

UCH-FC
Q. Ambiental
E 54
C-1



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias
Escuela de Ciencias

**ESTIMACION DE LA CONTAMINACION
AMBIENTAL POR PLAGUICIDAS EN SUELOS
AGRICOLAS DE LA ISLA DE PASCUA, V REGION**

Seminario de Título
entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al título de

QUIMICO AMBIENTAL

TAHIRA ALEXANDRA EDMUNDS GORMAN

Director del Seminario de Título: Dr. Manuel Leiva Guzmán

Profesor Patrocinante: M. Cs. Sylvia Copaja

Enero, 2007



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACION
SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Titulo presentado por la alumna

Tahira Alexandra Edmunds Gorman

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación del Seminario de Titulo como requisito para optar al titulo de Químico Ambiental

Director de Seminario de Titulo:

Dr. Manuel Leiva

Profesor Patrocinante:

M. Cs. Sylvia Copaja

Comisión de Evaluación:

M. Cs. Héctor Bravo

Ing. Tonci Tomic



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Leiva", written over a horizontal line.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "S. Copaja", written over a horizontal line.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "H. Bravo", written over a horizontal line.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "T. Tomic", written over a horizontal line.

CURRICULUM VITAE



Nombre: Tahira Alexandra Edmunds Gorman
Fecha Nacimiento 15 de Febrero, 1982
Nacionalidad: Chilena
RUT: 15.377.172-3
Celular: 09 - 6185387
e-mail: tahieds@hotmail.com
Idiomas: Inglés



Antecedentes Académicos:

1986 – 1999 Enseñanza Pre-Básica, Básica y Media en Colegio Lincoln
Internacional Academy
2000 – 2005 Licenciatura en Ciencias Ambientales con mención en Química,
Universidad de Chile

Estudios realizados:

2005 Unidad de Investigación: “Determinación de Ozono y Óxidos de Nitrógeno por Cromatografía Iónica usando Monitoreo Pasivo”.
Realizado en el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA).



Dedicada a mis padres Anita y Alberto

Y especialmente a Vero

AGRADECIMIENTOS



Para empezar agradezco a toda mi familia por el apoyo infinito. A mis padres por todo el apoyo durante la carrera, confiar en mí y quererme tanto. A mis hermanos Tiare, Terangi y Alberto por estar siempre allí. A mi madrina Vero que estimo muchísimo.

Con mucho cariño agradezco a Ema Tuki de la oficina CONADI por poner toda su confianza en mí y en el proyecto, y por ayudarme siempre que lo necesité.

A mi profesor guía Dr. Manuel Leiva por confiar en el proyecto y en mí, apoyándome siempre y facilitándome los laboratorios y equipos del CENMA, lo cual fue indispensable para lograr los objetivos de este trabajo.

A la Municipalidad de Isla de Pascua, en especial a la Oficina de Ciencia y Técnica (OCYT) con quienes trabajé, a la Dra. Aleida Labrada por ayudarme y enseñarme en todo momento, su excelente disposición y gran apoyo durante el trabajo que se realizó en terreno. También a Emilio Paoa por su buena disposición durante el trabajo en terreno.

A mi profesora Sylvia Copaja por su paciencia, ayuda y apoyo que me brindó en todo momento.

A Don Pablo Sakamoto de SAGU Ltda. quien me facilitó el equipo HPLC y depositó toda su confianza en mí. Junto a Don Patricio Leiva por su buena disposición y enseñarme lo que necesité para que todo saliera bien.

A Tonci Tomic una gran persona que me facilitó ayuda bibliográfica y siempre tuvo una excelente disposición para ayudarme.

A la oficina del SAG en Isla de Pascua, en especial a Don Ruben Badilla y Dr. Jaime Hernández, por siempre tener una excelente disposición y por facilitarme el uso del GPS.

A todo el personal del CENMA en especial a Rocío por su increíble disposición, también a Ingrid, Ariela, Jorge y Rodrigo L., por ayudarme y apoyarme siempre. También quiero agradecer a todos mis amigos que me apoyaron y ayudaron durante este trabajo y toda la carrera, en especial a Coni, Chela, Andrea, Pepi, Pauli Yoyo y mi amigo Diego G. A mis amigas de la U y muy en especial a Carla por ayudarme siempre y sacarme de apuros, también a Consuelo, Paula, Anita y Diego B. Y muy en especial a todos mis primos que me acompañaron todo el tiempo con buenos momentos.

Finalmente agradezco a toda la familia Tuki quienes con mucho cariño, en especial la Tía Elena y el Tío Jorge, me abrieron las puertas de su hogar y ayudaron siempre.

Y a una persona muy especial para mí que me acompaña siempre, estando lejos o cerca, pero siempre en mi corazón; con todo mi amor, maururu Tuki...

MAURURU KORUA TA'A TOA



Este proyecto fue financiado por la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) Oficina de Isla de Pascua y la Ilustre Municipalidad de Isla de Pascua. Y realizado en los Laboratorios del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA).

INDICE DE CONTENIDO



INDICE DE CONTENIDO	vi
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xviii
I. INTRODUCCION	1
1.1 Isla de Pascua y situación ambiental	1
1.1.1 Características de la agricultura en la Isla de Pascua	2
a) Producción Hortofrutícola	2
b) Mercado	3
1.1.2 Introducción de plagas a la Isla de Pascua	4
1.2 Plaguicidas en el medio ambiente	6
1.3 Comportamiento de los plaguicidas en los suelos	7
1.3.1 Conversión de los plaguicidas en el suelo y subsuelo	7
1.3.2 Condiciones del sistema acuífero	9
1.3.3 Origen de los plaguicidas en el suelo y procesos que determinan su dinámica	10
1.4 Dinámica de los plaguicidas en el suelo	11
1.4.1 Otros factores que afectan el movimiento de los plaguicidas	17

1.4.2 Características que influyen en los diferentes procesos de la dinámica de los plaguicidas	18
1.5 Agroquímicos	21
1.5.1 Insecticidas	22
1.5.1.2 Organofosforados	22
a) <i>Metamidofos</i>	23
b) <i>Dimetoato</i>	25
1.5.2 Fungicidas	28
1.5.2.1 Bencenos sustituidos	29
a) <i>Clorotalonil</i>	29
II. OBJETIVOS	33
2.1 Objetivos Generales	33
2.2 Objetivos Específicos	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1 Área de Estudio	34
3.1.1 Descripción del lugar	34
3.1.2 Marco Geomorfológico	35
3.1.3 Suelos	35
3.1.4 Recursos de aguas subterráneas	36
3.1.5 Meteorología y clima	37
3.2 Metodología de encuesta	39
3.2.1 Análisis de encuesta	39
3.3 Definición de los plaguicidas a monitorear y predios seleccionados	39

3.4 Georeferenciación	40
3.4.1 Datos cartográficos para caracterizar los predios seleccionados	40
3.5 Características generales de los plaguicidas seleccionados	40
3.6 Metodología de muestreo	41
3.7 Determinación de las propiedades del suelo	42
3.7.1 Determinación de la humedad de los suelos	42
3.7.2 Determinación de pH y conductividad eléctrica	42
3.7.3 Determinación de la textura mediante método Bouyoucos	42
3.7.4 Determinación de materia orgánica mediante método Walkey Black	44
3.8 Métodos analíticos: Cuantificación de los plaguicidas en los suelos agrícolas	45
3.8.1 Optimización del método	45
3.8.1.1 Recuperación del método	45
3.8.1.2 Determinación de los parámetros de calidad analítica del método en cromatografía de gases (GC) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)	45
3.8.2 Extracción de los plaguicidas mediante método de microondas, y posterior análisis en GC – ECD, GC – FPD y HPLC – UV	47
3.8.2.1 Procedimiento de extracción por microondas	47
3.8.2.2 Condiciones finales para GC – FPD / ECD	49
3.8.2.3 Condiciones finales para HPLC – UV	50

3.8.3 Estimación de la concentración de plaguicidas en los respectivos suelos	52
3.9 Isotermas de adsorción	52
3.10 Estudios de desorción	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	55
4.1 Aplicación metodología de encuesta	55
4.2 Plaguicidas utilizados	56
4.2.1 Aspectos generales	56
4.2.2 Distribución de los plaguicidas por número de predios	59
4.2.3 Época de aplicación de los plaguicidas a los cultivos	60
4.3 Evaluación de los plaguicidas a monitorear	60
4.4 Definición de los plaguicidas a monitorear y predios seleccionados	62
4.5 Georeferenciación	66
4.6 Características de los predios seleccionados	66
4.6.1 Clases de capacidad de uso	67
4.6.2 Aptitud de los suelos	68
4.6.3 Erosión de los suelos	69
4.6.4 Erodabilidad	70
4.6.5 Sensibilidad de los suelos	71
4.6.6 Altura de los suelos	72
4.6.7 Cercanía de los predios a los pozos de extracción de aguas subterráneas	73
4.7 Determinación de las propiedades de los suelos	74

4.7.1	Humedad de los suelos	74
4.7.2	pH y conductividad eléctrica de los suelos	75
4.7.3	Determinación de la textura de los suelos	76
4.7.4	Determinación de la materia orgánica	77
4.8	Métodos analíticos: Cuantificación de los plaguicidas en los suelos agrícolas	80
4.8.1	Optimización del método	80
4.8.1.1	Recuperación del método	80
4.8.1.2	Parámetros de calidad analítica de los métodos	81
4.8.2	Extracción de los plaguicidas mediante método de microondas y análisis en GC – ECD, GC – FPD y HPLC – UV	82
4.8.2.1	Estimación de la concentración de plaguicidas en los respectivos suelos	83
4.8.2.2	Comparación de las concentraciones estimadas con la altura a la que se encuentran los suelos	85
4.8.2.3	Comparación de las concentraciones estimadas con la cantidad de arcilla en los suelos	87
4.8.2.4	Comparación de las concentraciones estimadas con la cantidad de materia orgánica en los suelos	89
4.9	Isotermas de adsorción	91
4.10	Estudios de desorción	95
4.11	Comparación de las características fisicoquímicas de los plaguicidas analizados y su potencial lixiviación	97



V. CONCLUSIONES	99
5.1 Conclusiones Específicas	99
5.2 Conclusiones Generales	102
VI. RECOMENDACIONES	105
VII. BIBLIOGRAFIA	109
ANEXOS	114
ANEXO A: Capacidad de uso de los suelos	115
ANEXO B: Aptitud de los suelos	117
ANEXO C: Categorías de erosión	119
ANEXO D: Categorías de Erodabilidad	121
ANEXO E: Categorías de sensibilidad	123
ANEXO F: Mapas a partir de la georeferenciación de los predios	124
ANEXO G: Categorías de los suelos, según sus clasificaciones debido a su contenido en materia orgánica y pH	132
ANEXO H: Cálculos de la estimación de la concentración de los suelos	133
ANEXO I: Cálculos de los parámetros de la isoterma de adsorción y del estudio de desorción	134



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Cultivos anuales y permanentes en Isla de Pascua	2
Tabla 2.- Principales factores involucrados en la dinámica de los plaguicidas	12
Tabla 3.- Principales propiedades de Metamidofos	23
Tabla 4.- Principales productos de degradación de Metamidofos	24
Tabla 5.- Principales propiedades de Dimetoato	25
Tabla 6.- Principales productos de degradación de Dimetoato	27
Tabla 7.- Principales propiedades de Clorotalonil	30
Tabla 8.- Principales productos de degradación de Clorotalonil	31
Tabla 9.- Condiciones de extracción en microondas	48
Tabla 10.- Condiciones finales del HPLC para la determinación de los compuestos	50
Tabla 11.- Características generales de los plaguicidas empleados	57
Tabla 12.- Distribución de los plaguicidas por número de predios	59
Tabla 13.- Matriz de evaluación de la contaminación ambiental de cada plaguicida	61
Tabla 14.- Plaguicidas seleccionados para análisis	62
Tabla 15.- Enumeración de los predios, dosis aplicado a los cultivos y días desde la última aplicación	63
Tabla 16.- Capacidad de uso de los suelos	67
Tabla 17.- Clases de aptitud de los suelos	68

Tabla 18.- Categorías de erosión para cada suelo	69
Tabla 19.- Categorías de erodabilidad para cada suelo	70
Tabla 20.- Categorías de sensibilidad para cada suelo	71
Tabla 21.- Altura de los suelos sobre el nivel del mar	72
Tabla 22.- Pozos explotados cercanos a los predios analizados	73
Tabla 23.- Humedad de los suelos	74
Tabla 24.- pH y Conductividad de los suelos	75
Tabla 25.- Textura de los suelos	76
Tabla 26.- Contenido en porcentaje de Carbono Orgánico y Materia Orgánica en los suelos	78
Tabla 27.- Recuperación del método	80
Tabla 28.- Parámetros analíticos, Limite de Detección (LOD) y Limite de Cuantificación (LOQ) en la técnica GC-FPD y GC-ECD	81
Tabla 29.- Parámetros analíticos, Limite de Detección (LOD) y Limite de Cuantificación (LOQ) en la técnica HPLC-UV	81
Tabla 30.- Concentración de plaguicida encontrado en los suelos	82
Tabla 31.- Concentraciones reales estimadas de plaguicidas en los suelos	83
Tabla 32.- Valores de K_f , $1/n$, r , K_{om} , K_{oc} , y solubilidad para cada compuesto	91
Tabla 33.- Estudio de desorción de plaguicidas	95
Tabla 34.- Condiciones necesarias de los plaguicidas para que aumente la probabilidad de alcanzar las aguas subterráneas	98

Tabla 35.- Clasificación del contenido de materia orgánica en suelos Volcánicos	132
Tabla 36.- Escala de pH para suelos agrícola	132
Tabla 37.- Recuperación del método suelo 1	133

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Origen de los plaguicidas en el suelo	10
Figura 2.- Procesos que determinan la dinámica de los plaguicidas en el Suelo	11
Figura 3.- Posibles interacciones de plaguicidas y partículas de suelo	20
Figura 4.- Estructura química general de los organofosforados	29
Figura 5.- Estructura de nombre IUPAC Acido tiofosforamídico	23
Figura 6.- Estructura de nombre IUPAC O,O-dimetil S-(N-metil - carbamoilmetil) fosforoditioato	25
Figura 7.- Estructura de nombre IUPAC 2,4,5,6-tetracloroisofaltonitrilo	
Figura 8.- Climatograma Isla de Pascua	38
Figura 9.- Forma de la toma de muestras	41
Figura 10.- Triangulo textural según clasificación USDA	43
Figura 11.- Diagrama de flujo del método de análisis	51
Figura 12.- Información sobre el uso de plaguicidas	55
Figura 13.- Muestreo de suelos	64
Figura 14.- Predio agrícola; plantación de diversas hortalizas	64

RESUMEN

Los suelos de la Isla de Pascua (27,9°S, 109,27°O) presentan un 29,45 % de uso agrícola, las que superan sobradamente los requerimientos de suelos con uso agrícola para la isla. Predominan los cultivos hortofrutícolas para lo cual se utiliza habitualmente plaguicidas como medida de combatir las plagas y obtener un buen rendimiento de los cultivos.

La constante aplicación de plaguicidas principalmente de insecticidas y fungicidas de marcas comerciales como Tamarón, Decis, Dimetoato y Bravo, son aportes continuos a los suelos. Una proporción importante de la masa aplicada sobre los cultivos no llega al blanco, pudiendo ser movilizado hacia otros compartimentos del medio ambiente, donde los eventos de precipitación sumados a las características físicas del lugar favorecerían la lixiviación.

Para estimar el posible impacto ambiental de los plaguicidas usados en la agricultura, se propuso determinar cuales son aquellos plaguicidas que están siendo empleados mediante una encuesta predial. Se determinó la concentración que presentan los productos químicos en el suelo junto con las características fisicoquímicas de los suelos y de ésta manera se estimó la contaminación ambiental de estos plaguicidas. Se generó una matriz para valorar el riesgo de cada uno, considerando su toxicidad, carga y frecuencia de uso. Los plaguicidas considerados de mayor riesgo obtenido fueron Metamidofos (Tamarón), Dimetoato y Clorotalonil (Bravo).

Se tomaron muestras compuestas de los suelos en cinco predios agrícolas de la capa superficial, y a 50 cm. de profundidad, donde dos de ellos utilizaban el plaguicida

Metamidofos, uno utilizaba Dimetoato y dos Clorotalonil. Se georeferenciaron los cinco predios con GPS y se analizaron sus características físicas. Las muestras fueron llevados al laboratorio donde se determinó la concentración de los plaguicidas mediante una extracción líquido-sólido asistida por microondas, y su posterior cuantificación mediante la cromatografía gaseosa y la cromatografía líquida de alta resolución. Finalmente se analizaron las propiedades fisicoquímicas de los suelos y los estudios de adsorción y desorción de los plaguicidas en cada suelo.

A partir de los resultados obtenidos se observó que todos los predios poseen un suelo ligeramente erosionado, pero con una alta erodabilidad y sensibilidad. Se encuentran entre los 30 y 90 m.s.n.m, y su clase de capacidad de uso es predominantemente agrícola. Con características típicas de suelos de origen volcánico, tales como pH ácido y alto contenido de materia orgánica.

Se observó la presencia de los tres plaguicidas en los suelos, siendo en algunos casos mayor la concentración a los 50 cm. de profundidad. Lo que implica que los plaguicidas se están movilizándose pudiendo llegar a las napas subterráneas.

Con los resultados obtenidos en este estudio se persigue contribuir a un mejor conocimiento de los efectos sobre el medio ambiente que acontecen dentro de las actividades agrícolas.

Palabras clave: *Plaguicidas, Isla de Pascua, Suelo, Metamidofos, Dimetoato, Clorotalonil*

ABSTRACT

Easter Island (27,9°S, 109,27°W) presents a use of agricultural soil of a 29,5 %, these are above the requirements of the agricultural use of the soil for the island. Fruit and vegetable crops predominate, therefore, pesticides are used constantly to attack pests and obtain a good crop achievement.

The constant application of pesticides specifically insecticides and fungicides of commercial brands known as *Tamarón*, *Dimetoato*, *Decis* and *Bravo* are continuous contributions to the soil. An important proportion of the applied substance on the crops does not get to the target pests, thus it is moved towards other environmental compartments, where the weather conditions added to the physical characteristics of the soil favors leaching.

In order to asses and estimate the potential environmental impact of pesticides used in agriculture, it was proposed to determine which are those pesticides that are being used by means of a land survey. The concentrations of these chemical products were analyzed together with the physicochemical characteristics of the soils, to estimate the environmental contamination of these pesticides.

To value the risk of each pesticide a matrix was generated, considering its toxicity, charge provided and frequency of use. Pesticides considered with a high risk for the environment associated to the highest scores were: Methamidophos, Dimethoate and Chlorothalonil.

In five different land properties, mixed samples of soils were taken, from the superficial and 50 cm. layer. Two owners used Metamidophos, one used Dimethoate and two used Chlorothalonil.

Each land property was georeferenced with a GPS and their physical properties were analyzed. Samples were taken to the laboratory where the concentration of the pesticides were determined using an assisted microwave liquid-solid extraction and its later quantification through Gas Chromatography (GC) and High Performance Liquid Chromatography (HPLC).

Finally the physicochemical properties of the soil were analyzed and the studies of adsorption and desorption of the pesticides in each soil.

With the obtained results it was observed that all the land properties have a minimum erosion soil, but with a high erodability and sensitivity. They are located between 90 and 30 m. over sea level with typical characteristics of volcanic soils, such as acid pH and high organic matter.

The three pesticides were observed in the soils having in some cases a higher concentration on the deeper layers. This means that pesticides are being mobilized and capable of reaching underground waters.

After the results obtained in this study, it is expected to contribute to a better knowledge of the effects over the environment that happens within agricultural activities.

Key words: *Pesticides, Easter Island, Soil, Methamidophos, Dimethoate, Chlorothalonil*

I. INTRODUCCION

1.1 Isla de Pascua y situación ambiental

En la actualidad nos estamos preocupando cada vez más de mantener un equilibrio entre el constante crecimiento económico y la protección de nuestro medio ambiente. En la Isla de Pascua, la población ha ido aumentando sustancialmente durante los últimos años, ya sean estos turistas como residentes, y junto a ello, llegan consecuencias que por un lado pueden favorecer la economía de la isla, al aumentar el flujo turístico por ejemplo, pero a la vez esto también trae consecuencias desfavorable especialmente a lo que a recursos se refiere. Mejorar la calidad de vida de la población, crecer económicamente y a la vez cuidar y proteger el medio ambiente, es un desafío que en la modernidad las sociedades deben enfrentar. Junto a esto nace la idea de desarrollo sustentable, cuyo concepto reconoce así que el crecimiento económico es esencial para satisfacer las necesidades humanas y para mejorar la calidad de vida, basándose en el uso eficiente, equitativo y ambientalmente responsable de todos los recursos escasos de la sociedad, es decir, los recursos naturales, humanos y económicos (CONAMA, 1996). La isla tiene un ecosistema que se puede denominar como frágil, debido a la pequeña superficie y a la demanda constante y creciente sobre sus recursos (AMBAR, 2003). Y son estos los que finalmente pueden llegar a agotarse sin una buena planificación y manejo.

Debido a que cerca de un 80% de los abastecimientos son provenientes desde el continente, es fundamental aumentar la superficie destinada a los cultivos agrícolas, teniendo además excelentes suelos para cultivar. Las consecuencias que esto traería

serían una disminución del costo de envío, así como también una disminución en el precio de las frutas y verduras.

1.1.1 Características de la agricultura en la Isla de Pascua

a) Producción hortofrutícola

Según el VI Censo agropecuario de 1997, el área destinada a los cultivos anuales y permanentes es de 191,97 ha, cifras que no han variado significativamente al año 2003.

Los cultivos anuales y permanentes se encontraban distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 1: Cultivos anuales y permanentes en Isla de Pascua

Tamaño	Total	Superficie (ha)	% de la superficie
Número total explotaciones	41	6050,2	100
explotaciones con cereales	10	6,6	0,11
explotaciones con chacras	22	9,3	0,15
explotaciones con cultivos industriales	3	1,1	0,02
explotaciones con hortalizas	39	95,4	1,58
explotaciones con flores	0	0	0
explotaciones con forrajeras anuales y permanentes	2	44,5	0,74
explotaciones con frutales	34	35,3	0,58
explotaciones con viñas y parronales viníferas	0	0	0
explotaciones con viveros	0	0	0
explotaciones con plantaciones forestales	29	536,4	8,87

Fuente: INE, 1997

La mayor parte de las explotaciones corresponden a plantaciones forestales, seguidos de cultivos de hortalizas, frutales y cultivos de chacarería. De los cultivos de hortalizas

destacan en mayor cantidad el choclo, sandia, tomate, poroto verde, camote y zanahoria, los cuales cubren aproximadamente un 75,7% de la superficie. En las plantaciones de frutales en cambio son mayoritarias las plantaciones de piñas, mangos, limones y paltos. La infraestructura predial es escasa y no ha sufrido variaciones significativas en las parcelas entregadas con posterioridad al Censo agropecuario, lo que refleja un bajo grado de inversión en las explotaciones, consistente con el destino de la producción principalmente al autoconsumo.

b) Mercado

La agricultura en la se caracteriza por ser de tipo familiar y porque las personas que lo trabajan realizan otras actividades, siendo la agricultura, en la mayoría de los casos la actividad secundaria. Al mismo tiempo la agricultura es de carácter estacional. En la cual hay periodos de cultivo en algunos predios, como por ejemplo se cultivan en temporadas de mayor calor en algunos y durante el invierno no cultivan, o viceversa. La mayoría de los predios visitados, los productores agrícolas preferían diversificar su producción, la cual formaba parte de una estrategia para minimizar los riesgos de sobreproducción que eventualmente se generan en la isla dado lo frágil y sensible que es el sistema del mercado interno. Dado a esta baja especialización de productos agrícolas, los productores básicamente producen para el autoconsumo y el mercado interno. Por lo tanto dado que el mercado local no responde a las necesidades alimentarias de la población, este debe ser abastecido aproximadamente con un 80% de productos agrícolas provenientes desde el continente.

1.1.2 Introducción de plagas a la Isla de Pascua

No hay estudios que revelen la llegada de las primeras plagas en la agricultura a la Isla de Pascua. Pero si se puede afirmar que para la llegada de los barcos y aviones provenientes del continente y de la polinesia francesa, no hay tratamiento alguno de ellos para evitar la llegada de plagas a la isla. Durante los últimos años de esta década han aparecido numerosas plagas, por lo que se ha tenido que prestar mayor resguardo a la entrada de productos. Por otro lado, las instituciones prestan mayor atención a la “salida” de los productos hacia el continente y el resto de la polinesia, que a la llegada de estos a la isla. Es por este hecho que la Isla de Pascua se ha visto enfrentada a diferentes ataques de vectores que han llegado incluso a afectar la salud de la población. Dada la llegada de diferentes tipos de plagas, se puede señalar que la isla es particularmente susceptible a la introducción de especies, dado la ausencia de predadores naturales y sobre todo de barreras fitosanitarias desde el continente. De echo ya en 1914 se había registrado un muy reducido numero de especies de insectos (Museo Nacional de Historia Natural,). En la última década, con el aumento del comercio y tráfico con Chile continental y Tahiti, se han transportado de manera inadvertida numerosas plagas. Y gracias a las condiciones favorables de la Isla de Pascua, con temperaturas calidas y homogéneas, estas favorecen el desarrollo de especies de insectos.

