prácticas agrícolas de producción más limpia fundamentadas en la agroecología; que garanticen la seguridad alimentaria de los agricultores, la protección del Acuífero y de la propia salud humana.
- Suspender de manera inmediata el uso de plaguicidas en las zonas más vulnerables, correspondientes a los municipios de Sincelejo y Sampues.
- Realizar investigaciones en agroecología que conlleven a reemplazar los plaguicidas, como por ejemplo evaluar el uso de plantas y demás sustancias naturales autóctonas en el control de las plagas.
- Tener en cuenta el mapa de vulnerabilidad específica a plaguicidas para realizar un nuevo ordenamiento del territorio.
- Tomar muestras a mayores profundidades del suelo y de aguas subterráneas en las zonas donde fue positiva la presencia de  $\beta$ -BCH para su determinación, considerando las características de persistencia de este plaguicida.
- Ejecutar investigaciones en niveles más avanzados del conocimiento, como por ejemplo establecer modelos matemáticos del comportamiento de los plaguicidas más aplicados en zonas más vulnerables a estas sustancias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhilash P, Singh N. Distribution of hexachlorocyclohexane isomers in soil samples from a small scale industrial area of Lucknow, North India, associated with lindane production. *Chemosphere* 2008; 73 (6) 1011-1015.

Abreu Y, Díaz M. Determinación de la geometría del Acuífero Morroa y localización de futuras zonas de posible exploración y explotación del Acuífero, mediante el uso de líneas sísmicas y pozos de petróleo. CARSUCRE-Aguas de la Sabana; Sincelejo: Colombia, 2004.

Agrela, F. Evaluación manual y automatizada de la cubierta de restos de cosecha en sistemas de Agricultura de Conservación. [Tesis Doctoral]. Universidad de Córdoba. Departamento de ingeniería Rural; Córdoba: España, 2003.

Alloway B, Ayres D. Chemical principles of environmental pollution. Black Academic & Professional, London, 1997.

Antle J, Cole D, Crissman Ch. Plaguicidas, salud y productividad de los agricultores. En: Yanggen D, Crissman Ch, Espinosa P. Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador. 1 ed. Quito-Ecuador: CIP e INIAP, 2003. p.135-146.

Aparicio F. Capítulo 7: Infiltración. Aparicio F. Fundamentos de Hidrología de Superficie. México D.F.: Limusa; 2004. p. 177-200.

Aranza I, Pérez J. Efecto de los plaguicidas en la calidad del agua en la cuenca media del Río Ranchería, La Guajira, Colombia, *Revista Científica Ciencia e Ingeniería Aplicada* 2006; 1 (1): 23-38.

Arias M, López E, Martínez E, Simal J, Mejuto J, Garcia L. The mobility and degradation of pesticides, in soils and the pollution of groundwater, resources. *Agriculture Ecosystem and Environmental* 2007; 123 (4): 247-260.

ATSDR, Agency For Toxic Substances And Disease Registry. *Reseña Toxicológica del Alfa-, Beta-, Gama-y Delta-Hexaclorociclohexano*, Atlanta, 2005. p.7.

ATSDR, Agency For Toxic Substances and disease registry. *Toxicológica del Malatión*, Atlanta, 2001. p. 1-2.

Badii M, Garza R, Garza V, Landeros J. Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en ecosistemas acuáticos y asociados. *CULC y T* 2005; 2 (6): 4-20.

Baez M, Rodriguez M, Lastra O, Peña A, De La Colina C. y Sanchez F. Residuos de plaguicidas en aguas superficiales de la V Región de Chile. Estudio Prospectivo. *Boletín Sociedad Chilena de Química* 1996; 1 (41) pp. 271-276.

Barcelo D. Persistence of Temephos and Fenitrothion and their transformation products in rice crop field waters. En: *International Symposium on the use of nuclear and related techniques for studying environmental behaviour of crop protection chemicals*; 1996 jul. 1-5; Vienna-Austria.

Barceló D. Environmental Protection Agency and other Methods for the Determination of Priority Pesticides and their Transformation Products in Water. *Journal Chromatography* 1993; (643):117-143.

Bielza P. Compatibilidad activa de plaguicidas y fauna auxiliar. *Revista Española* 2007; 1 (200): 28-35.

Bloomfield J, Williams R, Goody D, Cape J, Guha P. Impacts of climate change on the fate and behaviour of pesticides, in surface and, groundwater,—a UK perspective. *Science of the Total Environment* 2006; 369 (3): 163–177.

Bohn H., Mc Neal B. y O'Connor G. *Química del Suelo*. Ediciones Limusa. México, 1993.

Buitrago J, Donado L. Evaluación de las condiciones de explotación del agua subterránea en la zona de recarga del Acuífero Morroa, Departamento de Sucre y Córdoba, Colombia. [Trabajo de Grado]. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Civil; Bogotá D.C. 2000. 100 p.

Calderón M, Quintana M, López A, Hermosín M, Cornejo J. Estudio preliminar sobre el comportamiento del herbicida Glifosato en dos suelos de Extremadura. En: Samper F, Paz A, VII Jornadas sobre investigación de la zona no saturada del suelo, vol. VII. Coruña-España, 2005. p. 23-28.

Calvelo R, Camps M, Rodríguez B, Macías F, Monterroso C. Behaviour of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -hexachlorocyclohexane in the soil-plant system of a contaminated site. *Environmental Pollution* 2006; 144 (1): 210-217.

Candela L. Conferencia N.1.2.: La Contaminación de las Aguas Subterráneas por las Actividades Agrarias en España: Visión Desde la Investigación. En: *Memorias de las Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente*; 1998 jun. 8-11; Valencia-España; *AIH-GE*; 1998. pp. 1-11.

Cárdenas L, Medrano W. Variabilidad espacial aproximada de algunas propiedades químicas y texturales de suelos del departamento de Sucre [Trabajo de Grado]. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería; Sincelejo, 2007. 100 p.

CARSUCRE, Corporación Autónoma Regional de Sucre y FINAGUAS. Sistema de información para la gestión del recurso hídrico en el Acuífero de Morroa (SIGAS). Sincelejo, 2001, 100 p.

CARSUCRE, Corporación Autónoma Regional de Sucre. Proyecto de protección integral de aguas subterráneas (PPIAS): Acuífero Morroa sector Sincelejo-Corozal-Morroa. Sincelejo, 2005. p. 8-16.

CARSUCRE, Corporación Autónoma Regional de Sucre. Zonificación ambiental. Sincelejo, 2005. p. 5-31.

Cerdá A, Laveé H. Escorrentía y erosión a lo largo de un gradiente climático – altitudinal efecto por el pastoreo en el desierto de Judea, Cuadernos Geográficos 1999; 1 (29) 27-50.

Contraloría General del Departamento de Sucre. El estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Sincelejo: 1997. p. 95-96.

Corrales J. Contaminación de Acuíferos. En: Control de contaminantes en aguas subterráneas; 2007 Oct. 10-12; Santa Marta: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, ACODAL; 2007. p. 15-19.

Custodio, G. Recarga a los Acuíferos: aspectos generales sobre el proceso, la evolución y la incertidumbre. Boletín Geológico y Minero 1998; 109 (4): 13-29.

Daly D, Dassargues A, Drew D, Dunne S, Goldscheider N, et al. Main concepts of the “European Approach” for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. Hydrogeology Journal 2002; 10 (2): 340-345.

Delgado L, Sánchez L, Peña A. Assessment of olive cake as soil amendment for the controlled release of triazine herbicides. Science of the Total Environment 2007; 378 (2): 119–123.

Delphin J. y Chapot J. Leaching of atrazine, metolachlor and diuron in the field in relation to their injection depth into a silt loam soil. Chemosphere 2006; 64 (11): 1862–1869.

De vivero J, Montoya C. Elaboración de la red de flujo del Acuífero Morroa en el sector Sincelejo, Corozal y Morroa. [Trabajo de Grado]. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería; Sincelejo, 2004. 29-34 p.

Eberbach'J P, Douglas L. Method for the determination of Glyphosate and (Aminomethyl) phosphonic acid in soil using electron capture gas chromatography. *Journal Agriculture Food Chemical*, 1991; 39 (10) 1776-1780.

Ferrer A. Intoxicación por plaguicidas. *ANALES Sis San Navarra*, 2003; 1 (26): 155-171.

EPA, United States Environmental Protection Agency. A review of methods for assessing the sensitivity of aquifers to pesticide contamination: Preliminary document, 1<sup>a</sup> ed. Washington DC: 1991. p. 1-21.

Ferrer A. Intoxicación por plaguicidas. *ANALES Sis San Navarra*, 2003; 1 (26): 155-171.

Foster S, Hirata R, Gomes D, D'Elia M, Paris M. Protección de la calidad del agua subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales, 1<sup>a</sup> ed. Banco Mundial: Washington, 2003, p. 17-58.

Fournier J. Soulas G. y Parekh R. Main microbial mechanisms of pesticide degradation in soils. *Soil Ecotoxicology*. Editado por CRC Press, Inc. 1997. p. 85-116.

Fuentes J. Capitulo 11: El cambio climático. En: Fuentes J. Iniciación a la meteorología y la climatología. Madrid: Mundi-Prensa; 2000. p. 187-207.

Gallardo Y, Moreno A. Modulo III Recolección de la información. En: P. Martínez et al. Aprender a Investigar. 3 ed. Bogotá: Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior, ICFES; 1999. p. 4-145.

Garrido T, Costa C, Fraile J, Orejudo E, Niñerola J, et al. Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos Acuíferos de Cataluña. En: Memorias de las Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente; 1998 jun. 8-11; Valencia-España; *AIH-GE*; 1998. pp. 1-11.

Giesy J, Dobson S, Solomon K, Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Reviews of Contamination and Toxicology* 2000; 167: 35-120.

Gitay H, Suárez A, Watson R, Dokken D, Documento Técnico V del IPCC, Cambio climático y Biodiversidad, Washington: IPCC; 2002. p. 12.

Goody D, Mathias S, Harrison I, Lapworth D, Kim A. The significance of colloids in the transport of pesticides, through Chalk. *Science of the Total Environment* 2007; 385 (3): 262-271.

Goody DC, Bloomfield JP, Chilton PJ, Johnson AC, Williams RJ. Assessing herbicide concentrations in the saturated and unsaturated zone of a Chalk aquifer in Southern England. *Ground Water* 2001; 39 (2):262–271.

Guarracino L, Candela L, Santos J. Simulación numérica del transporte del herbicida glifosato en la zona no saturada. En: Muñoz R, Ritter A, Tascón C. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*. Eds. ICIA: Tenerife, 1999. p. 151-155.

Hiscock H. *Hydrogeology. Principles and practice*, Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, 2005, pp. 389.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Sucre características geográficas*, Bogotá D.C.; 2003. p. 59-70.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Carta de suelos del departamento de Sucre*, Bogotá D.C.; 1998.

IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*, 6ª ed. Bogotá D.C.: Imprenta nacional de Colombia, 2006. 648 p.

INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería. *Estudio hidrogeológico del Acuífero de Morroa*. Bogotá, 1993. p.12-33.

INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis. *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia*, Santa Marta: 2001.

Kladivko EJ, Brown LC, Baker JL. Pesticide transport to subsurface tile drains in humid regions of North America. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2001; 31 (1):1–62.

Kreuger J., Peterson M., Lundgren E. Agricultural inputs of pesticides residues to stream and pond sediments in a small catchment in Southern Sweden. *Bull. Environmental Contamination Toxicology* 1999; (62): 55-62.

Kumar M, Gupta S, Garg S, Kumar A. Biodegradation of hexachlorocyclohexane-isomers in contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry* 2006; 38 (8): 2318-2327.

Lans E, Marrugo J, Díaz B. Estudio de la contaminación por pesticidas organoclorados en aguas de la ciénaga grande del valle bajo del río Sinú. *Temas Agrarios* 2008; 13(1): 49 – 56.

Loewy R. Plaguicidas en aguas subterráneas del Alto Valle del Río Negro y Neuquen. [Tesis de Maestría en Ciencias Químicas]. Buenos Aires: Universidad Nacional de Camahue. Facultad de Ingeniería. 2000. 162 p.

Lopera M, Peñuela G, Domínguez M, Mejía G. Evaluación de la degradación del plaguicida Clorpirifos en muestras de suelo utilizando el hongo *Phanerochaete chrysosporium*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. 2005; 1 (33): 58-69.

MAFF, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Code of good agricultural practices for the protection of water. London, 1991. 80p. En: Candela L. Conferencia N.1.2.: La Contaminación de las Aguas Subterráneas por las Actividades Agrarias en España: Visión Desde la Investigación. En: Memorias de las Jornadas sobre la Contaminación de las Aguas Subterráneas: un Problema Pendiente; 1998 jun. 8-11; Valencia-España; *AIH-GE*; 1998. pp. 1-11.

Martínez J, González M, Belmonte A, Garrido A. Estudio de la contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la provincia de Almería. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente 2004; 13 (3): 30-38.

McKoy J, Johnston K, Kopp S, Borup B, Willison J, Payne B, ArcGis 9. Using ArcGis Spatial Analyst. 2001.

Montoya J, Costa J, Liedl R, Bedmar F, Daniel P. Effects of soil type and tillage practice on atrazine transport through intact soil cores. *Geoderma* 2006; 137 (2): 161-173.