Entre las principales pestes que han afectado cultivos agrícolas se puede mencionar: polilla del tomate (*Scrobipalpula absoluta*), polilla de la col (*Plutella xylostella*), pulgón del repollo (*Brevicoryne brassicae*), pulgones de citrus, polilla del frejol (*Epinotia aporema*), chinche (*Nezara viridula*), mosquita blanca algodonosa de los citrus

(*Aleurothrixus floccosus*), conchuela negra del olivo (*Saissetia oleae*), acaro del tostado (*Phyllocoptruta oleivora*) y burrito de los frutales (*Naupactus xanthographus*) (AMBAR, 2004).

Dadas estas manifestaciones en los cultivos de los agricultores, se les hace necesario combatir las plagas mediante el uso de agroquímicos, ya que es la solución más fácil, cómoda y económica que los agricultores pueden optar, aparte de no tener alguna otra técnica para evitar la proliferación de las plagas. Por lo tanto, luego de analizar los posibles movimientos de los plaguicidas hacia otras unidades del ambiente, se hace necesario tomar medidas en lugares con ecosistemas tan frágiles como lo es el caso de la Isla de Pascua. Ya que el único recurso de agua dulce existente en la isla proviene de las aguas subterráneas, y si estas llegan a contaminarse sobrepasando los límites de concentración de los diferentes contaminantes, se vería afectada la salud de los habitantes de la isla, así como también de los turistas, la cual es la entrada principal en la economía de la isla.

1.2 Plaguicidas en el medio ambiente

Los plaguicidas se definen como “cualquier sustancia, preparación u organismo usados para destruir, mitigar o controlar plagas”, y son principalmente usados con fines agrícolas, ya sean como insecticidas, herbicidas, fungicidas etc., así también son utilizados con otros propósitos tales como el control de enfermedades en la salud pública, control de hierbas en caminos, entre otros.

Los plaguicidas poseen características contaminantes que dependen principalmente de sus propiedades tóxicas, las cuales se definen por la concentración de éste en un

momento dado en el ambiente y la sensibilidad de los organismos vivos afectados (Barriuso, 2000).

Una vez introducidos estos compuestos químicos en el medio ambiente, y como consecuencia de la cantidad usada, su amplio espectro de aplicación y sus propiedades fisicoquímicas, están sujetos a una serie de procesos de conversión y transporte, por lo que se encuentran en todos los compartimientos del medio ambiente, tales como sedimentos, aguas superficiales y subterráneas, atmósfera y suelos. El transporte global de estas sustancias volátiles y estables, ha sido demostrado por su presencia en zonas remotas (circulo ártico) y en el aire de océanos del mundo (Barriuso, 2000)

Por un lado tenemos que la contaminación por químicos en las diferentes matrices del medio ambiente pueden llegar a ser reversibles con el tiempo. Por ejemplo al comparar la contaminación del aire por químicos volátiles es transitoria y se puede dispersar fácilmente por el viento u otros elementos climáticos; la contaminación del suelo es localizada y por ende es más difícil que un número grande de organismos entre en contacto con el suelo contaminado. La contaminación de las aguas superficiales es mas importante pero tiene una mayor velocidad y probabilidad de recuperación por el movimiento rápido, la dilución por lluvias y la descomposición química producida por los microorganismos, la luz solar y otros organismos. En cambio la contaminación de las aguas subterráneas conlleva un proceso de reversibilidad muy lento y usualmente es más difícil de detectar, aún si la fuente de contaminación fuese removida, la potencial exposición e impacto sobre las aguas subterráneas es muy grande. Por lo tanto, son estas características las que demandan importancia para la protección de las aguas

subterráneas contra la contaminación de cualquier sustancia, siendo la contaminación del agua subterránea entre los problemas ambientales más críticos de hoy.

1.3 Comportamiento de los plaguicidas en los suelos

1.3.1 Conversión de los plaguicidas en el suelo y subsuelo

Distribuidos por la superficie del suelo, la degradación de los plaguicidas depende de varios procesos bióticos y abióticos, tales como la hidrólisis, la fotodegradación y la transformación por las raíces de las plantas y los microorganismos del suelo. Actualmente se reconoce que el mecanismo predominante es el efecto de la microflora del suelo el cual se ve principalmente afectado por las propiedades físicas y químicas del mismo, la frecuencia y cantidad de aplicación, tipo de cosecha y la presencia de otros plaguicidas (Loewy, R., 2000).

En algunos casos la molécula puede ser degradada formándose así otros productos intermedios de mayor o menor toxicidad y finalmente estos pueden adsorberse al suelo y de esta forma acumularse por periodos más largos de tiempo o alcanzar sistemas mas sensibles como el subsuelo o el agua subterránea (Fournier y col, 1997). Sin embargo, la degradación puede presentar resistencia a la degradación biológica, la cual suele ocurrir con los organoclorados que mantiene su actividad por largo tiempo, o puede ser incompleta y sus metabolitos persistir en el ambiente.

Los plaguicidas pueden cambiar las propiedades químicas del suelo ya que estos se acumulan y pueden causar diversas alteraciones. La descomposición de plaguicidas que contienen átomos de nitrógeno, cloro, bromo y azufre puede conducir, directa o

indirectamente a la formación de ácidos, que reaccionen con algunos minerales del suelo para formar sales (Rozas, 1995).

Por otro lado en el sistema del subsuelo, existe una zona insaturada entre la superficie del suelo y el acuífero, donde las fuerzas capilares impulsan movimientos ascendentes del agua. En estos casos las características físicas, químicas y biológicas de la zona insaturada, las que determinan el potencial de contaminación de las aguas subterráneas.

La conversión de plaguicidas en el subsuelo no están bien estudiadas, y los procesos de degradación suelen ser más lentos que los que se producen en los suelos superficiales (Mills y col, 1999). Esto se debe a la presencia de la biomasa de la microflora autóctona, los cuales se nutren de los nutrientes orgánicos e inorgánicos presentes en el ambiente del subsuelo (Fournier y col, 1997). La temperatura a cierta profundidad se considera constante para permitir la actividad microbiana. Las condiciones de aireación son también muy importantes en la degradación de plaguicidas. Las propiedades del subsuelo como la textura condicionan procesos de adsorción de sustancias orgánicas y células microbianas, así también determinan el arreglo espacial de los constituyentes del suelo, la distribución del tamaño de los poros y de los espacios intersticiales, dando como ejemplo que un alto contenido de arcilla se asocia con baja masa microbiana, por lo que representan potenciales reservorios de contaminantes en el suelo (Loewy, R., 2000). Cuando los plaguicidas alcanzan mayores profundidades en los suelos, es importante tener presente las condiciones y características del sistema acuífero, ya que de estos dependerá la capacidad de contaminación de los plaguicidas sobre las aguas subterráneas.

1.3.2 Condiciones del sistema acuífero

Además de los factores relativos a las características del suelo y de los plaguicidas que afectan a su movimiento y transporte hacia los acuíferos la evaluación de la contaminación potencial de las aguas subterráneas debe incluir aquellas características de los sistemas que influyan en los mecanismos químicos, físicos y biológicos que afectan a los contaminantes y, por lo tanto, a la degradación de dicho sistema acuífero.

Los factores de los sistemas acuíferos que juegan un papel más importante en la contaminación potencial de los mismos por plaguicidas son:

- Profundidad del nivel del agua subterránea: A mayor profundidad el plaguicida tarda más tiempo en alcanzarla y será más factible su degradación.
- Recarga neta que recibe el acuífero: Cuanto mayor sea la recarga, mayor será el arrastre de plaguicida hacia el acuífero. Este factor considera el agua de lluvia y la de riego.
- Conductividad hidráulica: Cuanto menor sea la conductividad, menor es la velocidad del flujo de agua y mayor el tiempo para que el plaguicida se degrade.
- Material del acuífero: Principalmente el contenido de arcillas, por su influencia en la adsorción de plaguicida

1.3.3 Origen de los plaguicidas en el suelo y procesos que determinan su dinámica

La presencia de los plaguicidas en el suelo se produce por diversas vías que se encuentran representadas en la Figura 1:

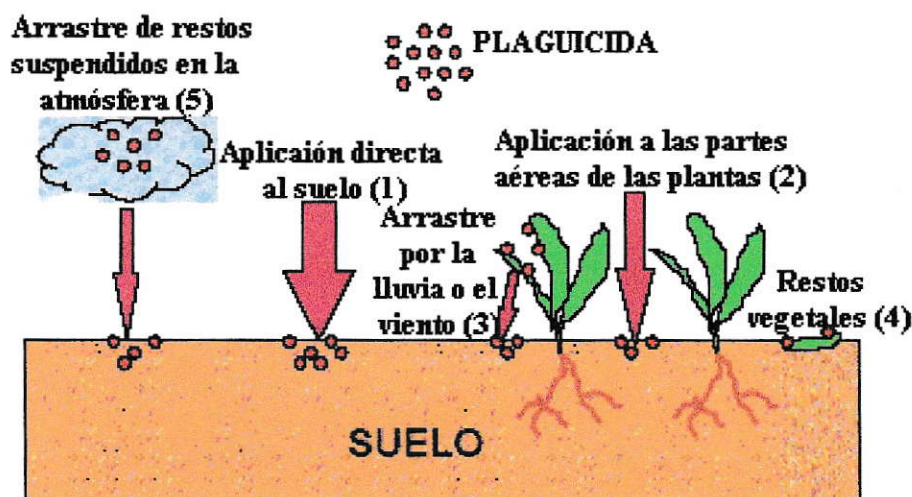


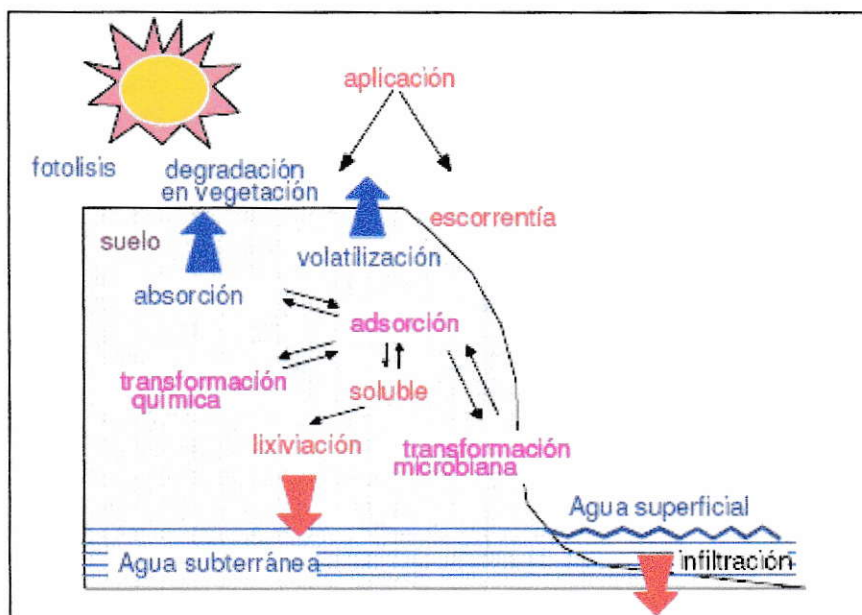
Figura 1: Origen de los plaguicidas en el suelo

Las vías principales por las que los plaguicidas llegan al suelo son su aplicación directa (1), ya sea a la superficie del suelo o incorporándolos a cierta profundidad, o cuando se aplican a las partes aéreas de las plantas (2). Como gran parte del plaguicida aplicado no alcanza el objetivo deseado, que es la planta, este se deposita sobre la superficie del suelo. También puede producirse por escorrentía por el agua o el viento del plaguicida que se ha depositado sobre la planta (3). En menor proporción, los plaguicidas pueden llegar al suelo a través de restos vegetales desprendidos o que quedan en el suelo al cosechar (4), así como por arrastre de restos suspendidos en la atmósfera por la lluvia o el viento (5).

1.4 Dinámica de los plaguicidas en el suelo

La Comisión Europea en su Directiva para el agua potable solo permite un máximo de 0.1 mg/L para cualquier pesticida aislado, y hasta 5 mg/L para la totalidad de los presentes (UNEX, página web). Ello obliga a prestar una atención especial a su dinámica en el suelo y su transito hacia las aguas.

En el suelo la dinámica de los plaguicidas esta compuesto por una serie de procesos los cuales determinan su disposición final. En la figura 2 se demuestran tales procesos.



Fuente: Grupo de Gestión de Recursos Hídricos, pág. web.

Figura 2: Procesos que determinan la dinámica de los plaguicidas en el suelo

Los diferentes procesos que están expuestos los plaguicidas u otras sustancias en los suelos se deben a la adsorción, la difusión, la penetración y la lixiviación (Navarro y col., 1992). Las diferentes sustancias contaminantes del suelo se transfieren a la atmósfera mediante fenómenos de evaporación, al agua subterránea por infiltración de

lixiviados, al agua superficial por escorrentía y a las plantas por incorporación a través de las raíces o por absorción.

Todos los procesos están interrelacionados, por lo que un conocimiento global y simultaneo de todos ellos resulta fundamental a la hora de predecir el comportamiento del plaguicida en el medio ambiente, y junto a ello, diseñar estrategias para obtener el comportamiento deseado del plaguicida, es decir, una máxima eficacia del plaguicida y un mínimo impacto ambiental.

Tabla 2: Principales factores involucrados en la dinámica de los plaguicidas

Componente ambiental	Procesos	Factores
Suelo	Adsorción Difusión Lixiviación	Coefficiente Octanol / Agua, coeficiente adsorción del suelo. Temperatura ambiente, presión de vapor, humedad relativa, precipitaciones Solubilidad, coeficiente partición del plaguicida, coeficiente adsorción, pendiente
Biota	Absorción	Tipo de suelo; tipo de cultivo; condiciones climáticas, grado de contaminación, propiedades físico químicas del plaguicida
Atmósfera	Volatilización	Presión de vapor del plaguicida, superficie del suelo

Fuente: Olave, 2001

El *lixiviado* hacia el acuífero es un fenómeno complejo en el que intervienen numerosos procesos que ocurren tanto en la capa edáfica, como en la zona no saturada. La solubilidad en el agua es el primer factor a considerar en el proceso de lixiviado de los plaguicidas. Los compuestos organoclorados son poco solubles en agua debido a su carácter polar, y los organofosforados son, en general, más solubles.

La *volatilización* es el flujo del compuesto hacia la fase atmosférica, y esta regido por la ley de Henry la cual depende de la presión de vapor del compuesto, por lo tanto compuestos con alta presión de vapor tenderán a volatilizarse, excepto que sean muy solubles en agua. Condiciones climáticas como temperaturas y viento también influyen en el grado de volatilización.

Un factor importante para poder predecir la posible influencia de los contaminantes en las aguas subterráneas, es analizando cómo el suelo los retiene para evitar su lixiviación. La *adsorción* de los plaguicidas al suelo es uno de los procesos que afecta principalmente en la movilidad de estos. La adsorción de un plaguicida por el suelo es su tendencia a adherirse a las partículas del suelo. Una de las maneras para predecir este comportamiento es estudiar las isothermas de adsorción de los suelos frente a los plaguicidas en estudio, y se define como la razón entre la concentración del plaguicida en el suelo y la concentración del mismo en agua. Las partículas de arcilla y materia orgánica del suelo son los que determinan su movilidad en la solución y se expresa como el coeficiente de reparto (K_d), una primera aproximación de la isoterma lineal, expresándose como:

$$K_d = C_s/C_e \quad (1)$$

Donde C_s es la concentración en la fase adsorbida (mg/kg) y C_e la concentración en la fase acuosa en equilibrio (mg/L).

La retención del plaguicida debido a la adsorción por el suelo puede disminuir o eliminar la cantidad disponible para el transporte. La adsorción tiende a disminuir el nivel de degradación de los químicos orgánicos reduciendo su disponibilidad a los ataques de los microorganismos (Ogram y col, 1985). Por esta razón que la

determinación cuantitativa de la adsorción de los pesticidas en los suelos es esencial para comprender el transporte de ellos en un sistema en equilibrio suelo-agua. El contenido de arcillas presenta una alta capacidad de adsorción frente a plaguicidas cargados positivamente. Por otro lado la materia orgánica contribuye en la adsorción y afecta la bioactividad, bioacumulación, biodegradabilidad, lixiviabilidad y volatilidad de estos productos. La importancia de la materia orgánica en los procesos de adsorción de plaguicidas ha generalizado el uso del denominado coeficiente de reparto normalizado (K_{oc}) respecto al contenido de carbono orgánico (OC), definido como:

$$K_{oc} = (K_d / \%OC) * 100 \quad (2)$$

La expresión del coeficiente de reparto K_{oc} predice la adsorción de un contaminante independiente de la fuente y propiedades del carbono orgánico. La materia orgánica de diferentes fuentes puede diferir en su aromaticidad, polaridad y sus sitios superficiales específicos disponibles para interactuar con los compuestos orgánicos débilmente polares (Loewy R.M, 2000).

La materia orgánica presente en los suelos es en general la propiedad mas importante que afecta la adsorción de los plaguicidas, pero a su vez el pH, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de arcilla y el tipo de suelo también son importantes (Kahn, 1978; Weber y Miller, 1989). Mientras el pH disminuye, se forman mas especies moleculares aumentando así la adsorción. Esto sucede porque las especies moleculares menos solubles se unen mas fuertemente en la fracción lipofílica de la materia orgánica de los suelos que las especies aniónicas mas solubles, las cuales son repelidas por la carga negativa de los coloides del suelo (Frissel y Bolt, 1962; Weber, 1970, 1994).

Cuando la adsorción es muy baja los productos son susceptibles de ser lavados, provocando contaminación de las aguas freáticas; esto suele ocurrir en los suelos de cultivo muy pobres en materia orgánica. Por el contrario, una adsorción muy elevada puede hacer que no lleguen a ser eficaces y que permanezcan largo tiempo en el suelo, lo que suele ocurrir cuando los contenidos en materia orgánica de los suelos son altos.

La *transformación* es el proceso que determina el comportamiento de los plaguicidas y depende de la reactividad química de cada compuesto. Conduce a cambios en su estructura química por reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis, sustitución o eliminación de grupos funcionales, o también a la fragmentación de la estructura dando lugar a compuestos inorgánicos como productos finales de la reacción (CO_2 , H_2O , haluros, amonio, fosfato, etc.). En este último caso, el proceso global se conoce como *degradación*. La transformación puede tener lugar por vía química, fotoquímica o bioquímica, siendo ésta última la predominante en suelo, debido a la actividad de microorganismos

La *biodegradación* puede ser definida como cualquier transformación estructural en el compuesto original inducida biológicamente y 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. Según sea el compuesto y/o el factor dominante, tendremos una reacción oxidante, reductora, hidrolizadora o de polimerización. Se han utilizado un gran número de modelos más o menos complejos para cuantificar la degradación de los plaguicidas en suelos y aguas. El más común es el denominado modelo cinético de primer orden que describe la degradación del plaguicida en función del tiempo:

$$r = dC/dt = -kt*C \quad (3)$$

Siendo r = degradación (mg/g/día), C concentración de pesticida (mg/g), t (días) y kt coeficiente de degradación (1/día). Otra forma más conveniente de cuantificar dicho efecto es mediante la vida media $t_{1/2}$ (días), donde $t_{1/2} = 0,693/kt$. El término vida media se define como el tiempo necesario para reducir a la mitad la concentración de un determinado compuesto. Los valores de $t_{1/2}$ calculados para un determinado plaguicida pueden obtenerse a partir de las numerosas tablas publicadas. Cabe destacar que estos valores, corresponden a medidas realizadas a una temperatura y contenido de humedad específico y normalmente a una actividad microbiana óptima. Sin embargo la biodegradación tiende a disminuir en suelos secos y cuando la temperatura disminuye (debido al descenso de la actividad microbiana). Por esta razón, para un determinado compuesto cabe la posibilidad de poder encontrar un rango de variabilidad de $t_{1/2}$ importante, que en algunos casos puede llegar a alcanzar varios órdenes de magnitud.

Cuando un plaguicida resiste los procesos de transformación y además no se evapora será muy persistente, tendrá un periodo de semidegradación muy largo y un alto potencial para contaminar las aguas subterráneas. Esto es particularmente cierto si el mismo plaguicida es altamente soluble en agua y no permanece adsorbido en el suelo. En general, los plaguicidas con vidas medias superiores a 2 o 3 semanas deben ser estudiados como potenciales contaminantes de las aguas subterráneas.

1.4.1 Otros factores que afectan el movimiento de los plaguicidas

Otros factores que afectan al transporte de los plaguicidas son las condiciones climatológicas y ambientales. El grado e intensidad en que un plaguicida puede infiltrarse a través del suelo hacia las aguas subterráneas, depende en gran parte de factores climáticos externos, como lo son la temperatura ambiente, el régimen de lluvias y el régimen de vientos.

Las elevadas temperaturas provocan una mayor tasa de volatilización de las sustancias. Además, a elevadas temperaturas la actividad bacteriana se incrementa aumentando con ello la inactivación de los plaguicidas.

La radiación solar afecta principalmente a los plaguicidas fotolábiles sensibles. Estos se decomponen a la luz solar, pudiendo también degradarse en compuestos que pueden ser mas estables a esas condiciones.

La lluvia elimina el plaguicida del lugar donde fue aplicado mediante fenómenos de escorrentía superficial e infiltración. La escorrentia superficial depende del grado de pendiente del suelo, a mayores pendientes, la escorrentía aumenta. También depende de la naturaleza y persistencia del plaguicida, las características hidrológicas, tipo de suelo y vegetación, así también como el método y aplicación del compuesto. A su vez también el agua puede infiltrarse a través del suelo llevando consigo los contaminantes, y si estos son lo suficientemente persistentes, llegar a las aguas subterráneas.

Finalmente el régimen y velocidad de los vientos actúan favoreciendo las pérdidas de plaguicida por volatilización, aumentando su dispersión en el medio ambiente.

1.4.2 Características del suelo que influyen en los diferentes procesos de la dinámica de los plaguicidas

Según estudios realizados por J. Cornejo (2001), algunas de las características más importantes que influyen en estos procesos son las características coloidales de los suelos.

Desde una perspectiva físico-química, el suelo posee un sistema disperso de tres fases: líquida, sólida y gaseosa. Desde el punto de vista de la adsorción, la fase sólida es la de mayor importancia, y dentro de esta las fracciones coloidales mineral (arcilla) y orgánica. Los componentes coloidales (partículas inferiores a 2 μm) por su elevada superficie específica y reactividad superficial, son los principales responsables de las interacciones entre la fase sólida del suelo y sustancias como los plaguicidas. Los coloides minerales más importantes referidos a la adsorción son los óxidos e hidróxidos cristalinos y amorfos y los minerales de arcilla. La arcilla sufre expansión al hidratarse, apareciendo a veces una superficie interna entre la lamina expansionada, en donde se pueden adsorber las moléculas de plaguicida. La capacidad del plaguicida para adsorberse depende de su naturaleza y de las características de la superficie con la que interacciona.

Los minerales de arcilla más importantes en lo que respecta a su capacidad de adsorción son la montmorillonita y la vermiculita, ya que presentan una alta capacidad de intercambio catiónico y un espacio interlaminares accesible y expandible.

La estructura de las arcillas consiste en una alternancia de capas tetraédricas formadas por anillos hexagonales de tetraedros de silicatos (SiO_4) y capas octaédricas constituidas por láminas de cationes unidas a grupos hidróxidos (OH). La sustitución en esas capas

de Si (IV) por Al (III) y de Al (III) por Mg (II) produce una deficiencia en cargas positivas. Esta tiende a ser compensada por adsorción de cationes mayor o menor según las sustituciones realizadas.

En la superficie de las arcillas existe carga estática que resulta de sustituciones isomórficas, lo que lleva a que los sólidos minerales adquieran cargas influenciadas por el pH del medio y su disociación con los grupos hidroxilos de la superficie. La magnitud de la capacidad de intercambio catiónico tendera a aumentar con el pH.

Por otro lado los coloides orgánicos (humus) desempeñan al igual que la arcilla un importante papel en la adsorción de los plaguicidas. El humus es un material muy heterogéneo, constituido por un conjunto de sustancias altamente polimerizadas, de alta masa molar, con grupos funcionales muy variados y una carga superficial negativa dependiente del pH. Poseen un doble carácter, hidrofílico e hidrofóbico, aunque su estructura y muchas de sus propiedades no son aún muy conocidas.

Dependiendo de su solubilidad en ácido y álcali se las agrupa en tres grupos: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. Para plaguicidas hidrofóbicos y sin carga, la capacidad de adsorción de las sustancias húmicas del suelo suele ser muy superior a la de los componentes minerales.