Morell I. y Candela L. Comportamiento de plaguicidas en suelos y aguas. En: Morell I, Candela L. Plaguicidas: aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos. ed. Barcelona: Universitat Jaume-I; 1998. p. 9-23.

Morell I, Tuñón J, Vulnerabilidad de acuíferos costeros en el área Mediterránea. En: ponencias del taller: Protección de acuíferos frente a la contaminación metodología; 2001 Jun; Toluca: CYTED, Tierra e HidroRed. 2004.

Mosquera R, Peñuela G. Biodegradación del Malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2009; 22:189- 198.

Murray R, von Stein C, Kennedy I, Sanchez F. Stability of Chlorpyrifos for termiticidal control in six Australian soils. *Journal Agriculture Food Chemical*. 2001; 49 (6): 2844-2847.

Nichols P. Organic Contaminants in Soils and Groundwaters. En: Nichols P. *Organic Contaminants in the Environment*. Elsevier Applied Science; 1991, 87-132.

Nicoletti F, Spandre R. Valoración del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por nitratos mediante el uso de los modelos paramétrico DRASTIC y SINTACS. *Ingeniería del Agua* 1996; 3 (4): 7-24.

Noble A. Partition coefficients (n-octanol - water) for pesticides, *Journal Chromatograph* No. 642 pp. 3-14, 1993.

Orozco, C., A. Pérez, N. González, F. Rodríguez, y Alfayate J. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Ed. España: Thompson; Madrid, 2003.

Pacheco D, Villegas P. Caracterización hidráulica del Acuífero Morroa a través de pruebas de bombeo. [Trabajo de Grado]. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería; Sincelejo, 2003. 52 p.

Ramos A. Capítulo II Plaguicidas. En: Memorias: uso adecuado y eficaz de productos para la protección de cultivos. 4 ed. Bogotá-Colombia: ANDI y SENA; 2005. p. 36-41.

Ríos L, Vélez M, Vulnerabilidad a la contaminación, zona sur Acuífero del Valle del Cauca, Colombia, *Boletín de Ciencias de la Tierra* 2008; 23 (1): 69-84.

Rodríguez A, Ordóñez R, Espejo A, González P, Giráldez J. Estudio de la influencia de la cobertura vegetal viva en olivar en la contaminación de las aguas de escorrentía por nitratos. En: Samper F, Paz A, VII Jornadas sobre Investigación de la Zona no Saturada del Suelo, vol. VII. Coruña-España, 2005. p. 81-86.

Seoanez, M. Degradación y alteraciones del suelo por actividades agrarias. En: Seoanez, M. Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental, primera ed. Madrid-España: Ediciones Mundi-prensa, 1996. p. 564-567.

Tsezos M, Bell J. A mechanistic study on the fate of malathion following interaction with microbial biomass. *Water Research* 1991; 25 (9): 1039-1046.

Van D, Brown S, Graham G, Yefang J, Spoelstra J. Glyphosate in shallow groundwater in Canada. Edmonto: GéóEdmonton; 2008. p. 1541-1547.

Van der Werf H.M.G. Assessing the impact of pesticides on the environment. *J. Agric. Ecosyst. and Environ* 1996; (60): 81-96.

Vargas J. Evaluación de residuos de plaguicidas en agua y determinación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, en la subcuenca del río Poás. [Trabajo de Grado Magíster Scientiae]. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación - Escuela de Postgrado; Costa Rica, 2004. 15-22 p.

Vergara V, Cárdenas M, Sierra R. Evaluación de impactos ambientales por uso de agroquímicos en áreas de recarga del Acuífero Formación Morroa [Trabajo de Grado]. Universidad de Sucre. Facultad de Ingeniería. Sincelejo, 2006. p. 63-68

Villón, M. Hidrología. Costa Rica 1ª edición. Cartago, 2002. 436 p.

Weaver M, Krutz L, Zablutowicz R, Reddy K. Effects of Glyphosate on soil microbial communities and its mineralization in a Mississippi soil. *Pest Management Science* 2007; 63 (4); 388 – 393.

Xavier J, Gagliardi S, Vidal H, Montaña M, Da Lucena L. Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del Acuífero Mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú – comparación de los métodos GOD y DRASTIC. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología* 2004; 1 (4): 35-45.

Zhang Y, Wang D. Emission, distribution and leaching of methyl isothiocyanate and chloropicrin under different surface containments. *Chemosphere* 2007; 68 (3): 445–454.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### ENCUESTA A AGRICULTORES DEL AREA RECARGA ACUÍFERO MORROA

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE SUCRE (CARSUCRE)

SISTEMA UNIVERSITARIO ESTATAL CARIBE (SUE-Caribe)

Determinación de Agroquímicos más utilizados en el área de recarga del acuífero Morroa (Corozal, Morroa, Los palmitos, Ovejas, Sampues y Sincelejo).

Municipio: \_\_\_\_\_ Corregimiento: \_\_\_\_\_

Vereda: \_\_\_\_\_

Nombre de la finca o predio: \_\_\_\_\_

Numero de habitantes: \_\_\_\_\_

Coordenadas planas X: \_\_\_\_\_ Y: \_\_\_\_\_

1. Cultivos implantados en el predio:

- |                                   |                                  |                               |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <input type="radio"/> Ají Picante | <input type="radio"/> Frijol     | <input type="radio"/> Patilla |
| <input type="radio"/> Ajonjolí    | <input type="radio"/> Hortalizas | <input type="radio"/> Plátano |
| <input type="radio"/> Algodón     | <input type="radio"/> Maíz       | <input type="radio"/> Tabaco  |
| <input type="radio"/> Arroz       | <input type="radio"/> Melón      | <input type="radio"/> Yuca    |
| <input type="radio"/> Berenjena   | <input type="radio"/> Ñame       | <input type="radio"/> Otros   |

2. Area por cultivo: \_\_\_\_\_

3. Distancia del cultivo a la vivienda:

- A menos de 10 mts
- De 10 a 50 mts
- De 50 a 100 mts
- > 100 mts

4. Localización del cultivo respecto a la vivienda:

- Detrás
- A la derecha
- A la izquierda
- Al frente

4. Existen entierros, fosas ó arrumes en el predio: Si \_\_\_ No \_\_\_

5. Fertilizantes utilizados:

6. Dosis aplicadas:

- Nitrogenados
  - Ternarios
  - Fosfatados
  - Potasicos
  - Binarios
  - Otros \_\_\_\_\_
- 0 - 50 Kg/Ha
  - 51 - 100 Kg/Ha
  - 101 – 150 Kg/Ha
  - 150 – 200 Kg/Ha
  - > 200 Kg/Ha

7. Herramienta utilizada en su aplicación:

- Bomba manual
- Equipo distribuidor en hileras
- Equipo distribuidor al Voleo
- Aspersión aérea
- Manual
- Otros: \_\_\_\_\_