En la figura 3 se muestran las diferentes formas en que una molécula puede encontrarse en la proximidad de una partícula en un medio acuoso. Las que se encuentran retenidas en la superficie externa son mas susceptibles a sufrir degradaciones que las que se encuentran retenidas en los microporos, donde son poco accesibles a microorganismos o soluciones que puedan extraerla y considerándose estas moléculas como mas persistentes y estables.

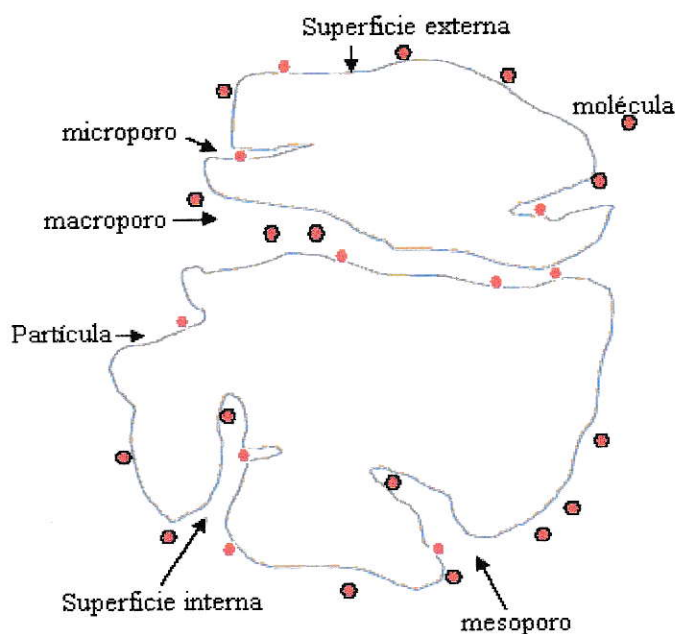


Figura 3: Posibles interacciones de plaguicidas y partículas de suelo

Según Weber (1972), bajo condiciones de elevada humedad, la adsorción de los pesticidas al suelo es baja porque las moléculas de agua desplazan a las moléculas de pesticida de los lugares de adsorción. Así también los compuestos con una solubilidad en agua de 10 mg/L o mayores se transportan en solución con la escorrentía, mientras que aquellos que son menos solubles se transportan adsorbidos a las partículas de materia. A mayor solubilidad en agua, mayor movilidad.

1.5 Agroquímicos

En la actualidad no es posible desarrollar una agricultura con altos rendimientos sin la utilización de medidas de protección de plantas, entre las cuales los plaguicidas químicos siguen teniendo una participación significativa, aunque los enfoques han cambiado considerablemente. Hoy se concibe el uso de los plaguicidas enmarcado dentro de un manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, lo que obliga a conocer profundamente las propiedades de estos compuestos, sus residuos en los cultivos y en el medio, así como sus aspectos toxicológicos.

El empleo sistemático de plaguicidas en la agricultura se inicio hace algo más de cien años y su consumo ha ido aumentando, sobre todo a partir de 1939 en que Muller descubrió las propiedades insecticidas del DDT ($C_{14}H_9Cl_5$) producto sintetizado en el siglo XIX por Zeidler). El comienzo de los plaguicidas sintéticos comenzó durante la década de 1940 y favoreció al incremento de la producción alimentaria. También contribuyo a la salud humana a través del control de insectos vectores de enfermedades. Luego a partir de 1960 comenzaron a manifestarse los impactos adversos de estos sobre el medio ambiente y la salud humana (Loewy R., 2000). Actualmente la producción mundial es de unos diez millones de toneladas, y mas del ochenta por ciento se produce en Europa y EE.UU. (López J.A, 1992).

Aunque de la cantidad aplicada, la que toma contacto directo con el objetivo es solo un porcentaje mínimo, por lo que es probable encontrar especies, comunidades o ecosistemas completos con efectos colaterales indeseables.

Los plaguicidas son el grupo mas amplio de químicos potencialmente tóxicos que se han introducido voluntariamente al medio ambiente, e incluyen insecticidas, herbicidas,

fungicidas, entre otros (Loewy R., 2000). Pueden llegar a ser desde compuestos no tóxicos para mamíferos, pasando por otros con un significativo potencial para la toxicidad crónica hasta compuestos altamente tóxicos.

1.5.1 Insecticidas

La mayoría de los insecticidas ejercen su efecto sobre el sistema nervioso central de los insectos. Y este mecanismo de toxicidad es similar para mamíferos, dado que el sistema nervioso es uno de los más conservados a lo largo de la evolución, por lo tanto casi la única selectividad que existe está en función de la dosis aplicada.

1.5.1.2 Organofosforados

Son moléculas complejas que contienen fósforo, siendo su estructura general como se aprecia en la figura siguiente:

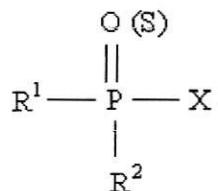


Figura 4: Estructura química general de los organofosforados

Donde los grupos R^1 y R^2 pueden ser alcoxi, alquil, aril o amida, y el grupo X es generalmente un grupo carboxilante, cianuro, tiocianato, fosfato, haluro, fenoxi o tiofenoxido.

a) Metamidofos

Metamidofos es frecuentemente utilizado en la Isla de Pascua especialmente sobre los cultivos de hortalizas.

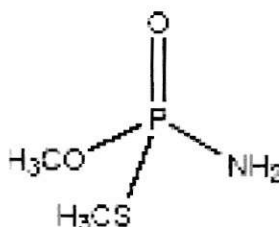


Figura 5: Estructura de nombre IUPAC Acido tiofosforamídico

Tabla 3: Principales propiedades de Metamidofos

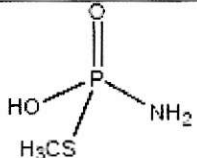
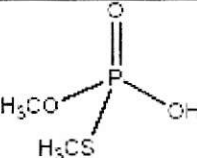
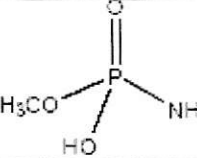
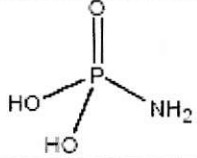
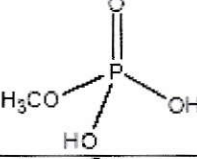
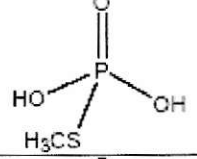
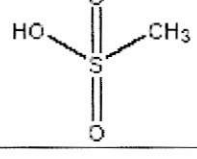
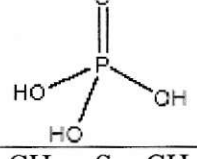
Nombre químico (IUPAC)	Acido tiofosforamídico
Grupo químico	Organofosforado
Masa molecular	141,1
Clasificación por tipo de uso	Insecticida
Modo de acción	Sistémico, contacto e ingestión
Categoría de Toxicidad EPA	I Sumamente Peligroso
Toxicidad oral LD50 (mg/kg)	entre 10 -50
Toxicidad dérmica LD50 (mg/kg)	entre 50 -110
Punto de fusión (°C) material puro	44,5
Solubilidad en agua (mg/l)	$> 2,0 \cdot 10^5$
Densidad relativa (g/cm³)	1,17 a 20°
Presión de vapor (mPa a 25°C)	4,7
Coefficiente de reparto octanol/agua como log Kow	Entre -0,66 y - 0,8
Persistencia (días)	Entre 1,9 (suelo arcilloso) a 12 días (suelo franco arenoso) (EPA, 1989)
Hidrólisis	pH 4: $t^{1/2}$ aprox. 124 h. a 70° pH 7: $t^{1/2}$ 137 h. a 20°C pH 9: $t^{1/2}$ 85 h. a 20°C
Cancerígeno	C: Posible cancerígeno

Fuente: FAO, pagina web.

Metamidofos es degradado rápidamente por los microorganismos del suelo. Sufre hidrólisis rápidamente a pHs alcalinos, y es estable a pH entre 3 y 8. Este compuesto afecta el sistema nervioso inhibiendo la acetilcolinesterasa, que es una enzima esencial

para la transmisión de los impulsos nerviosos. Los principales productos de degradación de Metamidofos se forman principalmente por hidrólisis de la molécula, estos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4: Principales productos de degradación de Metamidofos

Metabolitos	Estructura	Metabolitos	Estructura
S-metilfosforamidotioato		O,S-dimetilfosforotioato	
O-metilfosforamidato		Acido amidofosfórico	
Monometilfosfato		Acido S-metiltiofosfórico	
Ácido metanosulfúrico		Ácido fosfórico	
Metanol	CH ₃ OH	Dimetilsulfato	CH ₃ – S – CH ₃
Sulfato	SO ₄ ²⁻	Metano	CH ₄
Metil mercaptan	CH ₃ – SH	Acido fórmico	HCOOH
Dimetil disulfato	CH ₃ – S ₂ – CH ₃	Dióxido de carbono	CO ₂

Fuente: FAO, 2003 (página web)

La principal vía de degradación de Metamidofos en los suelos es mediante hidrólisis y por microorganismos. Los metabolitos producidos son en mayor proporción son el S-

metilfosforamidotioato, dimetildisulfato. Metamidofos es estable a hidrólisis a pH bajo, pero va rápidamente degradándose a medida que este aumenta, por lo tanto la tasa de degradación mediante hidrólisis es dependiente del pH (Chopade, 1985). Este también se volatiliza en los suelos por fotólisis e hidrólisis a metil mercaptan, dimetildisulfato, dimetilsulfato y dióxido de carbono.

b) Dimetoato

Al igual que Metamidofos, Dimetoato también es frecuentemente utilizado en la Isla de Pascua para el control de ciertas plagas que afectan los cultivos de hortalizas principalmente.

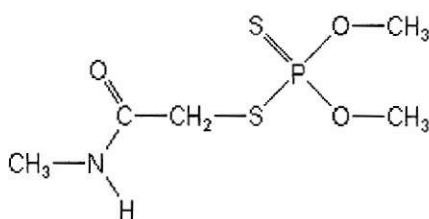


Figura 6: Estructura de nombre IUPAC O,O-dimetil S-(N-metilcarbamoilmetil) fosforoditioato

Tabla 5: Principales propiedades de Dimetoato

Nombre químico (IUPAC)	O,O-dimetil S-(N-metilcarbamoilmetil) fosforoditioato
Grupo químico	Organofosforado
Masa molecular	229,3
Clasificación por tipo de uso	Insecticida
Modo de acción	Sistémico
Categoría de Toxicidad EPA	II moderadamente toxico
Toxicidad oral LD50 (mg/kg)	500 – 600
Toxicidad dérmica LD50 (mg/kg)	353
Punto de fusión (°C) material puro	45-47°
Solubilidad en agua (mg/l)	25000

Continuación Tabla 5: Principales propiedades de Dimetoato

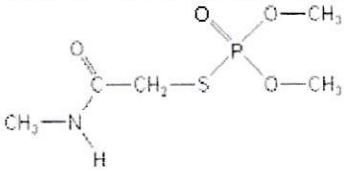
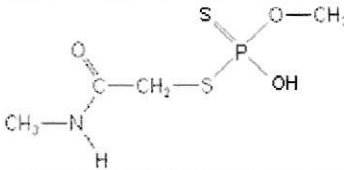
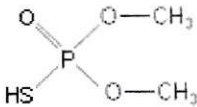
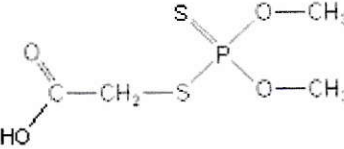
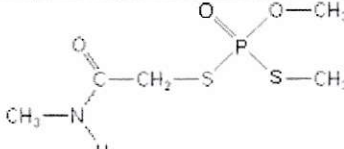
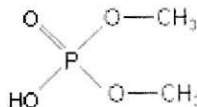
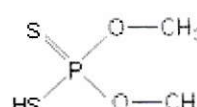
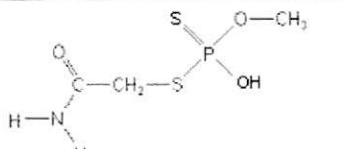
Densidad relativa (g/cm³)	1,3
Presión de vapor (mPa a 25°C)	1,1
Coefficiente de reparto octanol/agua como log Kow	0,5 - 0,8
Persistencia (días)	De 4 a 20 días
Hidrólisis (tiempo de vida media estimado a 25°C)	pH 5: 158 días pH 7: 68 días pH 9: 4,4 días
Cancerígeno	Grupo C: Posible cancerígeno

Fuente: U.S. EPA, 2006

Dimetoato se clasifica como muy soluble en agua y con una persistencia media. En algunos estudios se ha encontrado que este compuesto ha llegado a tener un tiempo de vida media de hasta 122 días (5d EPA, 2006). Este compuesto se hidroliza fácilmente a pHs más básicos, siendo más estable a pHs ácidos y neutros. Es un inhibidor de la enzima acetilcolinesterasa.

Al contrario que Metamidofos, este compuesto posee un doble enlace fósforo – azufre, lo que lo hace relativamente menos tóxico para los humanos que Metamidofos. Pero los insectos, tienen la capacidad de reemplazar el átomo de azufre por uno de oxígeno, esto se produce por una desulfuración oxidativa formándose así el inhibidor de la acetilcolinesterasa (Pessoa D., 2005).

Tabla 6: Principales productos de degradación de Dimetoato

Metabolitos	Estructura	Metabolitos	Estructura
Ometoato O,O-dimetil S- fosforotioato		Desmetil dimetoato	
O,O-dimetil fosforotioato		Acido carboxílico dimetoato	
Isodimetoato		Acido dimetilfosfórico	
Dimetilditio- fosfato		O-desmetil N- desmetil ometoato	

Los principales metabolitos de Dimetoato son desulfuraciones oxidativas e hidrólisis. Ometoato (O,O-dimetil S-fosforotioato) es un metabolito análogo oxigenado de Dimetoato, y juega un importante rol en la toxicidad para los insectos y mamíferos. Este también es usado como insecticida. La degradación hidrolítica del Dimetoato es el camino principal de inactivación de este en el medio ambiente. Los productos de degradación formados principalmente por hidrólisis a pH 9 son O-desmetildimetoato y O,O-dimetil fosforotioato, a pH 5-7 es O-desmetildimetoato..

1.5.2 Fungicidas

Los fungicidas representan los de mayor riesgo potencial para el ser humano, dado que alrededor del 90% de los fungicidas usados en la actualidad o en el pasado reciente han probado tener efectos cancerígenos sobre los animales de experimentación (Saunders y Harper, 1994). Entre los diferentes grupos de fungicidas estos se clasifican en los siguientes grupos: bencenos sustituidos, tiocarbamatos, etilen-bis-ditiocarbamatos, tioftalamidas, compuestos de cobre, organomercurios, organoestáñicos, compuestos de cadmio y fungicidas orgánicos diversos.

El modo de acción de los fungicidas es variado. Los de acción sistémica se mueven dentro de los espacios extracelulares, paredes celulares y elementos del xilema gobernados por difusión y tasa de transpiración. Actúan sobre funciones bioquímicas específicas y también hay algunos que interfieren en el metabolismo de bases nitrogenadas o ácidos nucleicos. Y los de modo de acción indirecta disminuyen la patogenicidad del hongo y aumentan las defensas de las plantas. Hay otros de acción no sistémica los cuales no penetran en la planta, quedan depositados sobre la superficie de las hojas y frutos. Requieren una cobertura completa del follaje. Generalmente actúan inhibiendo múltiples funciones celulares ya que se unen a grupos químicos de las enzimas (Mitidieri M., 2006).

1.5.2.1 Bencenos sustituidos

La principal acción tóxica de los bencenos clorados la ejercen sobre el sistema nervioso, interfiriendo con el flujo de cationes a través de membranas de las células nerviosas, aumentando la irritabilidad de las neuronas. Su modo de acción incluye la combinación de este con una molécula llamada glutatión dentro de las células de los hongos. Mientras estas se van adhiriendo, van quedando las enzimas dependientes del glutatión sin poder realizar su función. Una variada cantidad de enzimas que participan en la respiración celular, proceso que aporta energía a las células, son dependientes del glutatión. Por lo que los efectos tóxicos de clorotalonil se caracterizan por inhibir este proceso.

a) Clorotalonil

Clorotalonil es el fungicida de mayor uso en la Isla de Pascua. Es utilizado principalmente sobre las hortalizas de los cultivos agrícolas.

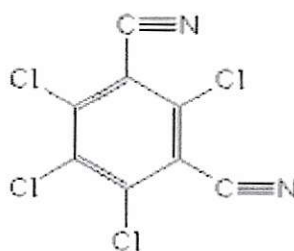


Figura 7: Estructura de nombre IUPAC 2,4,5,6-tetracloroisofталонitrilo

Tabla 7: Principales propiedades de Clorotalonil

Nombre químico (IUPAC)	2,4,5,6-tetracloroisofalonnitrilo
Grupo químico	Bencenos sustituidos
Masa molecular (g/mol)	265,9
Clasificación por tipo de uso	Fungicida
Modo de acción	Fungicida foliar, no sistémico con acción protectora.
Categoría de Toxicidad EPA	II Moderadamente tóxico
Toxicidad oral LD50 (mg/kg)	> 3000
Toxicidad dérmica LD50 (mg/kg)	> 2000
Punto de fusión (°C) material puro	250-251
Solubilidad en agua (mg/l)	0,6
Densidad relativa (g/cm³)	1,345
Presión de vapor (mPa a 25°C)	0,076
Coefficiente de reparto octanol/agua como log Kow	2,88 – 3,86
Persistencia (días)	10 – 60
Hidrólisis (tiempo de vida media estimado a 25°C)	A pH < 7 no se observa hidrólisis pH 9: 38,1 días
Cancerígeno	Grupo B2: Probablemente Cancerígeno (suficiente evidencia en animales pero no en humanos)

Fuente: WHO, 1996 (página web)

Los metabolitos producidos en el hígado, como los generados en el riñón se convierten en tioles por la acción de la enzima β -liasa. Muchos de estos tioles son citotóxicos y ejercen efectos tóxicos en el sitio donde son generados (Martínez, 2001).

Los productos de degradación que se forman principalmente por hidrólisis a pH > 9 de la molécula de Clorotalonil son 4-hidroxi-2,5,6-tricloroisofalonnitrilo y 3-ciano-2,4,5,6-tetracloro-benzamida (ISK Biosciences, 1995).

Tabla 8: Principales productos de degradación de Clorotalonil

Metabolitos	Estructura	Metabolitos	Estructura
4-hidroxi-2,5,6-tricloroisoftalonitrilo		3-ciano-2,4,5,6-tetracloro-benzamida	
3-ciano-6-hidroxi-2,4,5-tricloro benzamida		Isoftalonitrilo	
4-tio-2,5,6-tricloroisoftalonitrilo		4-metil-2,5,6-tricloroisoftalonitrilo	
2,5,6-tricloroisoftalonitrilo		4-metoxi-2,5,6-cloroisoftalonitrilo	

La persistencia del 4-hidroxi-2,5,6-tricloroisoftalonitrilo es mayor que Clorotalonil con valores en el rango de 36 días en suelos arenosos, hasta 220 días en suelos predominantemente arcillosos (Wolfe y col, 1968). Este compuesto es treinta veces más tóxico que clorotalonil, y como es más persistente también, es por lo tanto un compuesto muy estable, y por ende un potencial contaminante de las aguas subterráneas.

HIPOTESIS

Debido a la naturaleza de los suelos de la Isla de Pascua y de la constante aplicación de plaguicidas en zonas agrícolas se espera encontrar residuos de plaguicidas en concentraciones que pueden afectar al medio ambiente y lixiviar a las napas subterráneas.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las concentraciones de residuos de plaguicidas en suelos de Isla de Pascua de modo de evaluar los posibles efectos de este contaminante sobre el medio ambiente y su posible lixiviación a las napas subterráneas.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar la población objetivo para la realización de encuestas. Se empleará técnicas de planificación territorial para establecer las áreas de estudio y así identificar la población objetivo para los análisis químicos.
- Elaborar un catastro sobre los agroquímicos empleados en las distintas áreas de objetivo en estudio.
- Caracterizar los residuos de plaguicidas en Isla de Pascua en función del tipo de suelo y de sus propiedades.
- Evaluar las condiciones físicas y químicas obtenidas con los análisis anteriores para poder verificar la posible lixiviación de los pesticidas.
- Entregar las recomendaciones necesarias para un mejor manejo de los problemas ambientales, asociados a la agricultura.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Descripción del lugar

La Isla de Pascua se encuentra en el extremo oriental de la polinesia en el océano pacífico sur. Se ubica en la latitud 27° 9' Sur y longitud 109° 27' Oeste, a 3.700 km de la costa de Chile continental frente a Caldera, y a unos 4.200 km al sur-este de Tahiti. Esta ubicación le confiere la particular característica de ser uno de los territorios insulares habitados más aislados del mundo. Actualmente posee una población de 3.991 habitantes (INE censo 2002) y su capital es el poblado de Hanga Roa.

La Isla de Pascua tiene una forma triangular con una superficie aproximada de 166 km² teniendo a cada lado una distancia de 16, 17 y 24 km. aproximadamente. Posee 3 volcanes principales en cada vértice, que por resultado de su erupción y con los procesos naturales de erosión marina, formaron la isla. A pesar de ser de origen volcánico, se distingue del resto de las islas altas de la polinesia por poseer relieves de suaves lomajes, costas rocosas y accidentadas, y la altura máxima apenas supera los 500 m.s.n.m., en uno de los conos volcánicos.

A la llegada de los primeros colonizadores europeos, describieron la isla como semidesértica y carente de árboles. Pero estudios palinológicos realizados en la posteridad demostraron que esta poseía una rica flora y que la vegetación era de bosques, donde las más importantes fueron el Toromiro (*Sophora toromiro*), el Hau Hau (*Triumfetta semitriloba*), Palmas y Makoi (*Thespesia populnea*), además de diferentes

especies herbáceas y helechos. Pero debido a la sobreexplotación y al aumento de la población, estos fueron disminuyendo en cantidad, y muchos de ellos ya no se encuentran presentes. La deforestación de la Isla de Pascua que ocurrió antes de la llegada de los primeros navegantes (1722), más el aumento de la población, hizo el sistema insostenible sobrepasando probablemente la capacidad de carga de la isla, lo que hizo colapsar el sistema, produciendo un fuerte impacto en el medio ambiente.

3.1.2 Marco Geomorfológico

La Isla de Pascua es de origen volcánico, y en términos geológicos es considerada como muy joven, ya que los eventos eruptivos más antiguos datan de hace tan solo 3,0 millones de años y la última hace aproximadamente 1.600 años antes del presente.

3.1.3 Suelos

En la mayor parte de la isla la característica de los suelos superficiales corresponden a materiales limo arenosos, evolucionados a partir de depósitos de ceniza volcánica. Con características similares a lo “trumaos” (Andisoles) de la zona sur del país, como el color, textura y estructura. Tienen tonalidades de castaño a rojizos ferruginosos, con espesores de 1,5 a 2,5 m. Son suelos sueltos y poco compactos, polvorientos cuando están secos, y ligeramente plásticos en condición húmeda.

3.1.4 Recursos de aguas subterráneas

La información detallada a continuación corresponde al estudio realizado por la Comisión Nacional de Riego. La Isla de Pascua cuenta con importante potencial de aguas subterráneas, las que se encuentran en extensos sistemas acuíferos, ya sea en depósitos piroclásticos como en unidades rocosas. Los depósitos piroclásticos deben entenderse como acopios de materiales sedimentarios de variada granulometría; desde gravas a limos arcillosos, asociados al transporte gravitacional-hídrico de elementos clásticos de origen primario volcánico. Los suelos volcánicos son altamente permeables, y el subsuelo posee grietas y cavernas de lava, por lo que las precipitaciones se infiltran con facilidad, siendo escasos los escurrimientos superficiales (solo durante precipitaciones intensas se observan escurrimientos superficiales en algunos lugares). Los elementos clásticos aportan una propiedad de efectiva permeabilidad, lo que determina su capacidad para experimentar recargas, almacenar, transmitir y controlar la extracción de agua subterránea. Estas se forman cuando los materiales de lava escurren sobre la superficie como coladas y al solidificarse desarrollan porosidades. La permeabilidad de estos sistemas acuíferos por lo tanto se van desarrollando por la fuerza que ejercen las mareas en los niveles estáticos.

El agua subterránea se deposita en extensos acuíferos de geometría lenticular, el cual esta constituido por depósitos y rocas volcánicas, con elevadas permeabilidades. Su altura máxima esta en la parte central de la isla, y el mínimo de altura en el borde litoral, donde se produce su contacto o descarga al mar. Resultado de esta geometría, determina que el flujo subterráneo se produzca en forma radial, desde el centro hacia el borde litoral.