8. Motivo de su uso:

- Recomendación tecnica
- Costumbre
- Iniciativa propia
- Otros \_\_\_\_\_

9. Plaguicidas utilizados:

- |                                  |                                    |                                     |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="radio"/> Aldrin     | <input type="radio"/> Atrazina     | <input type="radio"/> Metilparatión |
| <input type="radio"/> Diuron     | <input type="radio"/> Cipermetrina | <input type="radio"/> Lindano       |
| <input type="radio"/> Endosulfan | <input type="radio"/> Clorpirifus  | <input type="radio"/> Paracuat      |
| <input type="radio"/> Endrin     | <input type="radio"/> Dicuat       | <input type="radio"/> Otro: _____   |
| <input type="radio"/> Glifosato  | <input type="radio"/> Malatión     |                                     |

10. Dosis aplicadas:

- 0 - 50 Kg/Ha
- 51 - 100 Kg/Ha
- 101 – 150 Kg/Ha
- 150 – 200 Kg/Ha
- > 200 Kg/Ha

11. Herramienta utilizada en su aplicación:

- Bomba manual
- Equipo distribuidor en hileras
- Equipo distribuidor al Voleo
- Aspersión aérea
- Manual
- Otros: \_\_\_\_\_

12. Motivo de su uso:

- Recomendación tecnica
- Costumbre
- Iniciativa propia
- Otros \_\_\_\_\_

13. Otras actividades realizadas en el predio:

- Ganaderia
- Apicultura
- Piscicultura
- Avicultura
- Porsicultura
- Otras \_\_\_\_\_

14. Utiliza o utilizaba lementos de protección al fumigar? SI\_\_\_ NO\_\_\_

**ANEXO 2**  
**COORDENADAS PUNTOS MUESTREADOS**

<b>PUNTO</b>	<b>COORDENADAS EN X</b>	<b>COORDENADAS EN Y</b>
<b>1</b>	<b>X=1.516.360</b>	<b>Y=851.536</b>
<b>2</b>	<b>X=1.516.082</b>	<b>Y=851.865</b>
<b>3</b>	<b>X=1.515.763</b>	<b>Y=852.236</b>
<b>4</b>	<b>X=1.515.490</b>	<b>Y=851.288</b>
<b>5</b>	<b>X=1.515.486</b>	<b>Y=851.282</b>
<b>6</b>	<b>X=1.503.581</b>	<b>Y=848.873</b>
<b>7</b>	<b>X=1.503.585</b>	<b>Y=848.853</b>
<b>8</b>	<b>X=1.503.651</b>	<b>Y=848.745</b>
<b>9</b>	<b>X=1.503.638</b>	<b>Y=848.739</b>
<b>10</b>	<b>X=1.503.485</b>	<b>Y=848.482</b>
<b>11</b>	<b>X=1.503.426</b>	<b>Y=848.440</b>
<b>12</b>	<b>X=1.503.402</b>	<b>Y=848.337</b>
<b>13</b>	<b>X=1.504.088</b>	<b>Y=848.387</b>
<b>14</b>	<b>X=1.503.786</b>	<b>Y=848.668</b>

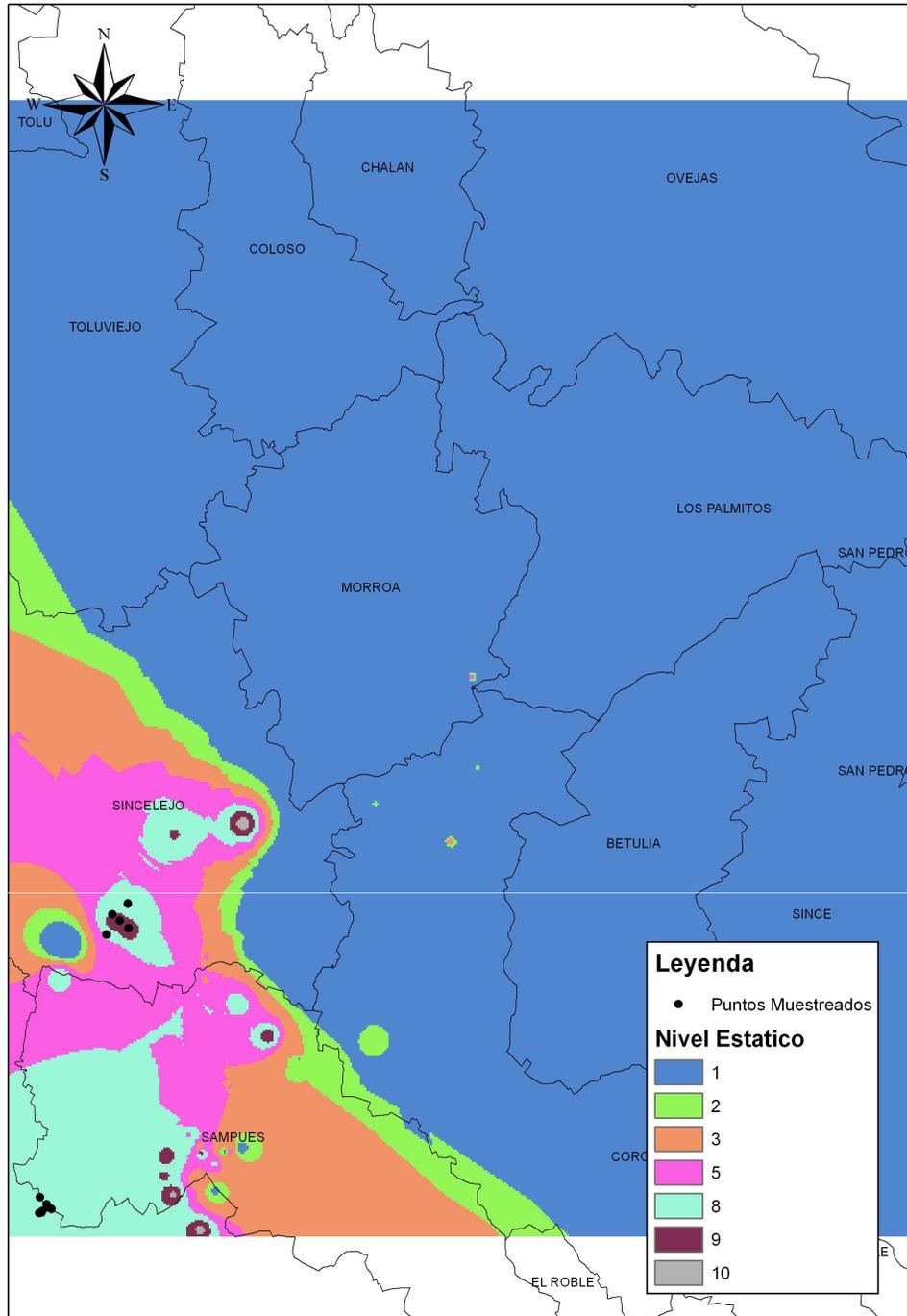
**ANEXO 3**  
**GEOREFERENCIACIÓN DE PREDIOS ENCUESTADOS**

<b>PUNTO</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	9,54205556	-75,1751389
2	9,54122222	-75,1746111
3	9,50066667	-75,1521944
4	9,50025	-75,1429722
5	9,49744444	-75,1525278
6	9,49655556	-75,1530833
7	9,49255556	-75,1692222
8	9,49136111	-75,1667778
9	9,48680556	-75,1715556
10	9,48344444	-75,1708611
11	9,47083333	-75,1621944
12	9,45547222	-75,20775
13	9,44891667	-75,2107778
14	9,44669444	-75,2067222
15	9,44272222	-75,2081111
16	9,44147222	-75,2318056
17	9,43133333	-75,2310833
18	9,41077778	-75,3623333
19	9,40297222	-75,3608889
20	9,39786111	-75,3248611
21	9,39644444	-75,3303056
22	9,39561111	-75,3246944
23	9,39505556	-75,3633056
24	9,39297222	-75,3259167
25	9,37727778	-75,3683611
26	9,37363889	-75,3665556
27	9,36380556	-75,2758889
28	9,36208333	-75,2803056
29	9,36194444	-75,3298056
30	9,36127778	-75,2828056
31	9,35175	-75,3264722
32	9,34488889	-75,3116389
33	9,34466667	-75,2957222
34	9,34436111	-75,3060278
35	9,34408333	-75,3108333
36	9,34375	-75,28325

37	9,32447222	-75,3383889
38	9,31441667	-75,3447778
39	9,30825	-75,3058889
40	9,30122222	-75,2971944
41	9,30113889	-75,2996944
42	9,29644444	-75,31475
43	9,28880556	-75,3024167
44	9,28536111	-75,3189722
45	9,28338889	-75,3181667
46	9,27838889	-75,3207778
47	9,27827778	-75,3371111
48	9,27302778	-75,3197778
49	9,27225	-75,3715
50	9,26825	-75,3387778
51	9,26386111	-75,3199722
52	9,25969444	-75,3691389
53	9,25897222	-75,3688333
54	9,25291667	-75,3649167
55	9,24375	-75,3439444
56	9,24366667	-75,3108333
57	9,24244444	-75,3450833
58	9,24111111	-75,3176944
59	9,24066667	-75,3461944
60	9,23730556	-75,3194167
61	9,22883333	-75,3743611
62	9,22883333	-75,3743611
63	9,22338889	-75,3213889
64	9,22252778	-75,4233056
65	9,22225	-75,4042778
66	9,22119444	-75,4061944
67	9,22055556	-75,3635278
68	9,21877778	-75,3330556
69	9,21675	-75,3277778
70	9,21558333	-75,4049167
71	9,21352778	-75,3821667
72	9,213	-75,3827222
73	9,20983333	-75,37925
74	9,20797222	-75,3796389
75	9,19797222	-75,3695
76	9,13727778	-75,40575