El volumen de agua dulce almacenado en la Isla de Pascua se sitúa en el rango de 30 a 150 millones de m³, con recargas anuales que se estiman de alrededor de 100 millones de m³/año. La recarga de agua ocurre por infiltración directa de las aguas lluvias, y cuando el agua en el suelo supera la capacidad de campo. La explotación actual de pozos registran caudales medios de 30 a 50 L/s, menos del 2% de la recarga que se estima en 3.000 L/s, por lo que las extracciones de agua para el suministro de agua potable para la población no provocan variaciones en los niveles estáticos.

La profundidad del nivel de saturación del agua subterránea, medida en metros, tiende a coincidir con la cota del suelo en cada punto de la isla, porque el nivel de saturación se encuentra muy cercano al nivel del mar.

3.1.5 Meteorología y clima

El clima de la isla es tipo subtropical con influencia oceánica, con precipitaciones distribuidas a lo largo del año (DMC, 2001). La temperatura media anual es de 20,8 °C, siendo la máxima media de 28,4 °C en Enero, el mes mas calido junto a Febrero. La temperatura mínima media ocurre entre los meses de Julio y Agosto. Los contrastes térmicos son atenuados por la inercia térmica del océano.

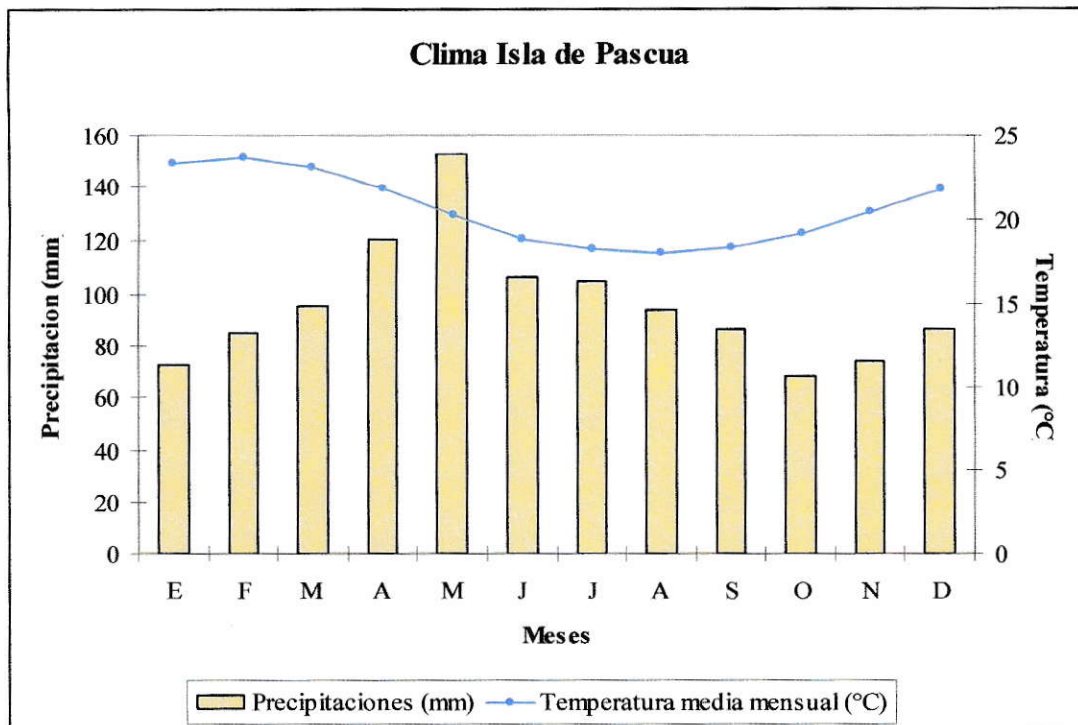


Figura 8: Climatograma Isla de Pascua

La influencia del mar y la mayor temperatura, que permite un mayor contenido de humedad atmosférica, se dejan ver claramente en los altos niveles de humedad que registra la zona, a través de todo el año, con valores que no descienden de 77%. Las precipitaciones ocurren durante todo el año, y estas están asociadas a la convergencia del Pacífico sur (ZCPS), registrándose una precipitación media anual entre los 1.100 y 1.300 mm, para un año normal. El máximo de precipitaciones ocurre en invierno, y son de origen frontal en conexión con vaguadas profundas y bajas segregadas (Torres, 1996). Las precipitaciones no son uniformes en toda la isla, ya que a pesar de su poca superficie, se observan en diferentes sectores, variaciones en cuanto a la cantidad de precipitaciones.

3.2 Metodología de encuesta

Para realizar las encuestas se seleccionaron los predios de tamaño y productividad significativa y aquellos que estaban cultivando durante el periodo en estudio. Todos los predios seleccionados comercializaban sus productos en el mercado interno. La encuesta fue de carácter anónima para no afectar la comodidad de los agricultores y se realizó a modo de conversación abierta y no estructurada para así crear menos resistencia. Junto a esto se permitió profundizar en los intereses y problemas de los agricultores. La finalidad de esto fue establecer que tipo de plaguicidas se empleaban dentro de los cultivos de las hortalizas, las cuales eran los productos mayoritarios en la época de estudio.

3.2.1 Análisis de encuesta

Se generó una base de datos procedente del análisis de las respuestas obtenidas de la encuesta a los propietarios agrícolas. Se determinó la distribución de los plaguicidas por número de predios y la época de aplicación de los plaguicidas.

3.3 Definición de los plaguicidas a monitorear y predios seleccionados

Para definir que plaguicidas se deben monitorear se determinaron previamente 3 parámetros para evaluar el riesgo de los plaguicidas para el medio ambiente y su posible lixiviación: categoría de toxicidad, número de propietarios que aplicó el producto (carga), y los que estaban utilizando los plaguicidas entre los meses de abril y mayo. Se generó una matriz con los datos y se les clasificó según su categoría de mayor a menor importancia. Finalmente se evaluó el riesgo asociado, y se determinó los plaguicidas a

monitorear.

3.4 Georeferenciación

Los predios fueron georeferenciados mediante el uso del GPS (Garmin, modelo E-trex Euro). A cada predio se le determinó su punto georeferencial medidos en coordenadas UTM, luego los datos fueron llevados al computador usando el programa GIS ARCVIEW, donde se realizaron los respectivos mapas.

3.4.1 Datos cartográficos para caracterizar los predios seleccionados

La cartografía SIG, que caracteriza el territorio tales como la erosión, sensibilidad del suelo, clase de suelo, aptitud del suelo, erodabilidad, altura y puntos de extracción de aguas subterráneas para el consumo, fueron proporcionados por el Instituto Geográfico Militar, y CONADI, donde éste último facilitó el Estudio de Estrategias y Acciones para la Conservación, Uso y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Patrimoniales de Isla de Pascua, realizado por la consultora AMBAR (2003), el cual poseía la información en formato digital. Los datos vinculados al SIG, facilitaran el análisis y el manejo de la información, junto con proporcionar una dimensión gráfica de los resultados en terreno.

3.5 Características generales de los plaguicidas seleccionados

Para comprender el efecto que los plaguicidas tendrán en el medio ambiente, se procedió a recopilar información de estos. Los datos provenientes de la literatura ayudarán a enfocar mejor los procesos de transporte de los plaguicidas.

3.6 Metodología de muestreo

Para la metodología de muestreo se contemplaron dos puntos básicos: (1) cuales plaguicidas monitorear y (2) donde realizar el muestreo. Con los datos proporcionados por la encuesta referentes al tipo de cultivo, época y dosis de plaguicidas aplicados por los agricultores a sus cultivos, se determinó las fechas mas propicias para la realización y toma de muestras de suelo en la Isla de Pascua, la cual fue principalmente definir la última fecha de aplicación, con un máximo de 10 días anteriores a la toma de muestras.

Se tomó aproximadamente 1 Kg. de suelo de la capa superficial (0-3 cm.) y de profundidad (50 cm.) en envases de vidrio forrados con papel aluminio, bien sellados y mantenidos en frío. Las muestras fueron compuestas, se extrajo varias submuestras en forma de zigzag (Figura 8), luego se les homogenizó y selló.

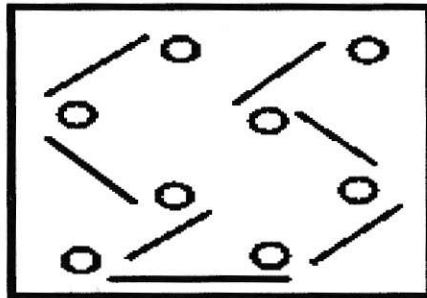


Figura 9: Forma de la toma de muestras

3.7 Determinación de las propiedades del suelo

3.7.1 Determinación de la humedad de los suelos

Se masó muestras de 5 g de cada suelo con una precisión de 0,001 g (Balanza Analítica Precisa 205 A SCS), estas fueron secadas en estufa a 105 °C durante 17 horas, se llevaron al desecador para enfriar durante 2 horas. Se masó nuevamente y se repitió el procedimiento hasta masa constante. Las muestras se realizaron en duplicado.

3.7.2 Determinación de pH y conductividad eléctrica

Se masó 10 g de suelo en vasos plásticos de boca ancha y se le agregó 25 mL de agua desionizada. Se taparon y agitaron durante 2 horas a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo se agito a mano la solución y se introdujo el pHmetro (Horiba F-21) en la suspensión y se procedió a leer pH. A la misma suspensión se le introdujo el electrodo del conductímetro (Horiba DS-12) y se le procedió a leer la conductividad y la temperatura de la suspensión para la corrección de la medida.

3.7.3 Determinación de la textura mediante método Bouyoucos

En este método, la determinación de la densidad de la solución de sedimentación por un hidrómetro (Taylor hydrometer ASTM) calibrado, entrega directamente el contenido en porcentaje de la fracción de un diámetro cualquiera.

Procedimiento

Se masó 50 g de cada suelo previamente tamizados a 2 mm, se les depositó en un vaso precipitado de 1000 mL. Luego se les agregó 500 mL de agua desionizada y 20 mL de polifosfato de sodio (MERCK) al 10% y se agitó en un durante 15 minutos. Al cumplirse el tiempo se trasvasijo el contenido a una probeta graduada de 1000 mL y se aforó a 1 L, se agitó vigorosamente con una vara de vidrio durante 1 minuto y se dejó reposar por 4 minutos (exactos) y se procedió a leer la temperatura (T1) y la lectura del hidrómetro (L1). Se dejó reposar por dos horas, para volver a medir la temperatura (T2) y la lectura del hidrómetro (L2).

A partir de los resultados de la granulometría, los suelos se clasifican por el triangulo textural según clasificación USDA.

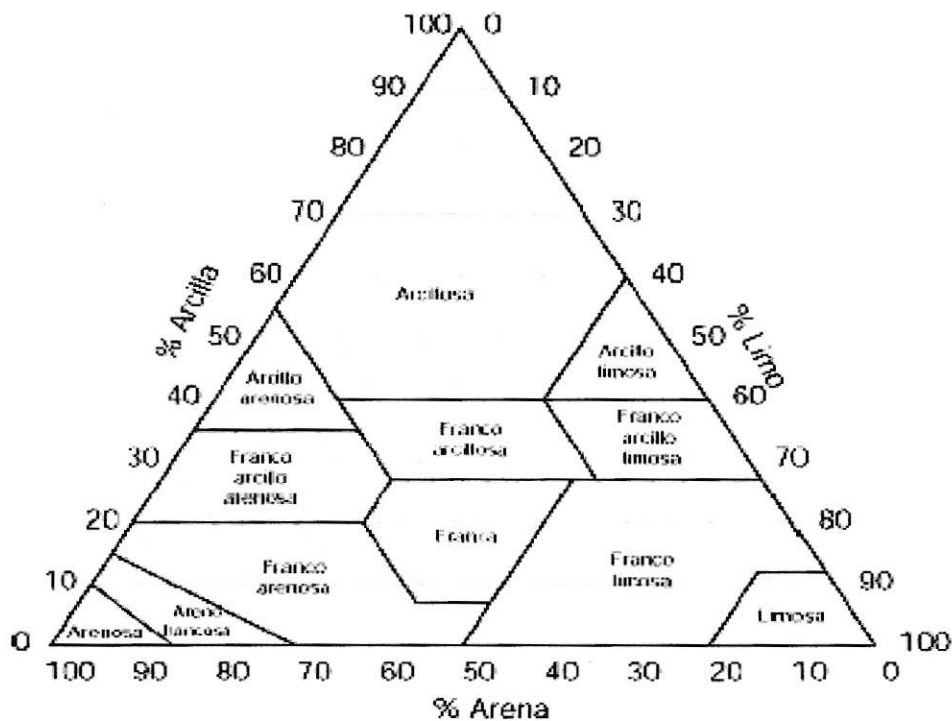
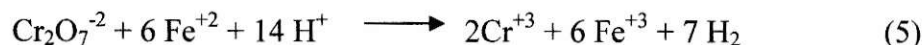


Figura 10: Triángulo textural según clasificación USDA

3.7.4 Determinación de materia orgánica mediante método Walkey – Black

Este método se realiza por combustión húmeda, el cual se fundamenta mediante las siguientes ecuaciones:



El carbono orgánico se oxida con la adición de dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado. Por estequiometría a partir de las ecuaciones se puede determinar la cantidad de dicromato en exceso que no interviene en la reacción mediante valoración con sulfato de hierro (II) de concentración conocida (ecuación 5).

Procedimiento

Se masó 1 g de cada suelo en matraces erlenmeyer de 500 mL, y se les agregó 10 mL de dicromato de potasio 1 N (Merck) y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (Merck), se agitó durante 30 segundos y se dejó reposar bajo campana por 30 minutos. Luego se agregó 200 mL de agua desionizada y 10 mL de ácido fosfórico 85% (Merck), se agitó y se enfrió a temperatura ambiente. Se agregó gotas de difenilamina (Merck) como sustancia indicadora del punto de equivalencia de acuerdo a la reacción de óxido reducción II (Kolthoff y col., 1969), y se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,5 N (Merck), incluyendo un blanco.

3.8 Métodos analíticos: Cuantificación de los plaguicidas en los suelos agrícolas

3.8.1 Optimización del método

3.8.1.1 Recuperación:

Contaminación de las muestras de suelo

Se tomaron 30 g de cada suelo y se contaminaron con 10 mL de solución acuosa de concentración 0,6 µg/mL para Clorotalonil, 2,05 µg/mL para Dimetoato y 1,0 µg/mL para Metamidofos. Se agitó (Agitador Merck HS 501) durante tres horas y se dejó secar en la estufa (Thelco Laboratory Oven) a 25 °C durante 17 horas. Una vez seca la muestra esta fue homogenizada en mortero de porcelana, y se procedió a medir el porcentaje de humedad. Se tomaron 5 g de cada suelo en vasos de microondas y se les agregó 5 mL de solución acetonitrilo: agua (1:1). Luego se les añadió 8 mL de n-hexano para el reparto de los compuestos y se llevaron al microondas, cada pesticida con su respectivo programa de extracción, descritos anteriormente. Las muestras fueron analizadas en triplicado y con sus respectivos blancos.

3.8.1.2 Determinación de los parámetros de calidad analítica del método en cromatografía de gases (GC) y cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)

En las técnicas analíticas existen ciertos criterios de funcionamiento de los instrumentos, para decidir si un determinado método instrumental es o no adecuado para resolver un problema analítico. Si bien se están determinando las concentraciones de contaminantes en una matriz dada, se debe determinar la mínima cuantificación del método

seleccionado. El límite de detección nos indica la cantidad mínima de masa de analito que puede ser detectado para un nivel de confianza dado. Y como en algunas técnicas analíticas no es posible llevar a cabo un blanco en las determinaciones, es posible hacer una estimación aproximada de este, calculado de la siguiente manera (Cuadros y col., 1993):

$$\text{LOD} = 3 (S_{xy} / b) \sqrt{[(n-1)/(n-2)]} \quad (6)$$

Donde S_{xy} es la desviación estándar de la regresión y b la pendiente de la curva. Para obtener el valor del límite de cuantificación, el cual es la concentración mas pequeña a la que se puede realizar en medidas cuantitativas, se cambia el valor de 3 por 10.

La sensibilidad analítica indica la menor variación de concentración que el método analítico es capaz de discernir, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S_a = S_{xy} / b \quad (7)$$

La linealidad de las calibraciones de los métodos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S_r(b) = S_b / b \quad (8)$$

$$\text{Linealidad} = 1 - S_r(b) \times 100 \quad (9)$$

Donde S_b es la desviación estándar de la pendiente de la curva.

Procedimiento

Para la determinación de los parámetros analíticos en ambas técnicas, se realizaron curvas de calibración para los diferentes compuestos por separado. Las concentraciones para Metamidofos en GC fueron de 0,2 a 1,2 $\mu\text{g}/\text{mL}$, y en HPLC fueron de 0,056 a 1,026

$\mu\text{g/mL}$. Las concentraciones para Dimetoato en GC fueron de 0,2 a 1,2 $\mu\text{g/mL}$, y en HPLC de 0,08 a 0,2 $\mu\text{g/mL}$. Finalmente para Clorotalonil las concentraciones en GC fueron de 0,02 a 0,2 $\mu\text{g/mL}$, y en HPLC de 0,101 a 1,01 $\mu\text{g/mL}$. Las muestras fueron analizadas en duplicado y con sus respectivos blancos.

3.8.2 Extracción de los plaguicidas mediante método de microondas, y posterior análisis en GC – ECD, GC – FPD y HPLC – UV

El método seleccionado para la extracción de los plaguicidas de los suelos, fue mediante una extracción líquido-sólido asistido por microondas, debido a que este es un método fácil, económico y más rápido que el método convencional Soxhlet. Este último trabaja con elevadas cantidades de solvente, mayor tiempo por análisis (18 horas por muestra) y requiere de mayor cantidad de materiales. Como se contaba con una gran cantidad de muestras, pocos materiales para usar el método Soxhlet y con solo 14 días para realizar la extracción, se utilizó el método asistido por microondas.

3.8.2.1 Procedimiento de extracción por microondas

Se masó 5 g de suelo en el vaso de microondas y a este se le agregó 5 mL de solución 1:1 acetonitrilo (Fisher) : agua, se agitó manualmente durante 30 segundos y se dejó reposar por 3 minutos. Finalmente se le agregó 8 mL de n-hexano (MERCK). En cada extracción se incluyó dos blanco sin suelo y los respectivos duplicados de cada muestra. Se procedió a realizar la extracción en microondas (Milestone MLS-1200 MEGA) según las condiciones descritas en la siguiente tabla.

Tabla 9: Condiciones de extracción en microondas

Pesticida	Suelo	Condiciones
Metamidofos	1	2 min. a 750 W y 30 °C 25 min. a 750 W y 50 °C
	2	
Dimetoato	3	2 min. a 750 W y 40 °C 25 min. a 750 W y 80 °C
Clorotalonil	4	2 min. a 750 W y 120 °C 25 min. a 750 W y 160 °C 2 min. a 750 W y 180 °C
	5	

Finalizada la extracción se trasvasijó el contenido de los vasos a tubos de centrifuga de 20 mL y se centrifugó (Centrifuga Rolco CM 24) durante 15 minutos a 4000 rpm. En primer lugar se extrajo la fase orgánica y se dejó en tubos concentradores de vidrio, en los cuales se evaporó el disolvente en corriente de N₂ hasta sequedad. Posteriormente se redisolvió en 1 mL de solvente metil terbutil éter (Fisher) para Dimetoato y Clorotalonil, y acetona (J.T. Baker) para Metamidofos. Se eligió el solvente orgánico que mejor disolvía los compuestos. Estos se colocaron en viales de 0,5 mL con 10 µL de patrón interno Lindano (Chem Service) de concentración 1,0 µg/mL para el pesticida organoclorado y 100 µL de patrón interno Paratión (Chem Service) de concentración 1,92 µg/mL para los plaguicidas organofosforados. Quedando estos a una concentración de 0,238 y 0,480 µg/mL respectivamente en los viales de 0,5 mL. Finalmente la cuantificación de Metamidofos y Dimetoato se realizó en el cromatógrafo de gases (Hewlett Packard HP-6890) con detector fotométrico de llama (GC-FPD). Y la cuantificación de Clorotalonil se realizó en el cromatógrafo de gases con el detector de captura de electrones (GC-ECD).

Por otro lado la fase acuosa que quedó en los tubos , se extrajo 3,5 mL, y cada muestra se filtró en membranas de tamaño de poro de 0,22 μm (Millipore GV-WP02500), se recogió en viales y se analizó por HPLC – UV (Lab Alliance Model 525). A los viales se les agregó 0,5 ml de estándar interno Lindano de concentración 1,0 $\mu\text{g/mL}$ para el plaguicida organoclorado y 0,5 ml de patrón interno Paratión de concentración 1,92 $\mu\text{g/mL}$ para los plaguicidas organofosforados. Quedando estos a una concentración de 0,125 y 0,24 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente en los viales de 5,0 mL.

En ambos equipos se determinaron las condiciones óptimas para la cuantificación de los analitos.

3.8.2.2 Condiciones finales de análisis para la determinación de los plaguicidas mediante CG-FPD / ECD

Las determinaciones mediante CG-FPD fueron llevadas a cabo con la temperatura inyector 250 °C, temperatura detector 280 °C, programa para columna capilar (HP-5 5% Ph Me Silicona de 30 m longitud, 0,25 mm de diámetro y film de 0,25 μm): 100 °C mantenida 1 minuto, aumentando 30 °C por minuto hasta 250 °C mantenida 4 minutos, aumentando 15 °C por minuto hasta 290 °C mantenida 1 minuto. Se inyectó 1 μL de muestra en el modo splitless.

Por su parte las determinaciones mediante CG-ECD se llevaron a cabo con la temperatura del inyector a 250 °C, temperatura detector 300°C, programa para columna capilar (HP ULTRA 2 5% Ph Me Silicona de 25 m longitud, 0,2 mm de diámetro y film de 0,33 μm): 170 °C mantenida 1 minuto, aumentando 2,5 °C por minuto hasta 210 °C mantenida 0 minutos, aumentando 15 °C por minuto hasta 260 °C mantenida 1 minuto.

Se inyectó 1 μ L de muestra en el modo splitless. El flujo de gas portador (He) en la columna fue de 1,3 mL/min.

3.8.2.3 Condiciones finales para HPLC-UV

Las determinaciones en el HPLC-UV fueron llevadas a cabo con diferentes condiciones para cada plaguicida. El procesamiento de los datos para cada compuesto se realizó empleando los cromatogramas obtenidos a las longitudes de onda donde se observaron los máximos de absorbancia útiles para la obtención de la mayor sensibilidad, al igual que los flujos de fase móvil y la relación acetonitrilo : agua, los cuales se identifican en la siguiente tabla.

Tabla 10: Condiciones finales del HPLC para la determinación de los compuestos

Condiciones	Metamidofos	Dimetoato	Clorotalonil
Longitud de onda optimo (nm)	220	210	254
Acetonitrilo : Agua	10 : 90	50 : 50	90 : 10
Flujo fase móvil (ml/min)	0,8	1,0	0,5
Tiempo retención (min)	4,2	4,0	7,3
Volumen de inyección (μ l)	20	20	20

Como resumen se muestra en la figura 10 un diagrama de flujo del método aplicado.

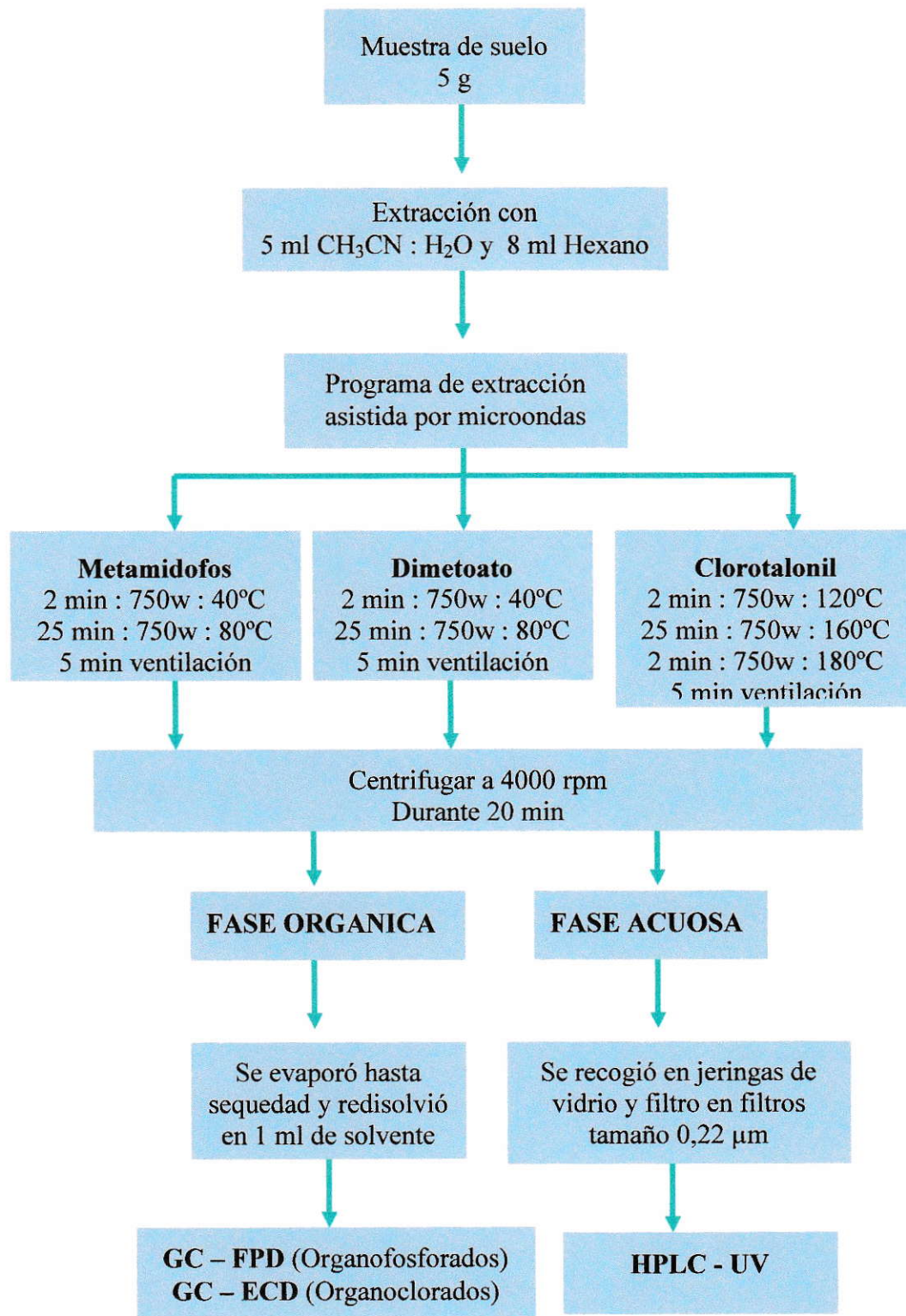


Figura 11: Diagrama de flujo del método de análisis

3.8.3 Estimación de la concentración de plaguicidas en los respectivos suelos

Con los resultados obtenidos de la recuperación del método, se estimó la concentración del plaguicida en cada suelo. Los cálculos realizados se describen en el Anexo G.

3.9 Isotermas de adsorción

El transporte de los plaguicidas en el suelo ocurre desde las capas superiores hacia abajo, a través del proceso de lixiviación y la percolación del agua. El potencial de un plaguicida para lixiviar y así contaminar las aguas subterráneas, depende de los procesos de adsorción y desorción en el suelo definidos por las características propias del plaguicida y del tipo de suelo.

Las isotermas de adsorción describen en forma grafica la relación de concentración de una sustancia (adsorbato) entre una fase acuosa (concentración en equilibrio) y la cantidad de ella que es adsorbida por unidad de masa de una superficie adsorbente (el suelo). La ecuación que se aplica a soluciones diluidas como una expresión empírica, se representa por la ecuación de Freundlich:

$$C_s = K_f \times C_e^{1/n} \quad (10)$$

Donde C_s es la concentración adsorbida de plaguicida en el suelo expresada como $\mu\text{g/g}$, C_e es la concentración en equilibrio del plaguicida en la fase acuosa expresada en $\mu\text{g/mL}$, K_f y $1/n$ son constantes características de la capacidad de adsorción del compuesto.

Procedimiento

Se estudió el comportamiento de los tres plaguicidas en el suelo respectivo correspondiente a cada predio.

Se pesaron 9,7; 10,1 y 10,5 mg de Metamidofos, Dimetoato y Clorotalonil respectivamente y se aforaron a 100 mL con una solución de CaCl_2 0,01 M para los dos primeros y con acetonitrilo para clorotalonil. Las siguientes disoluciones con Clorotalonil se hicieron con un 30% de acetonitrilo en la solución. En 10 tubos se pesaron 2 g de suelo, a cada tubo se le agrego 10 mL de solución de pesticida. Para Metamidofos las concentraciones fueron de 77,6; 58,2; 38,8; 23,28; 19,4; 11,64; 3,88 y 1,16 $\mu\text{g/mL}$. Para Dimetoato las concentraciones fueron de 4,04; 10,1; 14,14; 20,2; 24,24; 40,4; 60,6 y 80,8 $\mu\text{g/mL}$, disueltas en CaCl_2 0,01 M. Finalmente para Clorotalonil las concentraciones fueron de 0,84; 2,1; 4,2; 8,4; 16,8; 21,0 y 25,2 $\mu\text{g/mL}$. También se prepararon los blancos de cada muestra con 2 g de suelo y 10 mL de CaCl_2 0,01 M y los respectivos duplicado. Los tubos se taparon y se colocaron en un agitador rotatorio (Associated Design 3740-12 BRE) durante 20 h a 25 °C para así obtener el equilibrio en sistema "batch". Después del tiempo de agitación las muestras fueron centrifugadas en los mismos tubos a 4000 rpm durante 15 min. Finalmente las muestras fueron filtradas a 0,22 μm y analizadas por HPLC-UV.

3.10 Estudios de desorción

Junto con los estudios de adsorción se realizan los estudios de desorción. Este tiene por objetivo ver si el plaguicida adsorbido en el suelo es capaz de volver a la fase acuosa del suelo, en el caso de que hubiese una lluvia en el terreno. Y así poder seguir lixiviando a las capas mas profundas del suelo.

Procedimiento

Realizado el experimento de adsorción anterior, se tomó uno de los tubos anteriores para cada pesticida con su respectivo duplicado. Para Metamidofos se utilizo el suelo 1 y 2, con una concentración en el suelo de 5,45 y 8,75 mg/kg respectivamente. Para Dimetoato el suelo 3 con una concentración de 5,14 mg/kg y para Clorotalonil los suelos 4 y 5 con una concentración inicial de 65,87 y 72,25 mg/kg. Se sacó el suelo de los tubos y colocaron sobre una placa de vidrio reloj y dejaron secar durante la noche. Luego los mismos se trasvasijaron a envases de plástico, se les agregó una alícuota de 10 mL de CaCl_2 0,01 M y se agitaron durante tres horas a temperatura constante. Terminado el tiempo de agitación se centrifugaron las muestras a 4000 rpm durante 15 minutos y se filtraron a 0,22 μm . Se homogenizó el suelo en el tubo y se volvieron a agregar 10 mL de CaCl_2 0,01 M y se repitió el procedimiento anterior. Ambas fracciones filtradas fueron recibidas en un matraz y llevadas a volumen conocido para luego ser analizadas por HPLC-UV.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Aplicación metodología de encuesta

La metodología empleada en el estudio se baso principalmente en el tamaño de la superficie cultivada que fuese más de una hectárea cultivada y su influencia en el mercado interno. Dado que en la Isla de Pascua el cultivo es estacional y depende de cada agricultor, de su tiempo y su dinero, se encontró que durante los meses que se realizó el estudio en terreno (Abril – Mayo) los predios que cultivan permanentemente eran un total de 37.

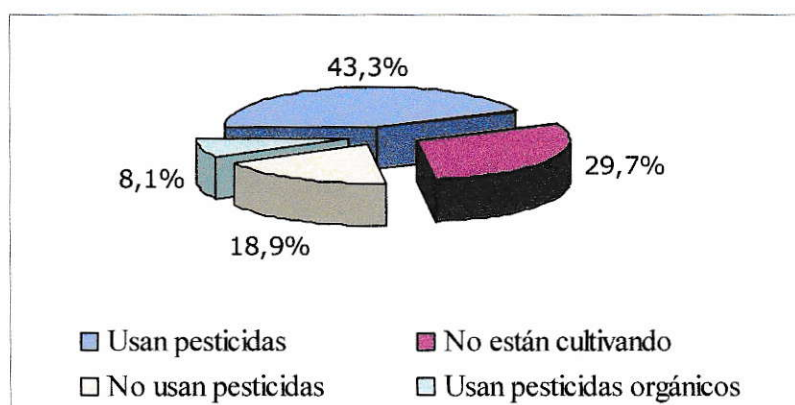


Figura 12: Información sobre el uso de plaguicidas

Del total de 37 predios, 11 agricultores tenían sus predios sin cultivar (29,7%), 16 de ellos utilizaban plaguicidas de forma permanente al cultivar (43,3%) y otros tres agricultores utilizaban plaguicidas orgánicos comerciales y fabricados por ellos mismos con productos naturales de la isla, como por ejemplo las semillas del árbol Miro Tahiti (*Melia azederach*) el cual es usado como insecticida. Finalmente el 18,9% no utilizaba

plaguicidas ya que tenían otras técnicas para evitar su uso, como por ejemplo el uso de paneles plásticos de colores fuertes cubiertos con aceite colocados en posición vertical a un costado de los cultivos. Estos tenían la finalidad de atraer a los insectos los cuales quedaban pegados en la superficie del plástico.

4.2 Plaguicidas utilizados

4.2.1 Aspectos generales

De las encuestas realizadas se obtuvo que se utilizaban 20 diferentes marcas comerciales de plaguicidas con sus respectivas formulaciones y concentraciones, dando origen a un total de 18 ingredientes activos. El método de acción de la mayoría de los compuestos es de tipo sistémico selectivo que consiste en la absorción del compuesto por la especie que se desea proteger, y su posterior traslocación a otras partes del organismo (Campos, 1987).

En cuanto a la clasificación por tipo de uso se observó el uso mayoritario de insecticidas, identificándose un total de 13 grupos químicos de plaguicidas, siguiéndolos por 8 grupos químicos de fungicidas los cuales fueron utilizados en los cultivos (Tabla 11).

Dentro de los plaguicidas se logró identificar el uso de dos grupos de organofosforados (Metamidofos y Dimetoato), un compuesto de organoclorados (Clorotalonil), dos grupos de carbamatos (Metiocarb y Mancozeb), uno de grupo pirrol (Clorfenapir) y dos grupos de piretroides (Deltametrina y Lambdacyhalotrina) que presentan una alta peligrosidad para el hombre ya que presenta un alto grado de toxicidad (categorías I y II).

Tabla 11: Características generales de los plaguicidas empleados

Nombre comercial	Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	Clasificaron por tipo de uso	Categoría de toxicidad	Solubilidad en agua (mg/l)
Agro-Cu	Oxicloruro de cobre	Inorgánicos de cobre	Acción protectora	Fungicida	III	-
Actara	Tiametoxam	Nitroguanidina	Sistémico, contacto e ingestión	Insecticida	IV	4100
Afalon	Linuron	Ureas sustituidas	Selectivo, inhibición fotosíntesis	Herbicida	III	81
Azufre	Azufre elemental	Inorgánicos azufrados	Contacto, preventivo	Fungicida, insecticida	IV	-
Bayleton	Triadimefon	Triazoles	Sistémico	Fungicida	III	82,3
Benex	Benomilo	Carbamatos	Sistémico, selectivo	Fungicida	III	2,0
Bravo	Clorotalonil	Organoclorados	No-sistémico foliar, protectora	Fungicida	II	0,6
Captan	Captan	Ftalimida	Contacto y preventivo	Fungicida	IV	Insoluble
Decis	Deltametrina	Piretroides	Contacto directo o ingestión	Insecticida	II	0,002
Baytroid	Cyflutrin	Piretroides	Contacto directo e ingestión	Insecticida	III	2,0
Dithane	Mancozeb	Carbamatos	Foliar, acción protectora	Fungicida	I	13,1
Diazinon	Diazinon	Organofosforado	Sistémico y contacto	Insecticida	II	60

Continuación Tabla 11: Características generales de los plaguicidas empleados

Nombre comercial	Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	Clasificaron por tipo de uso	Categoría de toxicidad	Solubilidad en agua (mg/L)
Diazol	Diazinon	Organofosforado	Contacto, ingestión	Insecticida	III	60
Dimetoato	Dimetoato	Organofosforado	Sistémico, ingestión y contacto	Insecticida	II	25000
Karate	Lambda cyhalotrina	Piretroide	Contacto, ingestión y repelencia	Insecticida	II	0,005
Kelthane	Dicofol	Organoclorados	No-sistémico foliar	Acaricida	I	0,8
Mesurool	Metiocarb	Carbamatos	Contacto o ingestión	Insecticida	I	27
Neres	Clorhidrato de cartap	Carbamatos	Sistémico de contacto e ingestión	Insecticida	III	200.000
Pirimor	Pirimicarb	Carbamatos	Contacto selectivo	Insecticida	III	2700
Púgil	Clorotalonil	Organoclorados	No-sistémico foliar, protectora	Fungicida	II	0,6
Sunfire	Clorfenapir	Pirroles	Contacto e ingestión	Insecticida	II	0,14
Tamarón	Metamidofos	Organofosforado	Sistémico, de contacto o ingestión	Insecticida	I	200.000

Fuente: EPA, pagina web; Exttoxnet, pagina web.

Categorías de toxicidad (EPA): **I:** Altamente Tóxico; **II:** Moderadamente Tóxico; **III:** Levemente Tóxico; **IV:** Relativamente No Tóxico; **V:** No Tóxico

4.2.2 Distribución de los plaguicidas por número de predios

Cinco productos son los más repetitivos en su aplicación: Tamarón, Decis, Bravo, Neres y Dimetoato. Siendo Tamarón el que presenta la mayor toxicidad (categoría I), y el resto pertenecientes a la categoría II de toxicidad.

Tabla 12: Distribución de los plaguicidas por número de predios

Nombre comercial	Ingrediente activo	Nº de predios
Agro – Cu	Oxicloruro de cobre	1
Actara	Tiametoxam	2
Afalon	Linuron	1
Azufre	Azufre	1
Bayleton	Triadimefon	1
Baytriod	Cyflutrin	2
Benex	Benomilo	1
Bravo	Clorotalonil	3
Captan	Captan	1
Decis	Deltametrina	4
Diazinon	Diazinon	1
Diazol	Diazinon	1
Dimetoato	Dimetoato	4
Dithane	Mancozeb	2
Karate	Lambda cyhalothrin	2
Kelthane	Dicofol	1
Mesurool	Metiocarb	1
Neres	Clorhidrato de cartap	4
Pirimor	Pirimicarb	1
Púgil	Clorotalonil	1
Sunfire	Clorfenapir	1
Tamarón	Metamidofos	4

En la mayoría de los predios se observó que dependiendo del tipo de cultivo se utilizaban diferentes plaguicidas. En algunos casos se llegó a observar el uso de 4 plaguicidas dentro de un mismo predio.

4.2.3 Época de aplicación de los plaguicidas a los cultivos

La época de aplicación de plaguicidas depende del tipo de cultivo y del clima. Las siembras se realizan con mayor frecuencia durante la época de otoño y primavera. Pero también se ven otras en menor cantidad durante el año. Por lo que la aplicación de los plaguicidas no es uniforme y constante durante los años. Esto también se debe a que el tipo de agricultor que existe en la isla se define como “agricultor eventual” (CNR, 1998), salvo en algunas contadas excepciones, la gran mayoría trabaja en sus parcelas con una marcada alternancia con otras actividades. Por lo que en cualquier instante estos decidirán dedicarse a otras labores como al turismo por ejemplo, dejando literalmente abandonada su calidad de agricultor y sus cultivos, para después de algún tiempo, volver a retomarlos.

4.3 Evaluación de los plaguicidas a monitorear

Con el fin de estimar el riesgo ambiental de la contaminación por plaguicidas en la Isla de Pascua. Se generaron matrices en la que se evaluó el riesgo de cada plaguicida considerando tres variables: toxicidad, carga según el número de predios que lo utilizaba y los que fueron utilizados entre los meses abril – mayo. A estos se les agregaron valores del 1 al 3, desde menor importancia a mayor importancia.

La categoría de toxicidad se evaluó de la siguiente manera: Categoría I: valor 3; Categoría II: valor 2; Categoría III: valor 1 y Categoría IV: valor 0.

La carga se evaluó como la cantidad de predios que utilizaban el mismo plaguicida: un predio: valor 0; dos predios: valor 1; tres predios: valor 2 y cuatro predios: valor 3.

Finalmente los plaguicidas utilizados entre los meses de marzo a mayo se les dió un

valor de 1 multiplicado por el número de predios que lo utilizó durante esa época.

Tabla 13: Matriz de evaluación de la contaminación ambiental de cada plaguicida

Ingrediente activo	Toxicidad	Carga	Utilizados últimamente	Riesgo
Oxicloruro de cobre	1	0	0	1
Linuron	1	0	0	1
Tiametoxam	0	0	2	2
Azufre	0	0	1	1
Triadimefón	1	0	0	1
Cyflutrin	1	1	1	3
Benomilo	1	0	1	2
Clorotalonil	2	2	2	6
Captan	0	0	1	1
Deltametrina	2	3	1	6
Diazinon	2	0	0	2
Dimetoato	2	3	1	6
Mancozeb	3	1	1	5
Lambda cyhalothrin	2	1	2	5
Dicofol	1	0	1	2
Metiocarb	3	0	1	4
Clorhidrato de cartap	1	3	1	5
Pirimicarb	1	0	0	1
Clorfenapir	2	0	1	3
Metamidofos	3	3	3	9

El mayor riesgo asociado por lo tanto lo tienen Clorotalonil, Dimetoato y Metamidofos, con valores de 6, 6 y 9 respectivamente. En el caso de deltametrina este tuvo un valor de riesgo asociado de 6, lo que lo incluye como plaguicida determinante para analizar, pero este no se analizó ya que se utilizó en el mismo predio en el cual se usó Clorotalonil. Aunque la carga de Clorotalonil era menor, se analizó éste debido a que era un poco más soluble (0,6 mg/l) en agua que Deltametrina (0,002 mg/l), propiedad que influye más

para evaluar una posible lixiviación a las napas subterráneas.

La elección de los plaguicidas para los análisis también concuerda con las diferentes propiedades de estos. Ya que para tener una visión más general de la contaminación ambiental por los plaguicidas, los que se eligieron para análisis tienen propiedades químicas muy diferentes y estas se aprecian en el apartado 1.5. Por ejemplo Metamidofos con una elevada solubilidad en agua y persistencia muy pequeña comparado con Clorotalonil el cual tiene una baja solubilidad en agua y elevada persistencia. Y finalmente Dimetoato se encuentra con valores entre medio de los dos anteriores, por lo que con los resultados obtenidos se tendrá una visión más global de la contaminación por plaguicidas.

4.4 Definición de los plaguicidas a monitorear y predios seleccionados

De los plaguicidas utilizados en los predios agrícolas se seleccionaron 3 plaguicidas para analizar. Estos son Metamidofos, Clorotalonil y Dimetoato. Durante el estudio en terreno solo había un predio que estaba utilizando Dimetoato constantemente, dos predios Metamidofos, y dos predios Clorotalonil.

Tabla 14: Plaguicidas seleccionados para análisis

Marca comercial	Ingrediente activo	Nº de predios a analizar
Tamarón 600 SL	Metamidofos	2
Dimetoato 40 EC	Dimetoato	1
Púgil 50 SC/ Bravo 720 SC	Clorotalonil	2

Dentro de los predios se utilizaban otros plaguicidas, pero el estudio se llevo a cabo analizando solo el plaguicida seleccionado que se utilizaba dentro de ese predio.

Para los analisis de los suelos de los predios y de los plaguicidas que se utilizaban en estos se enumeraron como se aprecia en la tabla 10, por ejemplo, Metamidofos se utilizo solo en los predios 1 y 2, Dimetoato solo en el predio 3 y Clorotalonil solo en los predios 4 y 5. Estos también se habían aplicados por última vez en diferentes días antes de la toma de muestras, y se aprecian en la Tabla 15.

La dosis aplicada a los cultivos se obtuvo de la encuesta realizada. Esta es aproximada, ya que las medidas tomadas del producto no eran exactas. Los equipos que se utilizaban para fumigar tenían una capacidad de 10 litros. Y el tamaño del área de los cultivos era variable entre los predios. Por ejemplo al suelo 1 se le agregó Metamidofos en los cultivos de repollo, el cual tenía un área de 400 m² aprox. (0,04 ha).

Tabla 15: Enumeración de los predios, dosis aplicado a los cultivos y días desde la última aplicación

Plaguicida	Predio / Suelo	Dosis (kg/ha)	Días que pasaron desde que se aplicó el producto
Metamidofos	1	0,48 – 0,63	10
	2	0,6 – 0,8	7
Dimetoato	3	0,42 – 0,63	10
Clorotalonil	4	0,47 – 0,54	7
	5	0,7 – 0,96	4



Figura 13: Muestreo de suelos



Figura 14: Predio agrícola; plantación de diversas hortalizas



Figura 15: Predio agrícola; plantación de tomates



Figura 16: Predio agrícola; plantación de diversas hortalizas



Figura 17: Predio agrícola; preparación del suelo para cultivar

4.5 Georeferenciación

Los datos georeferenciados de cada predio obtenidos mediante el GPS se muestran en el Mapa 1 (Anexo F). Los puntos verdes son el total de predios encuestados. Los predios seleccionados para los análisis se muestran en color rojo. Los datos se llevaron al computador y se hicieron los mapas con el programa ArcView GIS 3.2.

4.6 Características de los predios seleccionados

Con la Georeferenciación de los predios se obtuvieron las propiedades de los suelos de los predios seleccionados para los análisis de los plaguicidas en el laboratorio. Estos fueron de erosión, erodabilidad, sensibilidad de los suelos, aptitud del suelo, capacidad

de uso de suelo y la altura (m.s.n.m). Los respectivos mapas para cada característica del área de estudio se presentan en el Anexo F.

4.6.1 Clases de capacidad de uso

Son una ordenación de los suelos en base a su adaptabilidad relativa a los cultivos, además de las restricciones que pueden presentar al usarlos. Para ello se consideran solamente los factores naturales que el suelo y su medioambiente inciden sobre la productividad. Se expresan en números romanos (desde I a VIII) mostrando el grado creciente de limitaciones o riesgos. Estas se describen en el Anexo A.

De acuerdo a la Georeferenciación realizada se pudo determinar a que capacidad de uso de suelo pertenecían cada predio. Esto se demuestra en el Mapa 2.

Tabla 16: Capacidad de uso de los suelos

Suelo	1	2	3	4	5
Capacidad de uso de suelos	IVs	VIe	IIIe	IIIs	VIe

En general la isla esta dominada por suelos de clase VIIe, VIIs, IVs, VIe, donde los suelos con capacidad para ser cultivables se encuentran dentro de las categorías II a IV, y se encuentran principalmente en las zonas con menor pendiente. Para este caso los predios 1, 3 y 4 caben dentro de esta categoría. Los predios con subíndice “s” el 1 y 4 poseen limitaciones dentro del perfil del suelo que pueden afectar la actividad agrícola. En cambio los subíndices “e” para los predios 2, 3 y 5 tienen limitaciones por pendientes con posibles riesgos de erosión y escurrimiento.

4.6.2 Aptitud de los suelos

La aptitud de uso del suelo se define como el tipo de uso que el suelo es capaz de absorber sin comprometer sus funciones ambientales, condición que solo puede cumplirse siguiendo determinadas medidas de conservación acordes a la fragilidad del recurso. Las clases de aptitud de los suelos se describen en el Anexo B.

En el Mapa 3 se observa a que aptitud de suelo pertenece cada predio.

Tabla 17: Clases de aptitud de los suelos

Suelo	1	2	3	4	5
Aptitud de suelos	6	5	3	6	6

Los suelos 1, 4 y 5 son los únicos con aptitud agrícola. Como se aprecia en el mapa están ubicados en pendientes suaves y en terreno se observó que estos suelos eran fáciles de trabajar por esta misma razón. Son pocas las superficies de suelo que caben dentro de este rango, por lo que son suelos escasos, y deben protegerse para dicha finalidad. La mayoría de la superficie de los suelos cabe dentro de la aptitud 5 o aptos para praderas permanentes con importantes medidas de conservación, debido a la mayor fragilidad que los suelos de la isla poseen, tal como en el suelo 2. Finalmente el suelo 3 corresponde a la segunda importancia de los suelos en la isla para cubiertas forestales con máximas medidas de conservación.

4.6.3 Erosión de los suelos

La erosión natural de los suelos es la pérdida o destrucción de las capas del terreno por la acción única o combinada de los vientos, de las aguas en movimiento o por la acción directa de las lluvias. La erosión aumenta considerablemente por factores antrópicos como el mal manejo ganadero y las constantes quemadas incontroladas, además los factores climáticos, con elevadas temperaturas y precipitaciones, los suelos van quedando más expuestos por lo que se va acelerando la mineralización de la materia orgánica ocasionando una pérdida de estabilidad estructural. Además cualquier forma de degradación tiene la particularidad de transmitir rápidamente efectos indeseados a los demás biogeosistemas, como los recursos hídricos, biota, entre otros.

Para la Isla de Pascua se describieron las categorías de erosión de la siguiente manera según el estudio de la CNR (1998), las cuales se describen en el Anexo C.

Del Mapa 4 se puede apreciar los predios seleccionados y dentro de que categoría de erosión pertenecen.