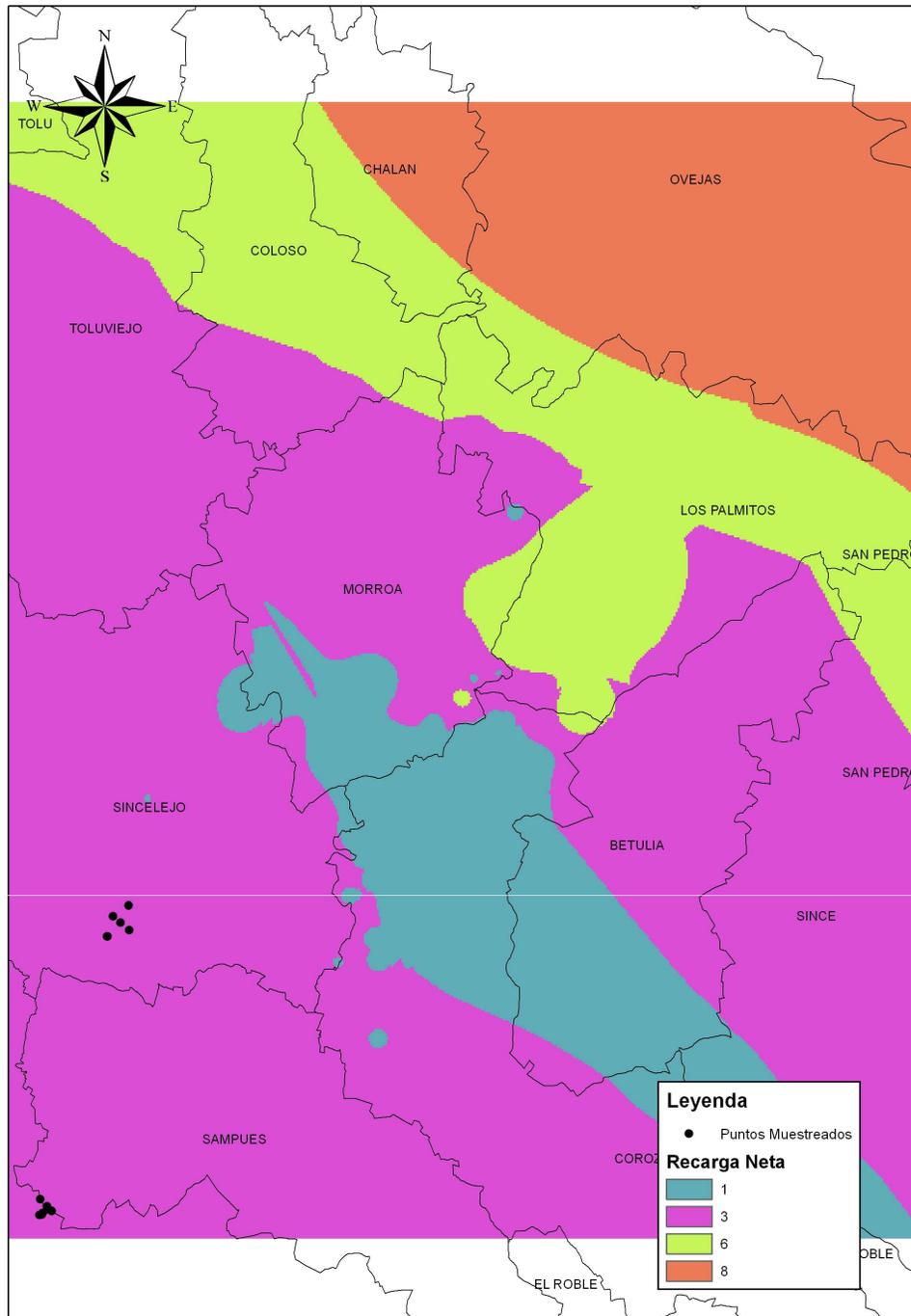
## ANEXO 4

### MAPA DE VALORES PARA NIVELES ESTÁTICOS SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



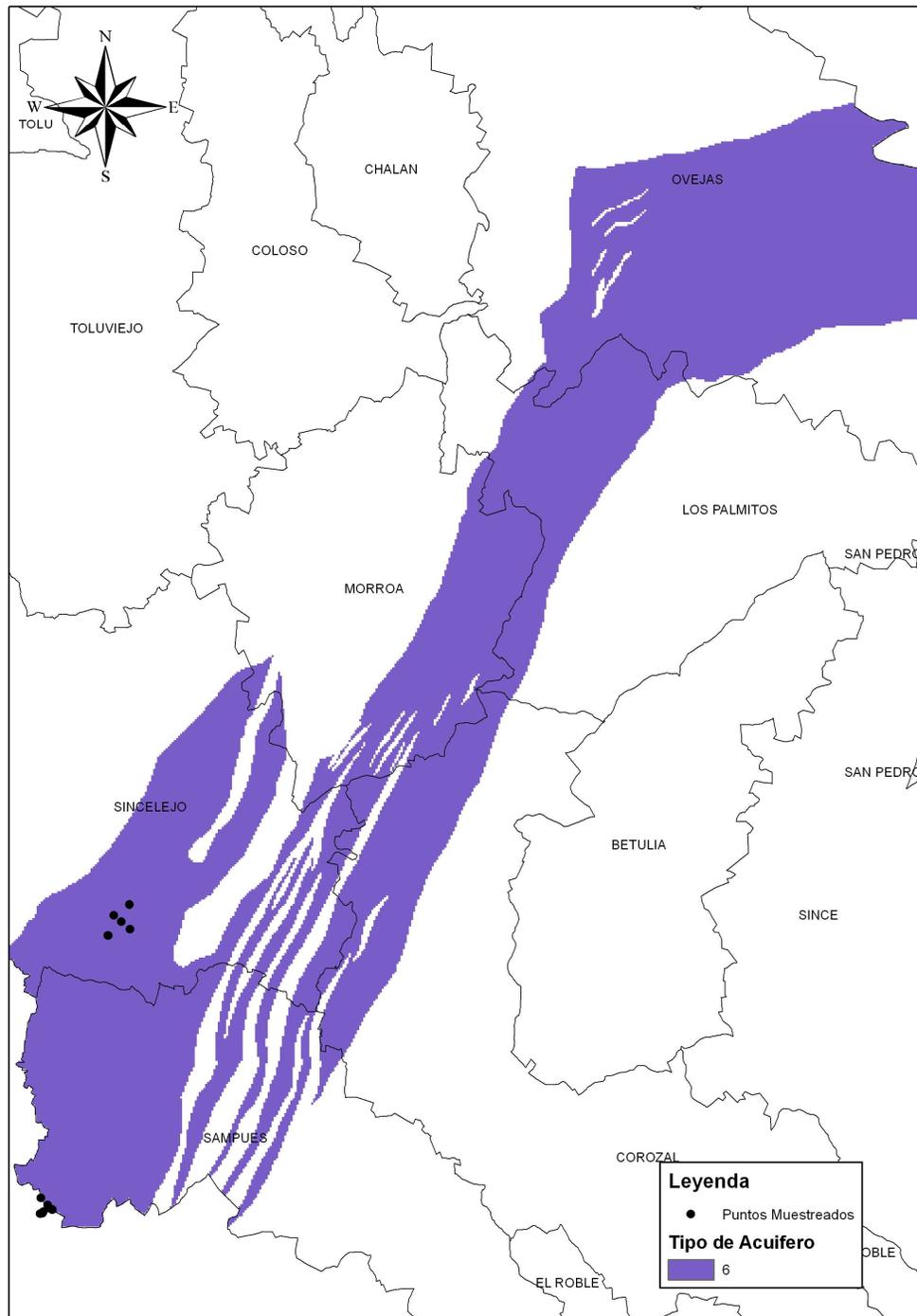
## ANEXO 5

### MAPA DE VALORES PARA RECARGA NETA SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



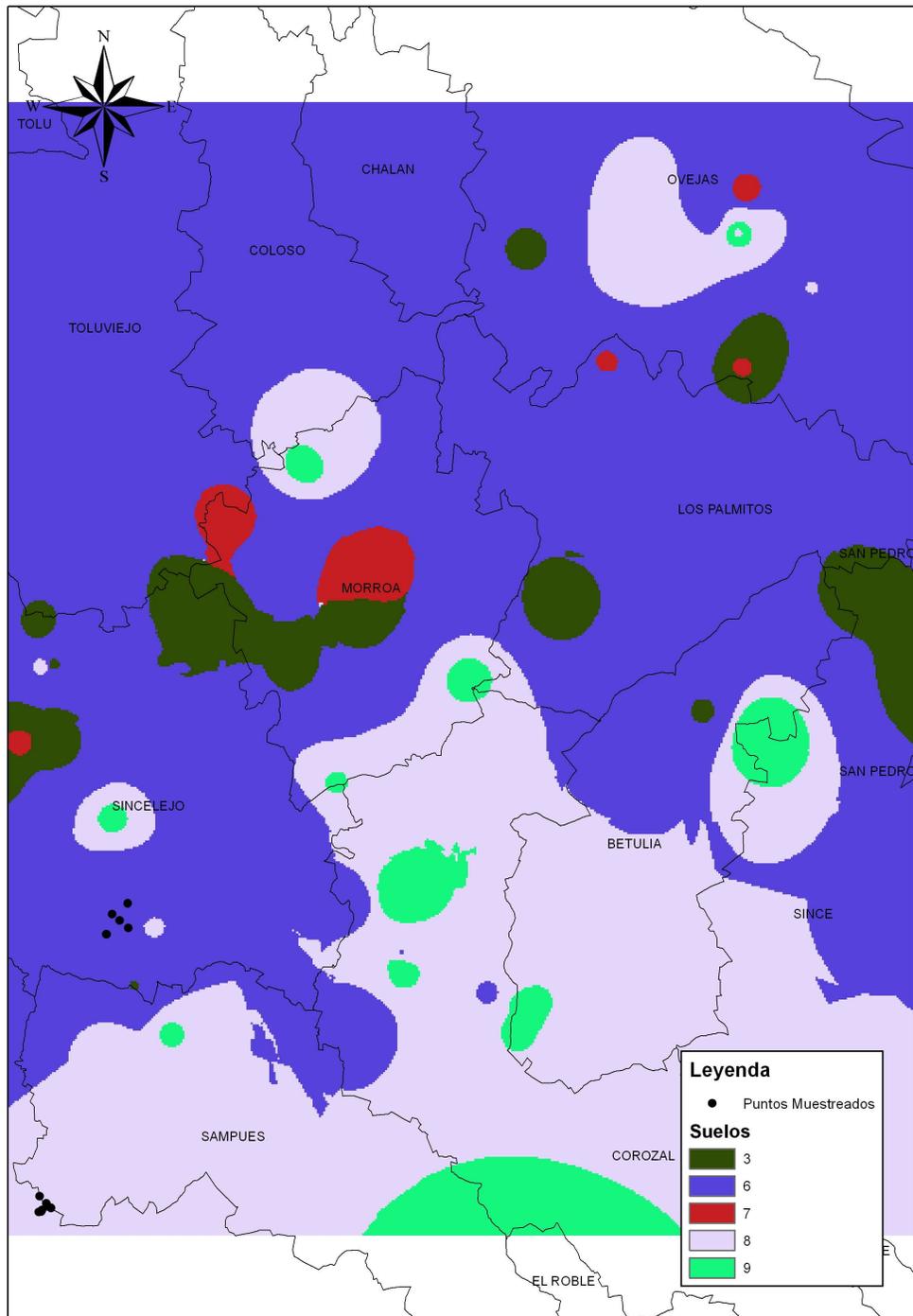
## ANEXO 6

### MAPA DE VALORES PARA TIPO DE ACUÍFERO SEGÚN DRÁSTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



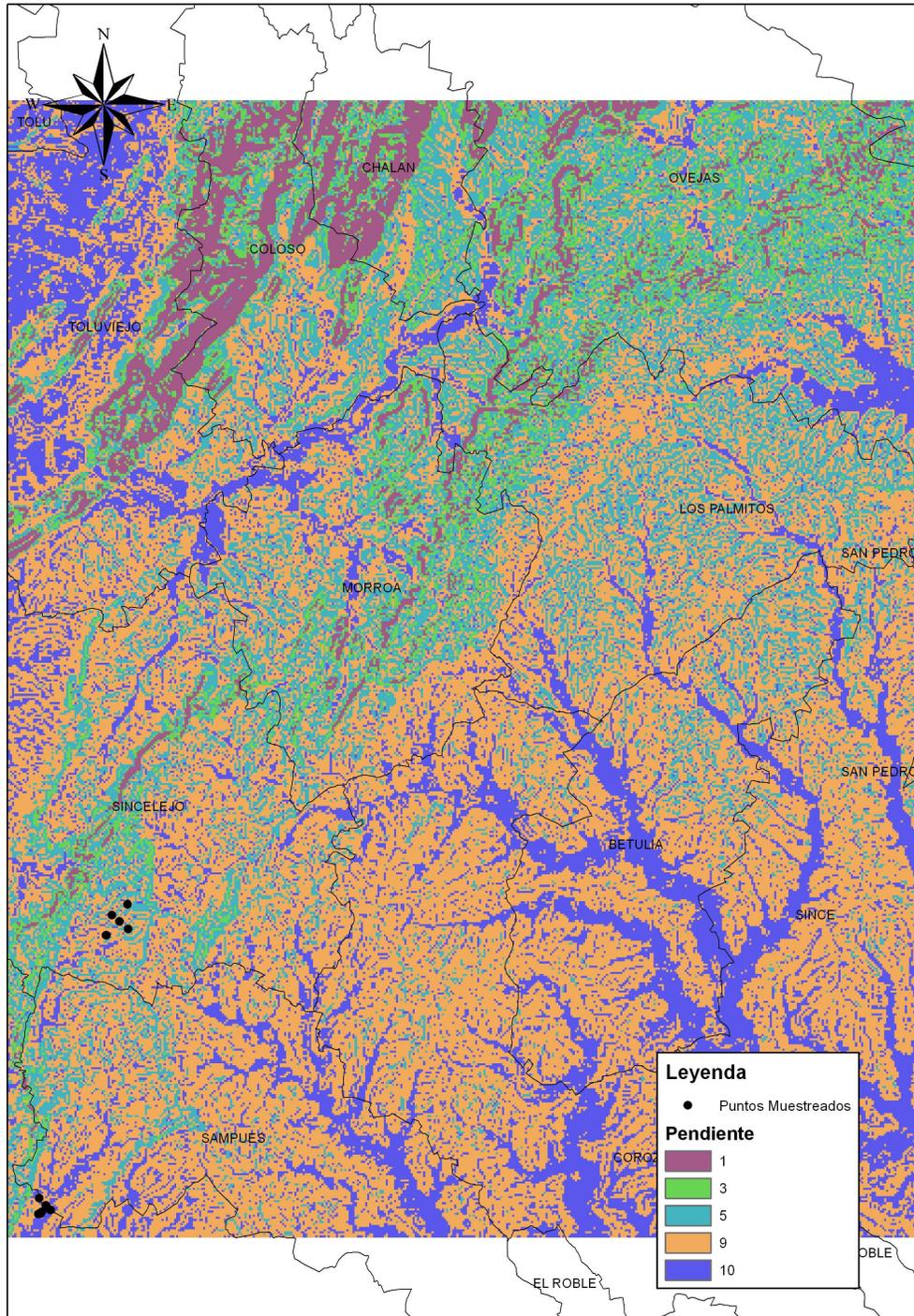
## ANEXO 7.