Tabla 18: Categorías de erosión para cada suelo

Suelo	1	2	3	4	5
Categoría de erosión	Ligera	Ligera	Ligera	Ligera	Ligera

Como se puede observar, todos los suelos seleccionados pertenecen a la categoría de “Ligeramente erosionado”, lo que no significa un problema leve, sino más bien que el proceso erosivo en estos casos es más lento que en otros, pero paulatinamente se va agravando, en particular porque no se permite el descanso al suelo (AMBAR, 2003).

Como son suelos que están siendo utilizados para la agricultura, este factor es muy importante, ya que revela la calidad en la que están los suelos actualmente. Los cultivos ayudan a que se proteja el suelo de la erosión, cubriéndolo y aportando materia orgánica. Pero a pesar de ello se deben tomar medidas con el laboreo excesivo de la tierra, el cultivo en suelos delgados y en pendientes, ya que esto junto a las fuertes lluvias, aumentan el riesgo de erosión.

4.6.4 Erodabilidad

La erodabilidad de los suelos en cambio es la susceptibilidad de estos a erosionarse debido a características intrínsecas que los hacen más o menos vulnerables a dicho fenómeno. Lo que significa que hay suelos que manifestaran más resistencia frente a la erosión por poseer erodabilidad baja.

Se identifican las categorías de erodabilidad adaptados por la CNR (1998) que se describen en el Anexo D, y se muestran en el Mapa 5.

Tabla 19: Categorías de erodabilidad para cada suelo

Suelo	1	2	3	4	5
Categoría de erodabilidad	Alta	Alta	Alta	Media	Alta

Los suelos con alta erodabilidad son definidos por la pendiente del suelo, y éste factor puede dar una idea del grado de escurrimiento superficial versus la infiltración.

Todos los suelos pertenecen a la categoría alta de erodabilidad menos el 4 con categoría media. Como se observa en el mapa la mayoría de los suelos entran dentro de la

categoría alta ya que son suelos con un alto riesgo erosivo si no se mantiene una buena cubierta vegetal.

Suelos altamente erodables, tienen mayor probabilidad que se produzca el escurrimiento superficial en lugar de la infiltración subterránea y en consecuencia menor transporte de residuos al agua subterránea. Frente a esta situación la agricultura altera inevitablemente el suelo, ya que los cultivos obligan a remover la vegetación natural, donde en ocasiones implican la eliminación total de la cubierta vegetal original y la eliminación de especies y/o variedades nativas (Bifani, 1999).

4.6.5 Sensibilidad de los suelos

La sensibilidad de los suelos es una variable de síntesis que resume el valor intrínseco la componente según su estado de conservación, estado de las funciones ambientales y singularidad de los suelos. Las diferentes categorías de sensibilidad de los suelos se describen en el Anexo E y se demuestran en el Mapa 6.

Tabla 20: Categorías de sensibilidad para cada suelo

Suelo	1	2	3	4	5
Categoría de sensibilidad	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Todos los suelos presentan una alta sensibilidad, por lo que se debe prestar atención al uso de los suelos ya que este tiene una difícil reposición y se encuentra sujeto a presiones crecientes en la isla sin que se practiquen medidas de conservación (AMBAR, 2003). Por lo que cualquier influencia externa, deberá ser llevada a cabo con

precaución, para evitar posibles efectos adversos que se puedan desarrollar. Los suelos de la isla, con un porcentaje elevado de estos a erosionarse y de alta sensibilidad, nos indican que se deben mantener prácticas de conservación y de manejo para que estos se preserven.

4.6.6 Altura de lo suelos

La altura sobre el nivel del mar (m.s.n.m) a la cual están los predios, es de importancia a la hora de evaluar la posible lixiviación de los plaguicidas hacia las napas y esta información es crítica a la hora de evaluar los posibles riesgos de infiltración de aguas contaminadas desde la superficie. Ya que estas coinciden con la cota del suelo en cada punto de la isla, dado que el nivel de saturación se encuentra cercano al nivel del mar. En el Mapa 7 se aprecian los diferentes niveles de elevación, de estos datos se pueden obtener las diferentes alturas en las que están los suelos de los predios.

Tabla 21: Altura de los suelos sobre el nivel del mar

Suelo	1	2	3	4	5
Altura (m.s.n.m)	30	90	70	30	75

Los predios que se encuentren a menor altura son más susceptibles a influir sobre la calidad de las aguas subterráneas. En este caso los predios 1 y 4 son los que se encuentran a menor altura, por lo que la cantidad de plaguicida aplicado en estos terrenos debe ser tomado con mayor precaución y cuidado. Los predios 2, 3 y 5 a 90, 70 y 75 m.s.n.m respectivamente están a mayor distancia de las aguas subterráneas por lo

que la lixiviación de los plaguicidas dependerá aparte de los factores climáticos de la zona, de su solubilidad en agua y de la persistencia de estos.

4.6.7 Cercanía de los predios a los pozos de extracción de aguas subterráneas

En el Mapa 7 se aprecian también los pozos de extracción de agua dulce para abastecer de agua potable a la población. Los pozos que están actualmente siendo explotados son los números 7; 13; 22; 23; 25; 26 y 27. Los pozos con posibilidad de explotación son los números 10; 15 y 16. Se prevé que a mayor distancia que esté el foco de contaminación local, de los pozos de extracción, menor será la probabilidad que las aguas extraídas estén contaminadas. En la Tabla 22 se aprecian los pozos mas cercanos a los predios analizados que están siendo explotados actualmente.

Tabla 22: Pozos explotados cercanos a los predios analizados

Suelo	1	2	3	4	5
Pozo	16	25 – 27 (*)	23	10 - 23	25 – 27 (*)

(*) Pozos de extracción ubicados en la zona urbana

Los pozos de mayor extracción y los más importantes son el 25 y 27, por lo que cualquier foco de contaminación cerca de estos pozos, probablemente podría afectar su calidad. Por lo tanto para este caso los predios 2 y 5 que se encuentran dentro del radio urbano, son los más cercanos a ellos.

El suelo 1 esta muy cerca del pozo 16 en el sector de Vaihu, el cual es usado prácticamente para el consumo animal. El suelo 3 se encuentra cercano a los pozos 6 y

23, siendo el 23 el que esta actualmente siendo explotado, y el 6 se encuentra tapado. El suelo 4 que se encuentra mas cercano a la costa, esta cerca de tres pozos, el 5, 10 y 11, pero también mas alejado del pozo 23. El pozo 5 y 11 están sin uso, y el 10 esta tapado u obstruido, pero según los estudios de AMBAR (2003) este puede llegar a ser explotado.

4.7 Determinación de las propiedades de los suelos

4.7.1 Humedad de los suelos

Tabla 23: Humedad de los suelos

Suelo	Humedad (%)	Factor Humedad
1s	23,04	1,23
1p	33,03	1,33
2s	23,90	1,24
2p	40,18	1,40
3s	23,73	1,24
3p	34,85	1,35
4s	27,30	1,27
4p	34,00	1,34
5s	28,35	1,28
5p	32,38	1,32

Subíndice s: superficial (0 – 3 cm)

Subíndice p: profundo (50 cm)

El factor de humedad de los suelos se uso para la corrección de las ecuaciones donde se analizo el suelo.

4.7.2 pH y conductividad eléctrica de los suelos

El pH de los suelos se clasificó según la escala de acidez para suelos agrícolas que se identifican en el Anexo F.

Tabla 24: pH y Conductividad de los suelos

Suelo	pH	Categoría de acidez	Conductividad (dS/m) a 20°C
1s	6,21	Moderadamente ácido	0,07
1p	6,54	Moderadamente ácido	0,04
2s	6,87	Neutro	0,09
2p	7,25	Neutro	0,05
3s	5,62	Moderadamente ácido	0,45
3p	6,83	Neutro	0,05
4s	5,55	Moderadamente ácido	0,26
4p	6,55	Moderadamente ácido	0,05
5s	6,29	Moderadamente ácido	0,21
5p	6,33	Moderadamente ácido	0,06

Los suelos presentan valores de pH ligeramente ácidos y estos aumentan lentamente a mayor profundidad. Estos valores de pH se ven influenciados por diferentes factores tales como el clima del lugar con elevadas precipitaciones y temperaturas calidas, contenido de materia orgánica en los suelos, y los contenidos de arcilla. A pHs bajos algunos minerales adsorbidos en los suelos pueden intercambiarse con los iones H^+ del medio.

Los valores de la conductividad de los suelos por otro lado son mayores en la superficie y en el caso de los suelos 3, 4 y 5 estos disminuyen abruptamente. En general los valores de conductividad eléctrica corresponden a los esperados para suelos con alta pluviometría.

4.7.3 Determinación de la Textura de los suelos

En la siguiente tabla se presentan las clasificaciones de textura de los suelos estudiados.

Tabla 25: Textura de los suelos

Suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
1s	52,02	20,11	27,84	Franco Arcilla Arenosa
1p	58,04	16,60	25,36	Franco Arcilla Arenosa
2s	48,02	28,06	23,93	Franco
2p	50,04	24,42	25,54	Franco Arcilla Arenosa
3s	42,16	22,0	35,84	Franco
3p	48,16	18,0	33,84	Franco Arcilla Arenosa
4s	64,16	19,27	16,13	Franco Arenosa
4p	65,04	22,42	12,54	Franco Arenosa
5s	40,16	20,71	39,13	Franco Arcilloso
5p	44,23	19,93	35,84	Franco Arcilloso

El porcentaje de arena en los suelos es siempre predominante superando los 40,16%, hasta valores de 65,04%. En todos los suelos se observó que la fracción de arena aumentaba aunque levemente con la profundidad. El contenido de limo y arcilla en cambio se mantenían similares, siendo la fracción de limo entre los 16,6% en el suelo 1, y un máximo de 28,06% en el suelo 2. Finalmente la fracción de arcilla disminuye en todos los suelos excepto el suelo 2 donde aumenta levemente.

En los suelos con más de 50% de arena como en los suelos 1, 2 y 4, los plaguicidas más solubles en agua pueden lixiviar más rápido que los más insolubles. En este caso metamidofos el cual se usa en los suelos 1 y 2 es muy soluble en agua por lo que

aumenta la posibilidad que este compuesto lixivie.

La cantidad de arcilla es determinante para la composición fisicoquímica de los suelos. Este posee aniones hidroxilo (OH⁻) que forman parte de la estructura del suelo. En los espacios que forman sus apilamientos de planos, se sitúan los cationes, de dimensiones mucho menores. Al ser la arcilla el componente de menor tamaño de partícula, posee la mayor área superficial, con procesos interfaciales tales como la adsorción y desorción, o los procesos de catálisis superficiales (Aboul-Kassim y col, 2001). Por lo que a mayor cantidad de arcilla presente en el suelo mayor será la capacidad de interactuar con los iones de la fase acuosa.

En el suelo 3 con más de 33% de arcilla en ambas profundidades, el Dimetoato puede quedar mas fuertemente adsorbido, al igual que clorotalonil en el suelo 5. Si los plaguicidas son más persistentes, estos tendrán mayores posibilidades de llegar a las aguas subterráneas dependiendo de las precipitaciones del sector.

4.7.4 Determinación de la Materia Orgánica

La materia orgánica presente en los suelos se clasificó según su contenido, propuesta por Etchevers (1971), descrita en el Anexo F.

Los suelos volcánicos acumulan una gran cantidad de materia orgánica, en general la tasa de mineralización es menor que los otros suelos, porque poseen materia orgánica altamente estabilizada (Chonay J.J, 2005). Es por esta razón que no es de extrañarse los altos porcentajes que pueden encontrarse en algunos suelos de la isla. De la tabla 21 se puede observar que estos porcentajes disminuyen con la profundidad, el cual es un proceso normal que se observa en todos los suelos.

Tabla 26: Contenido en porcentaje de Carbono Orgánico y Materia Orgánica en los suelos

Suelo	Carbono Orgánico (%)	Materia Orgánica (%)	Categoría
1s	3,67	6,31	Medio
1p	3,10	5,32	Bajo
2s	7,63	13,13	Alto
2p	4,83	8,31	Medio
3s	4,59	7,90	Medio
3p	2,93	5,04	Bajo
4s	3,20	5,50	Bajo
4p	2,30	3,95	Muy bajo
5s	3,84	7,32	Medio
5p	2,79	3,50	Muy bajo

Al comparar los resultados obtenidos de los suelos, en los siguientes gráficos se contrastan las relaciones existentes entre el contenido de arcilla y la materia orgánica. La materia orgánica se adsorbe más en suelos con mayor cantidad de arcilla. Y esta propiedad también le da un carácter ácido a los suelos. Por lo tanto a mayor cantidad de arcilla, mayor adsorción de materia orgánica y menor pH.

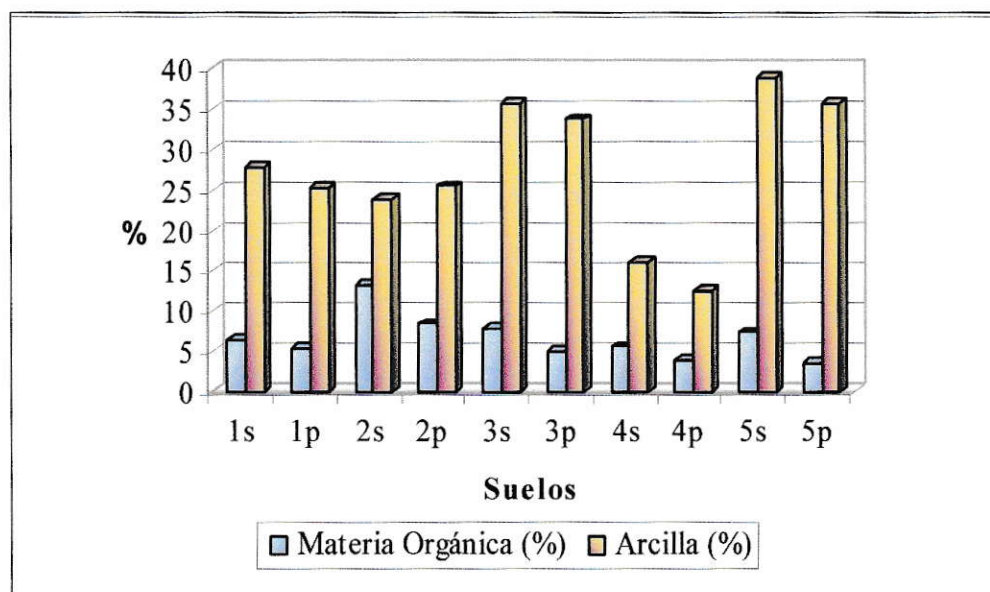


Figura 18: Comparación entre suelos con % Materia Orgánica y % Arcilla

El contenido de arcilla disminuye con la profundidad en todos los suelos excepto en el 2, por lo tanto acá priman otros factores que dan relación a esto, como lo son la naturaleza y propiedades del suelo en ese lugar.

La materia orgánica en todos los suelos tiende a disminuir con la profundidad, y éste es el responsable del aumento de la acidez del suelo con la profundidad (tabla 25). Esto se debe a que la mayor cantidad de materia orgánica se adsorbe más en las capas más superficiales del suelo.

La materia orgánica presente en los suelos influye en la retención de aniones fundamentales como es el fosfato; principalmente debido a la presencia de los ácidos húmicos y fúlvicos (Aguilera y col, 1997). La materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, por tanto evita que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo. Si el sólido contiene menos de 0,2% de carbono orgánico, la sorción de compuestos orgánicos hidrofóbicos de la fase acuosa se atribuye a la fracción arcillosa dado que el carbono orgánico posee grandes moléculas hidrofóbicas (Aguilera y col, 1997).

4.8 Métodos analíticos: Cuantificación de los plaguicidas en los suelos agrícolas

4.8.1 Optimización del método

4.8.1.1 Recuperación del método

La recuperación del método de extracción demostró que éste era eficiente y simple, dando buenos resultados a pesar de ser una extracción de preferencia para compuestos poco polares. Estos se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 27: Recuperación del método

Plaguicida	Suelo	Recuperación (%) (GC)	Recuperación (%) (HPLC)	Plaguicida Total Extraído (%)	Coefficiente Variación (%)
Metamidofos	1	6,95	88,56	95,51	7,83
	2	3,93	92,87	96,80	5,44
Dimetoato	3	5,66	66,26	71,92	5,67
Clorotalonil	4	91,06	11,07	97,13	10,31
	5	88,14	14,84	102,98	6,21

El método seleccionado requería que el compuesto a extraer tuviese que ser apolar, o medianamente apolar y repartirse a la fase orgánica completamente. Es por esta razón que el compuesto más apolar (Clorotalonil) se repartió en una mayor proporción a la fase orgánica de la extracción. En cambio los compuestos más polares (Metamidofos y Dimetoato) se repartieron en una mayor proporción a la fracción acuosa.

Dada esta característica del método, fue posible extraer los plaguicidas desde la matriz del suelo, repartándose estos entre la fase orgánica y la acuosa. Donde la fase orgánica se determinó mediante el cromatógrafo gaseoso (GC) con detectores FPD para los compuestos organofosforados y ECD para los compuestos organoclorados; y la fase acuosa mediante la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con detector UV.

4.8.1.2 Parámetros de la calidad analítica de los métodos

A partir de la técnica cromatografía de gases con los detectores FPD y ECD se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 28: Parámetros analíticos, Límite de Detección (LOD) y Límite de Cuantificación (LOQ) en la técnica GC-FPD y GC-ECD

Plaguicida	LOD (µg/ml)	LOQ (µg/ml)	Sa	Linealidad (%)	r ² (%)
Metamidofos	0,13	0,43	$3,48 * 10^{-2}$	94,11	99,31
Dimetoato	0,03	0,82	$7,08 * 10^{-3}$	98,88	99,96
Clorotalonil	$3,95 * 10^{-3}$	0,01	$1,07 * 10^{-3}$	97,60	99,88

Con esta técnica fué posible determinar concentraciones del orden de 0,43 µg/ml para Metamidofos, 0,82 µg/ml para Dimetoato y 0,01 µg/ml para Clorotalonil. El compuesto Metamidofos presenta la mayor sensibilidad analítica (Sa). Los resultados indican respuestas del detector lineales con valores de coeficiente de determinación (r²) mayores al 94,11%.

Para la determinación de los compuestos en medio acuoso, se realizó mediante el HPLC-UV, el cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 29: Parámetros analíticos, Límite de Detección (LOD) y Límite de Cuantificación (LOQ) en la técnica HPLC-UV

Plaguicida	LOD (µg/ml)	LOQ (µg/ml)	Sa	Linealidad (%)	r ² (%)
Metamidofos	0,192	0,64	$5,23 * 10^{-2}$	92,83	98,98
Dimetoato	$0,127 * 10^{-1}$	0,04	$3,78 * 10^{-3}$	96,43	99,49
Clorotalonil	0,193	0,64	$5,25 * 10^{-2}$	92,16	98,78

Esta técnica mostró una mayor sensibilidad analítica (Sa) que la técnica anterior para los compuestos Metamidofos y Clorotalonil. Para Dimetoato en cambio fue levemente menor. Con esta técnica es posible determinar concentraciones de 0,64 µg/ml para Metamidofos y Clorotalonil, y de 0,042 µg/ml para Dimetoato. La linealidad de esta técnica fue menor que la anterior con valores mayores a 92,16%.

4.8.2 Extracción de los plaguicidas mediante método de microondas y análisis en GC-ECD, GC – FPD y HPLC-UV

Mediante el método seleccionado, se obtuvo los siguientes resultados en cada predio.

Tabla 30: Concentración de plaguicida encontrado en los suelos

Plaguicida	Suelo	Concentración (µg/kg) GC	Concentración (µg/kg) HPLC	Concentración Total (µg/kg)
Metamidofos	1s	25,28	325,44	350,72
	1p	11,29	192,23	203,52
Metamidofos	2s	44,07	1654,68	1698,75
	2p	14,60	449,38	463,98
Dimetoato	3s	10,45	90,53	100,98
	3p	16,82	279,86	296,68
Clorotalonil	4s	2292,18	275,01	2567,19
	4p	422,28	64,09	486,37
Clorotalonil	5s	425,08	78,71	503,79
	5p	463,50	71,65	535,15

Subíndice **s**: superficial (0 – 3 cm)

Subíndice **p**: profundo (50 cm)

Al encontrar concentraciones mas altas a 50 cm de profundidad que en las capas superficiales, nos indican que los compuestos se están movilizand, pudiendo ellos llegar a las aguas subterráneas.

4.8.2.1 Estimación de la concentración de plaguicidas en los respectivos suelos

Con los datos obtenidos en el apartado 4.8.1.1 de la recuperación del método y con las concentraciones de plaguicidas encontrados en los suelos, se procedió a calcular las concentraciones estimadas reales de los suelos, y los cálculos se explican detalladamente en el Anexo I. La concentración estimada nos muestra un valor aproximado real de lo que se encuentra en los suelos y estos se aprecian en la Tabla 31. Por lo tanto de estos resultados se procederá a hacer los análisis respectivos.

Tabla 31: Concentraciones reales estimadas de plaguicidas en los suelos

Plaguicida	Suelo	Concentración estimada (µg/kg)
Metamidofos	1s	367,21
	1p	213,09
	2s	1754,91
	2p	479,32
Dimetoato	3s	140,41
	3p	412,51
Clorotalonil	4s	2643,05
	4p	500,74
	5s	503,79
	5p	535,15

Para Metamidofos se observa que la concentración disminuye a mayor profundidad.

Teniendo en cuenta los días que pasaron desde la última aplicación del plaguicida, en el

suelo 1 habían pasado 10 días, y en el suelo 2 solo 7 días. Claramente la dosis aplicada obtenida de las encuestas coincide con los resultados obtenidos para Metamidofos, ya que las dosis en el suelo 2 era casi el doble que para el suelo 1, y esto más los días que habían pasado desde la última aplicación, coinciden con la proporción encontrada en cada suelo.

Dimetoato en cambio se encontró a casi el triple de su concentración en la superficie en las capas más profundas del suelo, lo que sugiere que este compuesto se movilizó. Pueden haber sido diferentes razones las que expliquen su movilización, tal como una lluvia o el propio riego. Además de las características del suelo, esto se debe también a su elevada solubilidad.

Clorotalonil en cambio en el predio 4 se encontró a elevadas concentraciones en la capa superficial y menor concentración en profundidad. A diferencia del predio 5 el cual se encontró en mayor cantidad en profundidad. Este último sugiere que Clorotalonil puede seguir movilizándose hacia las capas más profundas. Dada esta diferencia, hay que tener en cuenta que en la Isla de Pascua las precipitaciones no son homogéneas, encontrándose que en algunos lugares llueve más que en otros. Comparando los resultados de la concentración encontrada con los de la dosis aplicada para ambos suelos (4 y 5), se puede concluir que la dosis obtenida de la encuesta no concuerda con los resultados. Por lo tanto para este caso, la dosis aplicada es incierta.

4.8.2.2 Comparación de las concentraciones estimadas con la altura a la que se encuentran los suelos

Para analizar los resultados de concentración de plaguicidas en los diferentes suelos y su posible riesgo de contaminación, se construyó un gráfico (Figura 19) de la concentración obtenida versus la altura de los suelos respecto al nivel del mar en cada suelo y a cada profundidad.

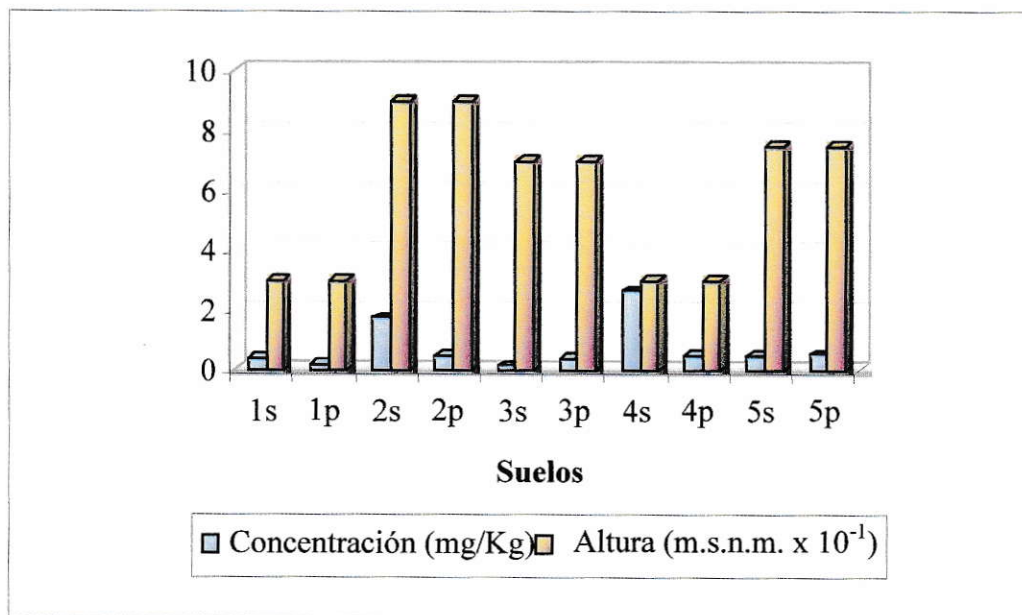


Figura 19: Comparación de suelos con concentración estimada y altura

Según los estudios realizados por AMBAR (2003), se constató que el nivel de saturación de las aguas subterráneas de la isla coinciden con la cota del nivel del mar, y aunque no necesariamente es igual en todos los lugares de la isla, esta afirmación se toma como

referencia para determinar la distancia que hay entre la superficie del suelo y el nivel de saturación de las aguas subterráneas.

Se obtiene que para Metamidofos en el suelo 1 que está a solo 30 m.s.n.m se encontraron bajas concentraciones en la parte superficial, y solo levemente menor en la capa más profunda a 50 cm. En cambio la diferencia de concentraciones en el suelo 2 fue mucho mayor, siendo mayor la de la capa superficial con 1.755 $\mu\text{g}/\text{kg}$, casi 5 veces mayor que en el suelo 1.

Según el estudio de AMBAR (2004), se constató que la profundidad del nivel de saturación del agua subterránea, medidas en metros, tiende a coincidir con la cota del suelo en cada punto de la Isla. Por lo tanto, tomando como referencia esta afirmación, y aunque no necesariamente la profundidad del nivel freático bajo ambos suelos sea el mismo, se concluye que el suelo 2 se encuentra a 90 m.s.n.m., el triple de altura que el suelo 1, por lo tanto será mayor la distancia que tendrá que movilizarse el plaguicida para alcanzar las aguas subterráneas.

Tomando en cuenta los días que pasaron desde que se aplicó el producto hasta que se tomaron las muestras y la dosis aplicada a ambos suelos, se puede observar que la concentración encontrada en el suelo 1 es mucho menor, ya que habían pasado 10 días del día de la aplicación, en cambio en el suelo 2 habían pasado solo 3 días. Por lo tanto, lo que quedaba del compuesto se encontraba casi en su totalidad en la superficie, y el resto se puede haber degradado o lixiviado.

Para Dimetoato la altura a la que se encuentra de 70 m.s.n.m. también es elevada, pero dado que se encontró mayor cantidad de plaguicida en la capa mas profunda, es probable que este ya haya lixiviado, o degradado. Ya que desde el día de aplicación del producto,

hasta el día de toma de las muestras habían pasado 10 días, lo que da tiempo suficiente para que este se movilice.

En el suelo 4, Clorotalonil se había aplicado 6 días antes que el día de toma de muestras, razón por la cual se encontró elevadas cantidades en la superficie del suelo. La altura a la que se encuentra es de 30 m.s.n.m y la concentración que se encontró el plaguicida, es probable que este pueda alcanzar las aguas subterráneas dado también su persistencia en el suelo. Por otro lado en el suelo 5 se le aplicó el producto solo 4 días antes de la toma de muestras, y este se encontró a una concentración levemente mayor en las capas mas profundas que en la superficie. La altura a la que se encuentra el predio de 75 m.s.n.m, comparado con el suelo 4, acá el plaguicida deberá recorrer una mayor distancia para que llegue a las aguas subterráneas, por lo que es potencialmente menos riesgoso para contaminarlas.

4.8.2.3 Comparación de las concentraciones estimadas con la cantidad de arcilla en los suelos

Por otro lado podemos ver la relación que hay entre la concentración estimada y el contenido de arcilla en los suelos (Figura 20), ya que este es uno de los factores que determina las características de sorción del plaguicida al suelo.

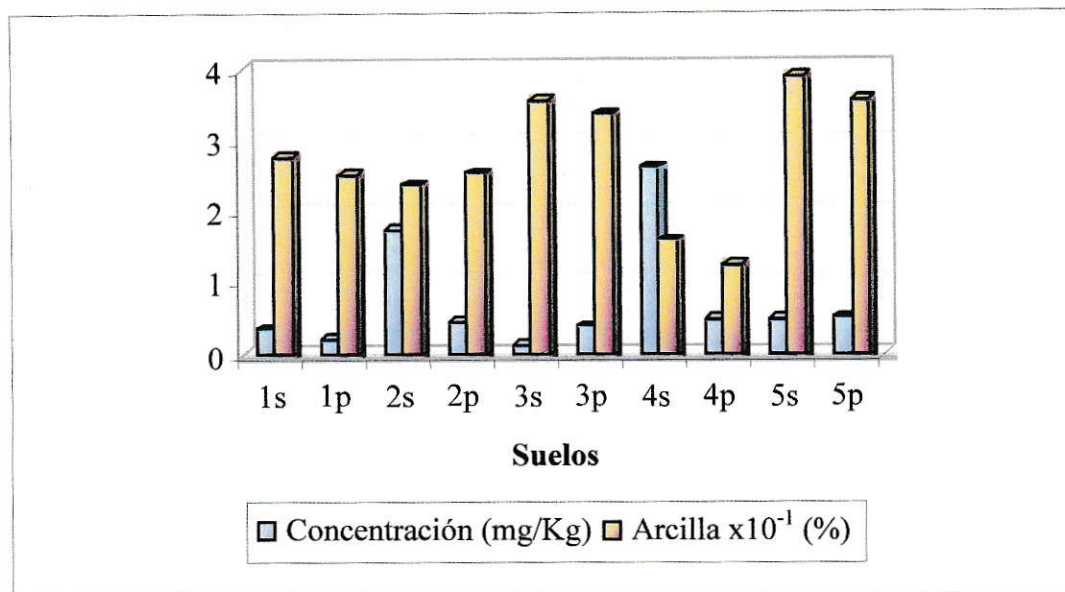


Figura 20: Comparación de los suelos con Concentración estimada y % Arcilla

En todos los suelos el contenido de arcilla disminuye con la profundidad, menos en el caso del suelo 2 que aumenta. Por lo tanto si este disminuye con la profundidad, encontramos que Metamidofos en ambos suelos disminuía su concentración, y si en el suelo 2 la arcilla aumenta, este puede ir quedando retenido por las partículas. Pero dado que Metamidofos es un compuesto muy soluble en agua, su capacidad de retención quedará determinada por las influencias climáticas de la zona. Al igual que Dimetoato que se encontró a concentraciones mas bajas que las demás, pero su última aplicación fue diez días antes de el muestreo, y la concentración a 50 cm fue mayor que en la superficie. En cambio Clorotalonil en el suelo 4 el cual contenía el menor porcentaje de arcilla de los cinco suelos, se encontró con las concentraciones mas elevadas en la superficie, por lo tanto, esta elevada concentración comparada con la del suelo 5, se debe principalmente a la dosis aplicada a los cultivos.

4.8.2.4 Comparación de las concentraciones estimadas con la cantidad de materia orgánica en los suelos

Al igual que con el contenido de arcilla en los suelos, la materia orgánica también influye en los procesos de porción del plaguicida al suelo. Al estar ligada la materia orgánica con el contenido de arcilla, éste también aumenta la retención de los plaguicidas, ya que fija los iones en la solución del suelo, quedando estos débilmente retenidos y en posición de cambio. Al comparar los resultados de la concentración encontrada con los porcentajes de materia orgánica (Figura 21), vemos que ésta disminuye en todos los suelos con la profundidad.

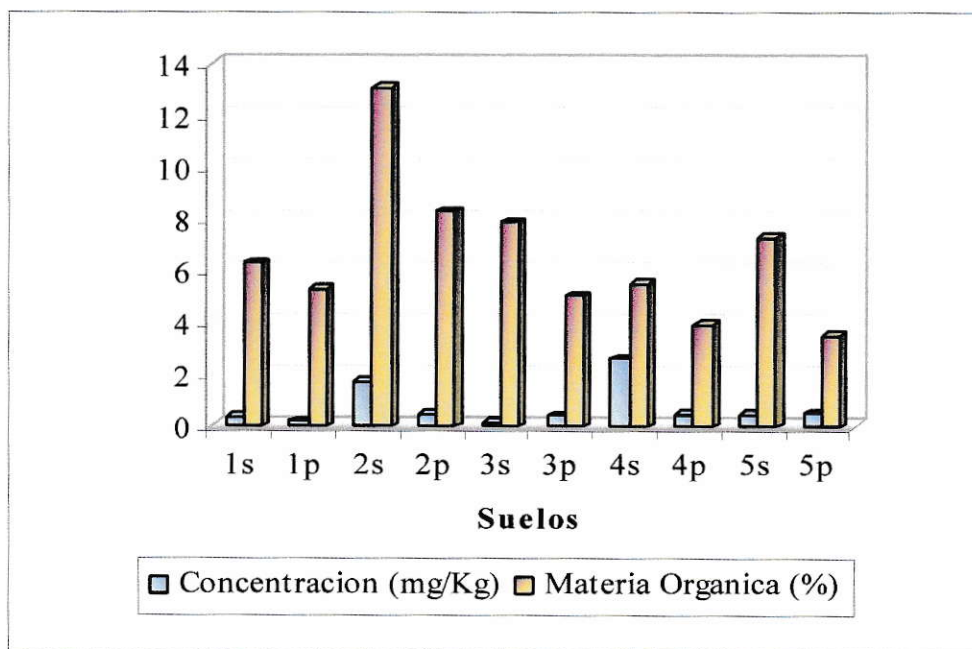


Figura 21: Comparación de los suelos con la Concentración estimada y % Materia Orgánica

Para Metamidofos en los suelos 1 y 2 la concentración también se ve disminuida con la profundidad. Dado que la materia orgánica del suelo tiene la característica de retener compuestos orgánicos, es posible que éste también pueda retener estos plaguicidas. Ya que en el suelo 2 comparado con el suelo 1, el primero posee mayor cantidad de materia orgánica, y por ende se encontró mayor concentración de Metamidofos en ambas profundidades.

Lo contrario sucede en el suelo 3 que se encontró una mayor concentración en la parte mas profunda el cual tenía un menor porcentaje de materia orgánica. Por lo tanto al igual que con la arcilla, éste compuesto se movilizó mas rápido por su mayor solubilidad y persistencia que el anterior.

Para Clorotalonil en cambio se encontró una mayor concentración en el suelo 4 superficial el cual tenía menos porcentaje de materia orgánica que el suelo 5, por lo tanto se puede decir que este compuesto se ha movilizado poco. Pero al contrario que en el suelo 5 donde se encontró una mayor concentración a los 50 cm. Finalmente se puede decir que el lixiviado de Clorotalonil depende principalmente de la dosis aplicada, si este es elevado como se observó en el suelo 4, su lixiviación entonces dependerá de las condiciones climáticas, ya que como se demostró en los resultados la concentración de Clorotalonil en las capas mas profundas fue siempre mayor que Metamidofos y Dimetoato. Aparte que debido a su elevada persistencia, estos resultados demuestran que este compuesto puede seguir lixiviano.

La interacción de los plaguicidas con características polares tales como Metamidofos y Dimetoato, pueden adsorberse a la materia orgánica mediante puentes de hidrógeno, el cual es un tipo de interacción dipolo – dipolo, en el cual el átomo de hidrógeno es puente

entre dos átomos electronegativos. En este caso el grupo polar de Metamidofos (amina primaria) y la amida correspondiente de Dimetoato, pueden formar enlaces por puentes de hidrógeno con la materia orgánica del tipo $-HO \cdots HNH$, $-HO \cdots HN$ o $-OH \cdots O=C$.

4.9 Isotermas de adsorción

Para el suelo 1 y 2 se estudió la isoterma de adsorción de Metamidofos, para el suelo 3 Dimetoato y para los suelos 4 y 5 se estudió la isoterma de adsorción de Clorotalonil. Estas se ajustaron a la ecuación de Freundlich con valores de $r^2 > 0,959$. De los valores de Kf se obtiene que la capacidad de adsorción de los plaguicidas a los suelos sigue el orden Clorotalonil > Dimetoato > Metamidofos, coincidiendo con los valores inversos de solubilidad en agua. En la tabla 32 se muestran los valores de Kf, $1/n$, r y Koc para cada compuesto en medio acuoso de $CaCl_2$ 0,01M, y con un 30% de CH_3CN para Clorotalonil.

Tabla 32: Valores de Kf, $1/n$, r , Kom, Koc, y solubilidad para cada compuesto

Plaguicida	Suelo	Kf (mL/g)	$1/n$	r^2	Koc (mL/g)	Solubilidad en agua (mg/L) a 20°C
Metamidofos	1	$0,67 \pm 0,16$	$0,80 \pm 0,06$	0,993	18,26	$> 2,0 * 10^6$
	2	$1,15 \pm 0,22$	$0,75 \pm 0,05$	0,988	15,07	
Dimetoato	3	$1,33 \pm 0,26$	$0,78 \pm 0,05$	0,985	28,98	$39,8 * 10^3$
Clorotalonil	4	$32,48 \pm 3,21$	$0,35 \pm 0,05$	0,959	1015,0	0,6
	5	$42,47 \pm 1,75$	$0,35 \pm 0,02$	0,995	1105,91	

Las isotermas de adsorción para Metamidofos en los suelos 1 y 2, junto con Dimetoato en el suelo 3, corresponden a isotermas tipo C según la clasificación de Giles y col. (1974), con valores de $1/n$ cercanos a 1 para las que se asume un mecanismo de partición según el cual la molécula adsorbida es distribuida entre la fase interfacial y la solución en equilibrio sin un enlace específico entre el adsorbato y el adsorbente. La fracción de sitios libres de adsorbente no decrece al aumentar la concentración de adsorbato, luego la cantidad adsorbida (C_s) y la concentración en equilibrio (C_e) siguen una relación lineal.

El valor de $1/n$ para Clorotalonil en los suelos 4 y 5, nos indica que la isoterma de adsorción obtenida corresponde al tipo L, este comportamiento se caracteriza porque la pendiente de la curva disminuye al aumentar la concentración, lo cual se explica por una alta afinidad del adsorbente por el adsorbato a bajas concentraciones, la que disminuye cuando aumenta la concentración debido a una saturación de los sitios de adsorción.

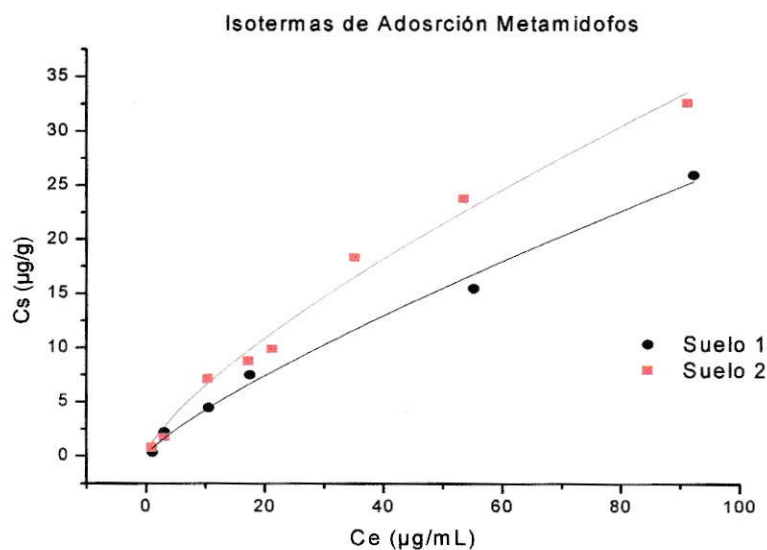


Figura 22: Isotermas de Adsorción para Metamidofos en suelo 1 y 2

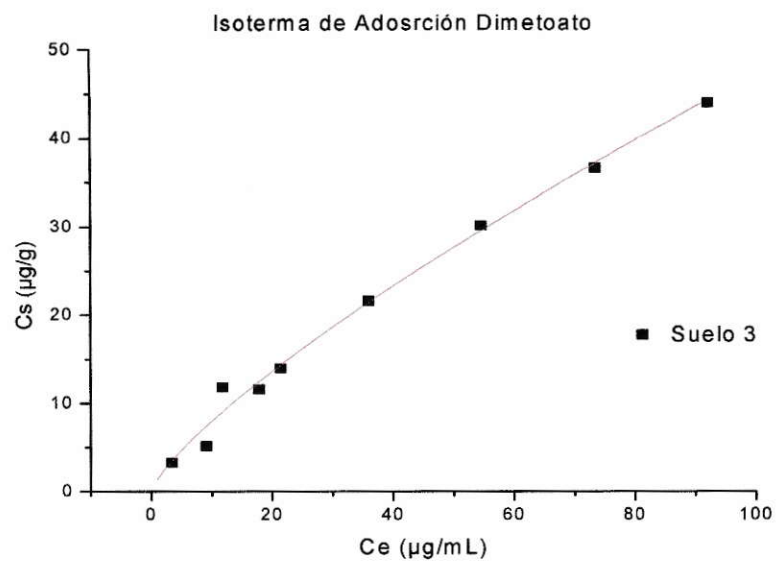


Figura 23: Isoterma de Adsorción para Dimetoato en suelo 3

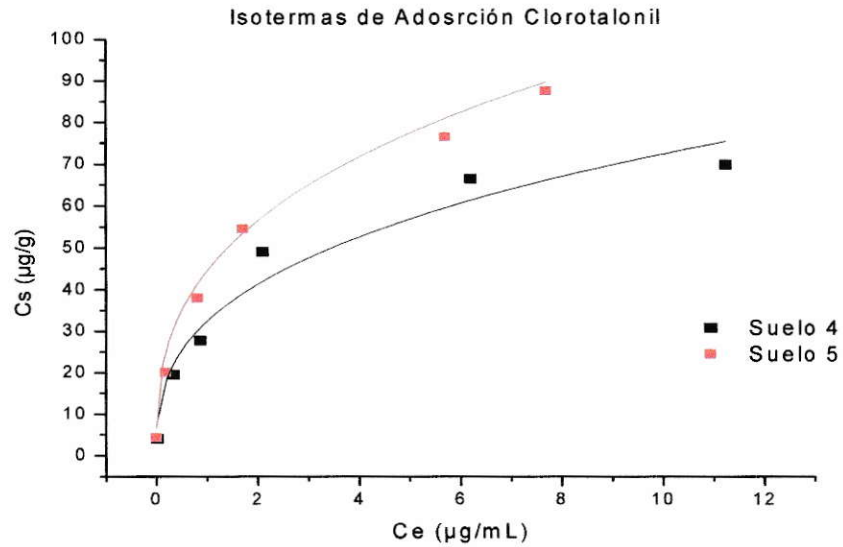


Figura 24: Isotermas de Adsorción para Clorotalonil en suelo 4 y 5

El carbono orgánico también es un contribuyente a la adsorción de los plaguicidas al suelo. Para ello se utilizan los valores de Koc ($Koc = Kf / \%CO \times 100$) para cada compuesto en el respectivo suelo que fue utilizado. El valor de Koc entre los suelos y entre los plaguicidas nos permite evaluar, mediante normalización, si junto al carbono orgánico hay otros compuestos que contribuyen a la sorción.

Clorotalonil es el que obtiene los valores más altos de Koc, lo cual indica la importancia del carbono orgánico presente en los suelos para el proceso de adsorción en el suelo. Su baja polaridad a su vez, contribuye a que aumente la afinidad por la fracción orgánica del suelo.

Al comparar ambos suelos en los cuales se usó Clorotalonil (suelos 4 y 5) de la tabla 27, el suelo 5 es el que tiene un valor de Koc mayor, ya que el valor de Kf es mayor y por ende el contenido de carbono orgánico también, por lo que el compuesto es más adsorbido en este suelo que en el suelo 4.

Los valores más bajos de Koc los tiene Metamidofos para los suelos 1 y 2 con valores de 14,09 y 9,93 respectivamente. El suelo 2 posee mayor cantidad de carbono orgánico, por lo que el valor de Kf es mayor que para el suelo 1, y por esta razón el valor de Koc es menor que en el suelo 1.

Dimetoato tiene valores sólo un poco mayores a los de Metamidofos para Kf, y si comparando los valores de solubilidad que se aprecian en la tabla 27 con los de Kf para cada compuesto, vemos que se establece una relación inversa entre ellos, ya que a mayor solubilidad en agua, menor valor de Kf.

4.10 Estudios de desorción

Cuando se hacen los estudios de adsorción de un compuesto a las partículas del suelo, también se debe evaluar que fracción del plaguicida puede volver a la fase líquida, por ejemplo después de una lluvia. En el caso de la adsorción de un compuesto desde un medio acuoso, se considera que este proceso es competitivo y que algún otro compuesto debe ser desorbido o reacomodado para la introducción de una nueva especie que va a ser adsorbida. Para este caso se tomaron las mismas muestras que las de adsorción y se dejaron agitar con solución como si fuese una lluvia. En la siguiente tabla se aprecia la concentración de plaguicida inicial en el suelo, la concentración de plaguicida que se desorbió y el porcentaje desorbido.

Tabla 33: Estudio de desorción de plaguicidas

Plaguicida	Suelo	Concentración de plaguicida adsorbida(mg/kg)	Concentración de plaguicida en solución (mg/L)	Plaguicida desorbido (%)
Metamidofos	1	5,45	N.D	0
	2	8,75	0,27	15,35
Dimetoato	3	5,14	N.D	0
Clorotalonil	4	65,87	6,05	45,97
	5	72,25	4,42	30,56

Cuando la adsorción era pequeña y el compuesto quedaba en su mayoría en la fase acuosa, como en el caso de Metamidofos y Dimetoato en los suelos 1 y 3 respectivamente, la desorción resultó ser baja o nula. En el suelo 2 se logró resorber Metamidofos en un 15,35%.

Las propiedades de los suelos tales como la cantidad de arcilla y materia orgánica influyen la cantidad de plaguicida que es desorbido. Como el suelo 1 tiene mayor cantidad de arcilla que el suelo 2, el plaguicida pudo haber quedado adsorbido en ésta fracción. Pero el suelo 2 posee mayor cantidad de materia orgánica que el 1, sin embargo la desorción fue mayor. Por lo tanto la capacidad de adsorción se atribuye a la fracción arcillosa del suelo, y no a la orgánica. Lo que puede deberse a que Metamidofos al ser tan soluble y polar no interacciona con los ácidos húmicos de la materia orgánica, sino que solamente con la arcilla. Esto puede deberse a que Metamidofos como se encuentra en suelos ácidos, se encuentre en su forma protonada, y pueda compartir electrones con la superficie de las arcillas que se encuentren con carga negativa. Este tipo de adsorción conocido como quimisorción, produce un intercambio catiónico entre el plaguicida cargado positivamente y los cationes en posición de cambio que posee la arcilla.

En el suelo 3 Dimetoato quedó retenido y no se desorbió. Este suelo junto con el suelo 5 son los que poseen mayor cantidad de arcilla. Por lo tanto al igual que con el suelo 1, éste compuesto queda fuertemente retenido por los coloides del suelo, ya sean de la fracción arcillosa como de la materia orgánica. Este compuesto a pHs ácidos también puede encontrarse en su forma protonada debido al grupo amida que posee, y así quedar retenido por los coloides del suelo debido a su carga positiva.

Para Clorotalonil, en el suelo 4 el cual contenía mayor porcentaje de arena, la desorción fue mayor que para el suelo 5 donde en este último predominaba la fracción de arcilla. Por lo que se cumple la condición de que la fracción de arcilla retiene más el plaguicida. El hecho de que Clorotalonil se haya desorbido en una elevada cantidad, demuestra que este compuesto es muy estable y que por lo tanto es muy probable que pueda lixiviar a

las aguas subterráneas.

Cea M. (2006) propone los siguientes mecanismos de adsorción de plaguicidas ionizados con los coloides del suelo:



Donde S-OH representa los grupos hidroxilos superficiales en óxidos, arcillas minerales y materia orgánica del suelo y PI^- el plaguicida ionizado. Los mecanismos (11) y (12) son dominantes a pH ácidos, y el mecanismo (13) dominante a pH básico. Siendo los dos primeros los que predominan sobre los suelos en estudio. Dependiendo del pH del medio en el que se encuentren los plaguicidas, estos tenderán a ionizarse. A pHs ácidos estos tenderán a estar en su forma protonada, y a pHs mas altos en su forma neutra o desprotonados.

4.11 Comparación de las características fisicoquímicas de los plaguicidas analizados y su potencial lixiviación

Las diferencias en movilidad y persistencia de los plaguicidas contribuyen a la frecuencia de aparición de los plaguicidas en aguas subterráneas. Al mismo tiempo las características físicas y químicas de los plaguicidas pueden utilizarse para predecir la probabilidad de alcanzar el agua subterránea en concentraciones detectables.