### MAPA DE VALORES PARA TIPO DE SUELO SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



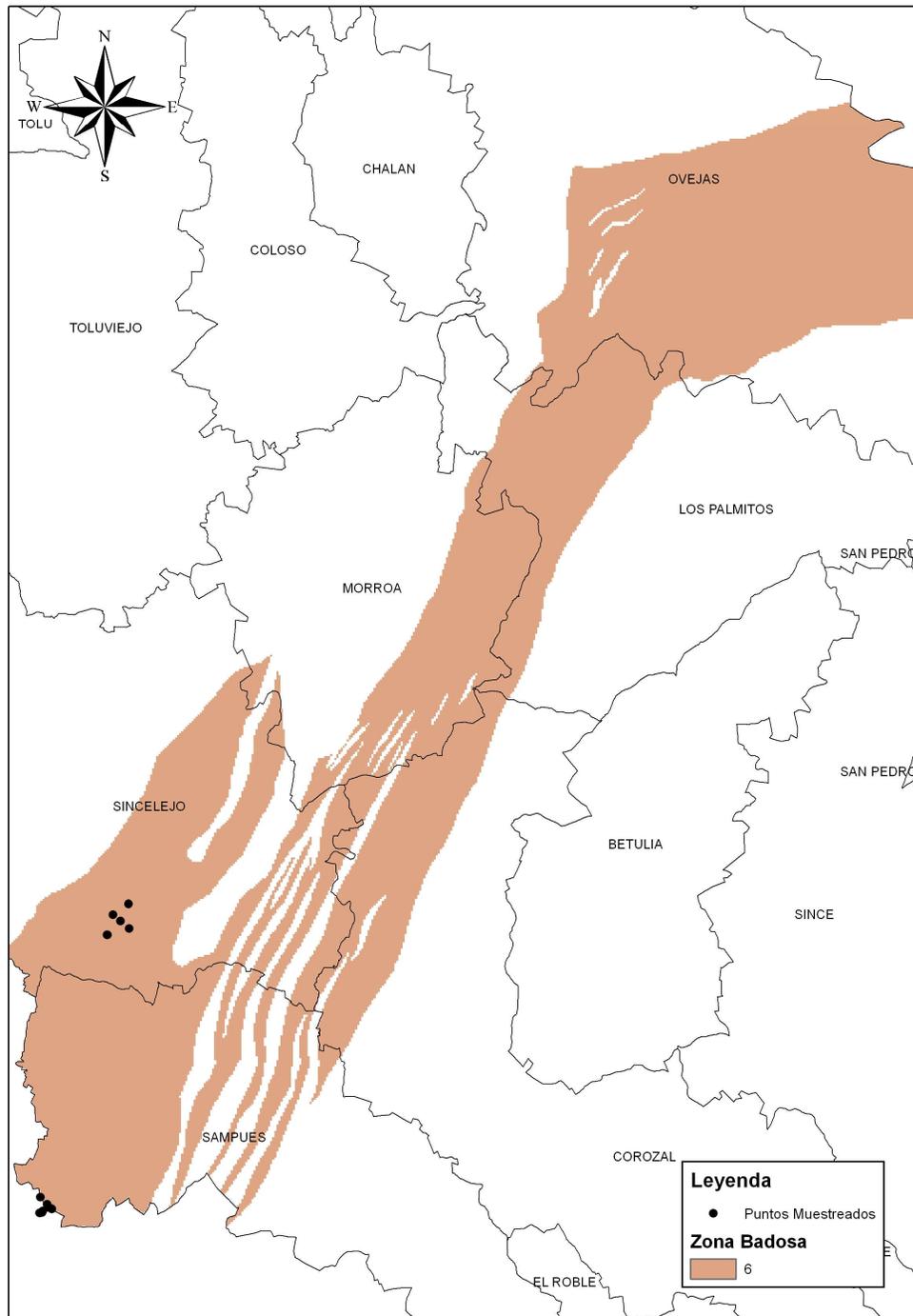
## ANEXO 8.

### MAPA DE VALORES PARA PENDIENTE SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



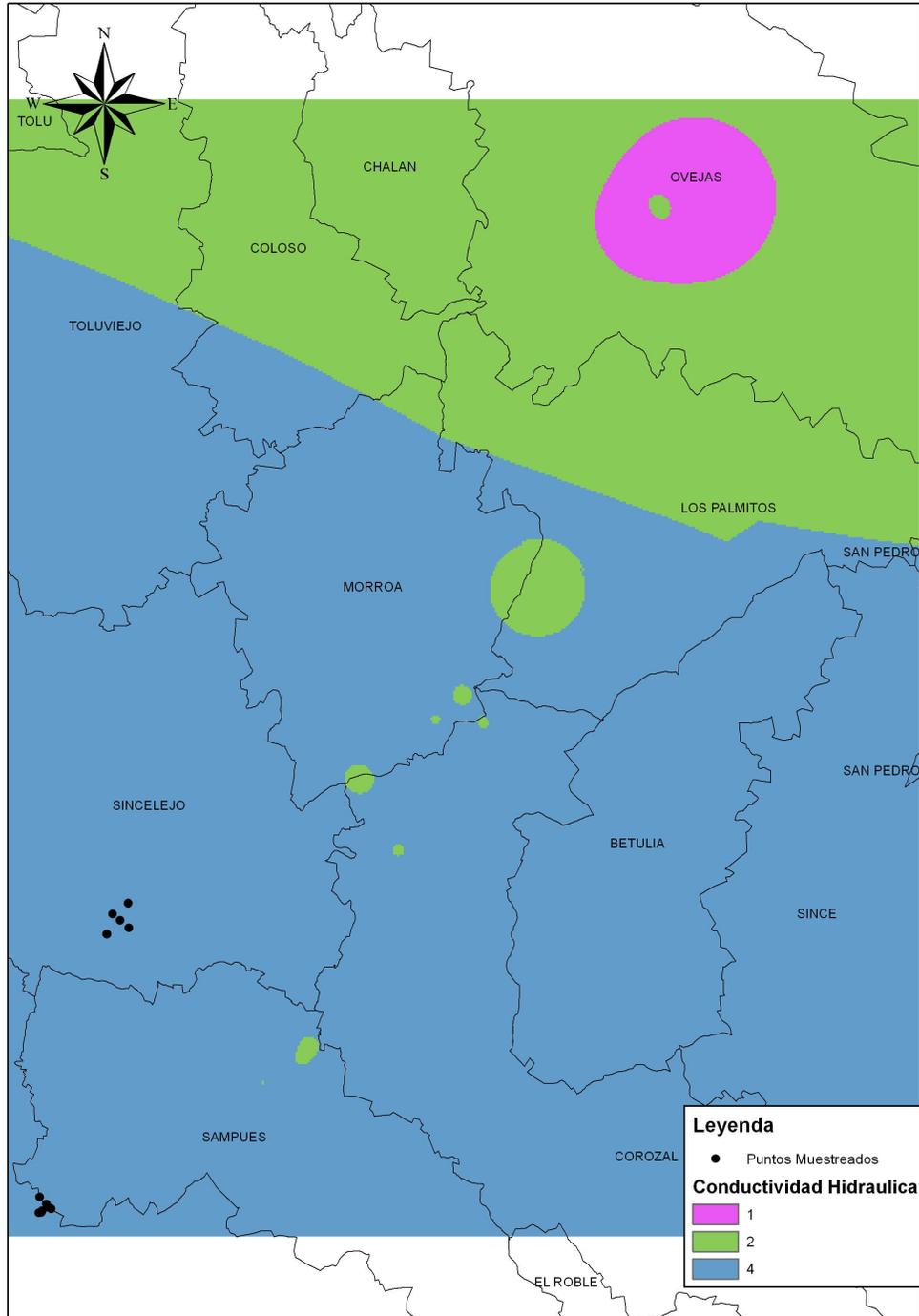
## ANEXO 9.

### MAPA DE VALORES PARA ZONA BADOZA SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



## ANEXO 10.

### MAPA DE VALORES PARA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SEGÚN DRASTIC DEL ACUÍFERO MORROA Y PUNTOS DE MUESTREO



**ANEXO 11.**

**FOTOGRAFÍAS MANEJO DE PLAGUICIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**