Para algunos autores (Senseman y col, 1997) los plaguicidas con mayor probabilidad de contaminar el agua subterránea cumplirán al menos con dos de las siguientes condiciones:

Tabla 34: Condiciones necesarias de los plaguicidas para que aumente la probabilidad de alcanzar las aguas subterráneas

Condiciones	Metamidofos	Dimetoato	Clorotalonil
Solubilidad en agua > de 30 mg/L	x	x	-
Koc < 300 – 500	x	x	-
Vida media de hidrólisis > de 25 semanas	-	-	-
Vida media en suelo > 2 – 3 semanas	-	x	x
Vida media de fotólisis > 1 semana	-	-	-
Constante de la ley de Henry < 0,01 atm.m ³ /mol	x	x	x

Ellos también caracterizan las condiciones de campo del sitio en estudio como:

- Recarga (precipitación y riego) > 25 cm/año
- pH del suelo adecuado para la estabilidad del plaguicida
- Acuífero no confinado debajo de suelos permeables

Ambos criterios contribuyen a explicar los resultados obtenidos en este estudio ya que Metamidofos cumple con tres de las condiciones, Dimetoato cumple con cuatro y Clorotalonil cumple con dos condiciones. Por otro lado las condiciones de campo también cumplen con las condiciones necesarias para que se produzca la contaminación por plaguicidas de las aguas subterráneas.

La variabilidad de los datos de las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas dan una incerteza a la hora de afirmar el contacto de estos compuestos con las aguas subterráneas, ya que en muchos casos según la bibliografía consultada los datos varían hasta en uno o dos ordenes de magnitud, debido a que hay algunas propiedades que son altamente dependientes de las características del suelo, como por ejemplo la persistencia.

V. CONCLUSIONES

5.1 Específicas

- Mediante la información recabada acerca de los plaguicidas utilizados en el área de estudio se procedió a su elección para monitoreo, no obstante, la elección final de los plaguicidas a muestrear consideró la toxicidad o capacidad que presentan los compuestos según la dosis aplicada de causar daño; la carga de plaguicida sobre el área, definido como la cantidad de agricultores que usaban el mismo plaguicida y los plaguicidas que fueron usados durante los tres últimos meses anteriores al estudio. El máximo puntaje con (9) correspondió a Metamidofos, el cual estuvo determinado por su elevada toxicidad (categoría EPA: I) y ser el más utilizado durante los tres últimos meses. Su mayor puntaje resulta satisfactorio si se considera la naturaleza química del producto con presencia de tres grupos polares lo que determina su elevada solubilidad (Tabla 3). Metamidofos es un derivado del ácido fosfórico (organofosforado) por lo que se descompone con mayor facilidad y es menos persistente en el ambiente en comparación con los organoclorados.
- Dimtetoato y Clorotalonil obtuvieron los segundos puntajes máximos con (6). Ambos están clasificados en la categoría II de toxicidad. dimtetoato posee un mayor carga que Clorotalonil, pero fue utilizado solo en un predio durante el periodo de estudio.

- Los análisis en el laboratorio lograron determinar una concentración de Metamidofos baja para el suelo 1 disminuyendo con la profundidad y el mismo comportamiento se repitió en el suelo 2. Por lo tanto se puede concluir que éste compuesto se va descomponiendo a medida que aumenta la profundidad, dado que es un compuesto inestable en el suelo. Dada su elevada solubilidad y dependiendo de las características del suelo, éste podría lixiviar aún mas, pero con pocas posibilidades de alcanzar las napas subterráneas debido a la distancia en que se encuentran (30 y 90 m.s.n.m para los suelos 1 y 2 respectivamente)
- El hecho de encontrar una mayor concentración en las capas mas profundas del suelo para Dimetoato y Clorotalonil en dos predios, indica que estos compuestos están lixiviando a las capas mas profundas del suelo. Sus características químicas tales como menor solubilidad que Metamidofos y mayor persistencia, también son determinantes con estos resultados. Dadas también las características de los suelos, las condiciones climáticas de la zona, y el volumen de recarga de agua dulce a las napas subterráneas, es altamente factible que estos compuestos se encuentren cercanos o en las aguas subterráneas.
- Si bien la mayor aplicación de plaguicidas ocurre durante los meses de mayor calor, algunos de ellos también se usan durante las temporadas de invierno, cuando ocurren las mayores precipitaciones. Estas condiciones climáticas son favorables para la lixiviación de los plaguicidas dado que las precipitaciones lavan los suelos y los plaguicidas pueden moverse.

- La técnica elegida para la extracción de los plaguicidas desde la matriz del suelo, aunque no era específica para los plaguicidas analizados, igual se extrajo gran cantidad de ellos (>71,92 %), a pesar de tener que utilizar dos técnicas de cuantificación, ya sea por GC como por HPLC.
- Los estudios de adsorción de los plaguicidas demostraron que el único que queda fuertemente retenido en los suelos es clorotalonil, con valores de K_{oc} entre 816,27 y 977,46 para los suelos estudiados. Por lo tanto los únicos factores que condicionan su posible lixiviación son las condiciones climáticas y las propiedades de las capas más profundas del suelo, que teniendo estas características muy permeables y con la cantidad de precipitaciones, es muy probable que este compuesto siga lixivando. Esto se corrobora con el estudio de desorción hecho, y se confirma su desorción del suelo en cantidades mayores al 30% de su concentración adsorbida.
- A diferencia del plaguicida anterior, Metamidofos fue el plaguicida que tuvo la menor adsorción al suelo con valores de K_{oc} de 14,09 y 9,93 (ml/g) para ambos suelos, siendo el que tenía la mayor solubilidad en agua. Pero en caso de la llegada de una lluvia luego de su aplicación, se demostró que este compuesto especialmente en el suelo 2 puede desorberse a la solución acuosa del suelo. Lo cual se debió a que el suelo 2 lo retuvo más, ya que tenía mayor cantidad de arcilla y materia orgánica. Por lo tanto éste plaguicida en suelos donde puede adsorberse en mayor cantidad, luego de una lluvia, puede seguir lixivando.
- Finalmente Dimetoato se comportó como un plaguicida con características intermedias entre los dos anteriores, lo que nos brinda una visión más global cuando

analizamos los plaguicidas por sus propiedades fisicoquímicas. Sin embargo, fue el que se encontró con mas bajas concentraciones que los demás en el suelo superficial, pero casi triplicando su concentración en las capas mas profundas. Por lo tanto se puede concluir como un plaguicida potencial para contaminar las aguas subterráneas. Y su llegada a ellas dependerá entonces, de las condiciones climáticas y de la distancia que tiene que recorrer por el suelo y las propias características del suelo como la cantidad de arcilla, materia orgánica o el propio pH, influenciarán sobre la adsorción del plaguicida.

- Los plaguicidas potencialmente mas riesgosos para llegar a las napas subterráneas con las características de los suelos de la Isla de Pascua, serán los de mayor persistencia, estables a pHs ácidos, con elevadas solubilidades y bajos valores de Koc.

5.2 Generales

- Considerando a la Isla de Pascua como unidad de estudio, se observa que esta se comporta como un sistema frágil, susceptible a daños en el ecosistema provocados por la acción humana. La distancia al continente, el área de 166 km², y la cantidad de habitantes, nos indican de un lugar remoto, donde habita una pequeña población de una cultura totalmente diferente a la habitual en Chile continental.
- Los resultados de este estudio llevado a cabo sobre el análisis de suelos de uso agrícola, tiene el valor de un resultado indicativo. Se encontraron valores de

concentración elevadas para los tres plaguicidas que fueron analizados ya sea en la capa superficial, como a los 50 cm de profundidad e incluso dadas las diferentes características fisicoquímicas entre ellos, siendo unos más persistentes que otros, igual fue posible detectar su presencia y en cantidades suficientes como para encontrarlas a mayor profundidad.

- En este estudio solo se tomó en cuenta los ingredientes activos de cada plaguicida, sin considerar los compuestos de degradación de estos, que en algunos casos pueden llegar a ser más tóxicos, persistentes o solubles en agua que el propio ingrediente activo. Por lo tanto el área de estudio podría ser más afectada.
- La mayoría de los plaguicidas utilizados son productos de moderado a levemente tóxicos, pertenecientes a las clases II y III de la EPA (Tabla 6). Compuestos que son tóxicos tanto para el hombre como para la vida silvestre. Junto a esto los volúmenes aplicados, más malas prácticas agrícolas como las aplicaciones incorrectas o el abuso, agravan este problema.
- Cuando los plaguicidas percolan por debajo del horizonte superior más activo biológicamente, la degradación típicamente se hace más lenta. Es probable que, debido a la gran cantidad y frecuencia de precipitaciones en la isla, los plaguicidas alcancen a lixiviar rápidamente antes de ser degradados en las capas más superficiales del suelo.
- Aunque debido a las elevadas precipitaciones la dilución de los contaminantes sea efectiva, es probable que cuando la contaminación sea local, como en el caso de los plaguicidas, estos se acumulen en los suelos y con las lluvias vuelvan a la solución

del suelo para lixiviar por éste y llegar a las napas. Los predios que se ubiquen cerca de los pozos de donde extraen las aguas, serán los más propensos a contaminarlas.

- El acuífero, al ser de permeabilidad por fisuración de naturaleza volcánica, es altamente vulnerable a la contaminación, y su grado de vulnerabilidad dependerá de la distancia a la que se encuentren los focos de contaminación, el cual se midió como la altura en metros de los suelos sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Mientras la superficie del suelo esté a una mayor distancia de las aguas subterráneas, mayor será la distancia que éste tendrá que recorrer, y el riesgo disminuye.
- El problema de contaminación por plaguicidas en la isla es cada vez mas grave tanto por la cantidad y diversidad como por la resistencia a ellos, que adquieren algunas especies, lo que ocasiona que se requiera cada vez una mayor cantidad de plaguicida para obtener el efecto deseado en las plagas. El aumento de estas sustancias aparte de obtener el efecto deseado, pueden ser consumidos por el hombre a través de las plantas y animales contaminadas (Dethier, 1980; Téllez, 2002).

Los resultados obtenidos en este estudio sirven como base de datos para predecir escenarios futuros, así como también para poder formular estrategias de mejoramiento ambiental.

VI. RECOMENDACIONES

- La protección del medio ambiente y de las aguas subterráneas esta siendo reconocida como crítica en el mundo. Es por esta razón que en ecosistemas frágiles como los de la Isla de Pascua, las aplicaciones de plaguicidas deben ser controlados. Siendo recomendables el uso de plaguicidas con menor persistencia en suelos y bajo potencial de precolación, asociado a prácticas agrícolas con un manejo que minimice dicho efecto.
- La capacitación de los agricultores respecto al manejo de las plagas, el daño y toxicidad que los agroquímicos poseen (no solo a los seres humanos sino también al medio ambiente). También la forma correcta de manejar estos compuestos, tanto en su manipulación como a la hora de aplicarlos a los cultivos, se hace necesario para prevenir o minimizar posibles impactos sobre el medio ambiente y la salud de los agricultores.
- Aplicar el manejo integrado de plagas (MIP) y de malezas con el objeto de minimizar el uso de plaguicidas y fomentando el uso de pesticidas biológicos o botánicos y el uso de control biológico. (Entendiendo el MIP como la utilización armónica del mayor numero posible de técnicas apropiadas para reducir las poblaciones de plagas por debajo de los niveles de daño económico a la agricultura o a sus productos (Cancelado, 2000)).
- Fomentar la investigación para potenciar variedades de frutales y hortalizas que sean resistentes a plagas y enfermedades.

- Controlar la llegada e introducción de especies a la isla provenientes del continente y de el resto de la polinesia desde los aviones y barcos, fumigando estos tanto a la llegada a la isla como a la salida, o mas bien antes de su partida hacia la isla.
- Aplicar las prácticas de conservación de suelos para reducir al mínimo la cantidad de plaguicida en las aguas subterráneas.
- Supervisar la calidad de los productos hortofrutícolas para mantener a los habitantes fuera de riesgo de ingestión de productos tóxicos. Aparte esto servirá como base de datos para la práctica eficaz del manejo de suelo.
- Supervisar también la calidad de las aguas subterráneas para descartar la posible contaminación de estos por los plaguicidas. Dado que un estudio de este ultimo tiene un mayor costo asociado, se considera que es relevante si no se están tomando las medidas necesarias para evitar el daño.
- En la Isla de Pascua se hace relevante el buen manejo de los plaguicidas, dado la fragilidad del ecosistema.

VII BIBLIOGRAFIA

Aboul-Kassim T.A.T, Simoneit B.R.T. 2001. Interaction Mechanisms between Organic Pollutants and Solid Phase Systems. The Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 5, Chapter 2. Pp 110 – 111

Aguilera S.M, Borie G., Peirano P. y Galindo G. 1997. Organic Matter in Volcanic Soils in Chile: Chemical and Biochemical Characterization. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 28: (11), 899.

AMBAR, Consultoría e Ingeniería Ambiental. 2003. Estrategias y Acciones para la Conservación, Uso y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Patrimoniales de Isla de Pascua.

AMBAR, Consultoría e Ingeniería Ambienta. 2004. Diagnóstico Actualización Plan Regulador Isla de Pascua.

Ballschmiter K. 1996. Persistent, ecotoxic and bioaccumulative compounds and their possible environmental effects. Pure & Appl. Chem. 68:1771 – 1780.

Barriuso E. 2000. Contaminaciones con plaguicidas utilizados en agricultura: el comportamiento de los pesticidas en el suelo como base para la interpretación y la previsión de los riesgos de contaminación. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11-14 de abril de 2000.

Berguel N. 2004. Estimación del destino Ambiental de los pesticidas empleados en sistemas agroforestales de la Cuenca del Estero Peupeu en la comuna de Lautaro, IX Región. Tesis de grado en Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de Temuco.

Bifani D. 1999. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Cuarta Edición. Editorial IEPALA Madrid. Pp 593

Cancelado R. 2000. Concepto sobre Manejo Integrado de Plagas y su aplicación en América Latina. En: Manejo Integrado de plagas con tecnología MIP. Boletín de sanidad vegetal 29. ICA, Produmedios. Enero, 2000.

Cea M.X. 2006. Mecanismos físico-químicos involucrados en la retención de compuestos organoclorados en un suelo alofánico. Tesis para optar al grado académico Doctor en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de la Frontera

Chiou CT, Peters LJ, Freed VH, 1979. A physical concept of soil-water equilibria for nonionic organic compounds. *Science* 206: 831-832.

Chonay J.J. 2005. Análisis Químico de Suelos para una Fertilización Balanceada. Periódico el Sembrador, De la Escuela Nacional Central de Agricultura. Pagina web

Chopade, H.M. 1985. Hydrolysis of [¹⁴C]methamidophos in sterile aqueous buffers. Movía Chemical Corporation (MR 88829). Unpublished.

Comisión Nacional de Riego y Consultora Ingeniería Agrícola Ltda. (CNR).1998 Diagnostico para el Desarrollo Integral de Isla de Pascua: Proyecto Piloto de Riego en Cultivos Hortofrutícolas, V Región.

CONAMA y TESAM S.A. Comisión Nacional del Medio Ambiente y Tecnologías y Servicios Ambientales. 1996. Metodologías para la Caracterización de la Calidad Ambiental.

Cornejo J. 2001. Dinámica de plaguicidas en ecosistemas terrestres. Congreso Implementación del Convenio de Contaminantes Orgánicos Persistentes, Madrid, 26 – 27 de noviembre de 2001.

Enfield, C.G. y Yates, S.R. 1990. Organic chemical transport to groundwater. In *Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts and Movements*. H.H. Cheng, (eds.), Soil Science Society America, Madison, Wisconsin. Pp 271-302.

Etchevers B., J., Espinosa D.G. y Riquelme Y.E. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. Segunda edición. Universidad de Concepción, Chile.

Extention Toxicology Network. (EXTOXNET). <http://extoxnet.orst.edu/>

FAO. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. 1993. Informes sobre Temas Hídricos: Prevención de la Contaminación del Agua por la Agricultura y actividades afines.

FAO. 2003. Pesticides residues in food 2003 Evaluations.

FAO, pagina web: <http://www.fao.org>

Fournier J.C., Soulas G. y Parekh Nisha R. 1997. Main Microbial Mechanisms of Pesticide Degradation in Solis. Soil Ecotoxicology. CRC Press, Inc. (eds) Pp 85 – 116.

Frissel M.J. y Bolt G.H. 1962. Interaction between certain ionizable organic compounds (herbicidas) and clay minerals. Soil Sci. 94: 284 – 291.

Grupo de Gestión de Recursos Hídricos. Universidad Jaume I. Pagina web www.agua.uji.es

INIA. Investigaciones Agropecuarias, Secretaría Ministerial de Agricultura, 1985 Estudio de control Biológico de Plagas en Isla de Pascua.

Jerez S. 1999. Determinación de pesticidas Organoclorados en suelo agrícola y productos agropecuarios de la Comuna de Chonchi, Provincia de Chiloé. Tesis de Grado para optar al grado de Lic. Medicina Veterinaria. Facultad de Ciencias Veterinarias, Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

Linn D.M., Carski T.H., Brusseau M.L. y Chang F.H. 1993. Sorption and degradation of pesticides and organic chemical in soils. Soil Science Society America, Madison, Wisconsin.

López J.A., Martínez C., Moreno L. y Navarrete P. 1992. Las Aguas Subterráneas y los Plaguicidas. Instituto Geológico y Minero de España. <http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>

Loewy, R.M. 2000. Plaguicidas en aguas subterráneas del Alto Valle de Río Negro y Neuquen. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Argentina.

Martínez Muñoz L. 2001. Evaluación del Riesgo Carcinogénico de las Sustancias. Parte 2. Ejemplos de Valoraciones de Resultados experimentales. Anuario Toxicología 2001;1(1). Pp 17-24

Mills M.S., Hill I.R., Simmons N.D. y Newcombe A.C.1999. Pesticide degradation in Subsurface soils: Implications for groundwater risk assessments. ACS National Meeting R. 169 August 22-26.

Mitidieri M.S. 2006. Manejo integrado de enfermedades en cultivos de tomate bajo cubierta. Trabajo presentado Jornadas de Enfermedades en Cultivos Bajo Cubierta. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.U.N.La Plata - CIC.La Plata, 29 al 30 de junio de 2006. www.inta.gov.ar

Navarro S., Barba A., Cámara M. y Navarro S. 1992. Persistencia de los plaguicidas en los suelos agrícolas, procesos y factores condicionantes. Universidad de Murcia, editorial sucesores de Nogues, S.L. Pp 105.

Olave Y. 2001. Propuesta de monitoreo de pesticidas en la subcuenca del Río Traiguén. Tesis presentada a la Universidad Católica de Temuco, Chile. Pp 98.

Olivera S. y Rodríguez D. 2005. Pesticidas Salud y Ambiente. Laboratorio de Neurociencia Molecular (PEDECIBA) Departamento de Neuromiología, Instituto Clemente Estable

Pessoa D. 2005. Fármacos que regulan el sistema nervioso parasimpático. Guía del curso Fármaco-Química I, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Química, Departamento Farmacia.

Ramírez S. 2001. Efectos Nocivos Provocados por el Uso de Plaguicidas en la Fauna Silvestre de México y sus Consecuencias Ecológicas. Congreso Internacional Virtual; Ciencia, Biodiversidad y Tecnología Agropecuaria.

Rozas M. 1995. Plaguicidas en Chile. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, Instituto de Ecología Política. Santiago.

Russell M. H. 1995. Recommended approaches to assess pesticide mobility in soil. Chapter 2. Environmental Behaviour of Agrochemicals. Pp 69.

Sonnenberg G.J. 1988. The Global Positioning System, Radar and Electronic Navigation. Butterworths.

Thorstensen C.W., Lode O., Eklo O.M y Christiansen A. 2001. Sorption of Bentazone, Dichlorprop, MCPA, and Propiconazole in Reference Soils from Norway. Journal of Environmental Quality 30 : 2046 – 2052.

Torres, G 1997. Evaluación del comportamiento del ozono en Isla de Pascua durante 1996. Dirección Meteorológica de Chile. Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, Santiago Chile. Instituto Geográfico Militar.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). 1989. Pesticide Environmental Fate One Line Summary: Methamidophos. U.S. EPA Environmental Fate and Effects Division. Washington, DC. <http://www.epa.gov>

U.S EPA. 1999. Reconocimiento y Manejo de los Envenenamientos por Pesticidas. Quinta Edición. <http://www.epa.gov/pesticides/safety/healthcare>

U.S EPA. 2006. Interim Reregistration Eligibility Decision for Dimethoate. List B, Case No. 0088.

Wolfe, A.L. y Stallard, D.E. 1968. The fate of DAC-3701 (4-hydroxy-2,5,6-trichloroisophthalonitrile) in soil. Diamond Shamrock Chemical Co. (Unpublished)

World Health Organization (WHO) 1996. <http://www.inchem.org>

ANEXOS

ANEXO A

Capacidad de uso de los suelos

Generalidades:

La agrupación en clases de capacidad de uso, es una ordenación de los suelos existentes, para señalar su relativa adaptabilidad a ciertos cultivos; además, indica las dificultades y riesgos que se pueden presentar al usarlos, señalando las limitaciones naturales de los suelos.

Clase II: Son suelos que presentan ligeras limitaciones para su uso y restringen la elección de cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Son planos con ligeras pendientes, profundos a moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, presentan texturas favorables, que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos que la clase anterior.

Clase III: Son suelos que presentan moderadas limitaciones para su uso y restringen la elección de cultivos, aunque pueden ser buenos para algunas especies. La topografía varía de plana a moderadamente inclinada, lo cual puede dificultar severamente el riego. La permeabilidad puede variar de muy lenta a muy rápida.

Clase IV: Son suelos que presentan severas limitaciones para su uso y restringen fuertemente la elección de cultivos. Estos suelos, al ser cultivados requieren de

cuidadosas practicas de manejo y de conservación, mas dificiles y onerosas de aplicar y mantener que las clases anteriores.

Clase V: Es una clase especial de suelos que temporalmente no pueden ser usados y cuya posibilidad radica en la aplicación de tecnologías de habilitación normalmente onerosos. Una vez habilitados, si es posible, pueden ser ubicados en una clase mejor.

Clase VI: Suelos inadecuados para cultivos y su uso se ha restringido a empastadas y plantaciones forestales o nativas. Son suelos que tiene limitaciones permanentes, que no pueden ser corregidas, tales como pendientes pronunciadas susceptibles a erosión severa, efectos de erosión antigua, pedregosidad excesiva, zona radicular poco profunda, excesiva humedad, baja retención de humedad, alto contenido de sales, etc.

Clase VII: Son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para su uso con cultivos o plantaciones normales. Su uso es recomendable para empastadas resistentes y forestales.

Clase VIII: Son suelos sin valor agrícola, ganadero o forestal productivo. Su uso se ha dejado para vida silvestre, recreación o protección de cuencas hidrográficas.

Subclases:

“s” Limitaciones dentro del perfil del suelo

“e” Limitaciones por pendientes o riesgos de erosión y escurrimiento.

ANEXO B

Aptitud de los suelos

La aptitud del uso de suelos se define como el tipo de uso que el suelo es capaz de absorber sin comprometer sus funciones ambientales, condición que se cumple bajo determinadas medidas de conservación acordes a la fragilidad del recurso.

1.- Acantilado y sectores rocosos:

2.- Suelos aptos sólo para protección de cuencas o redes hidrográficas y vida silvestre: Este tipo de suelos son extremadamente frágiles como para ser utilizados, ellos deben destinarse a la protección de quebradas y cauces naturales. Constituyen también un hábitat adecuado para la vida silvestre.

3.- Suelos aptos para cubiertas forestales con máximas medidas de conservación. O bien para praderas permanentes con mínimas cargas animales: Estos suelos ocurren en pendientes pronunciadas y son altamente susceptibles a la erosión razón que obliga a mantenerlos con una cubierta vegetal permanente, idealmente forestal. Se debe evitar especies que acidifiquen aún más un suelo que, por condiciones naturales, ya posee cierta acidez. Así mismo, son preferibles las cubiertas vegetales pluriestratificadas y pluriespecíficas.

4.- Suelos marginales para praderas con mínimas cargas animales : Incluye suelos muy pedregosos y delgados que presentan, además, una fuerte erodabilidad. Por

sus características estos suelos deberían usarse sólo marginalmente como terrenos de pastoreo con praderas permanentes y cargas animales mínimas.

5.- Suelos aptos para praderas permanentes con elevadas medidas de conservación: Son suelos con mayor fragilidad frente al uso que los anteriores, pues son normalmente más delgados, pedregosos, con menor capacidad de retener humedad o bien ocurren en pendientes relativamente inclinadas y son, por ende, más susceptibles a la erosión. Son suelos que ocurren en relieves planos a ondulados. Poseen una limitada profundidad de arraigamiento, son delgados a moderadamente profundos, de escasa a moderada capacidad de almacenamiento de agua y, por lo tanto, relativamente sensibles a períodos de sequía. Las limitaciones son importantes y deberían excluirlos del uso agrícola, pero sí pueden usarse como terrenos de pastoreo a condición que se manejen con una cubierta de praderas permanentes acompañado de un sistema de pastoreo rotativo y de prácticas de control de erosión.

6.- Suelos con aptitud agrícola: Suelos de pendientes planas o casi planas con ligeras a limitaciones por suelo (algo de pedregosidad) o erosión. Poseen adecuada capacidad de retención de humedad y una moderada a buena fertilidad. Su profundidad de arraigamiento puede alcanzar hasta los 70 cm. Estos suelos pueden usarse para cultivos, frutales u hortalizas. El ideal es manejar los suelos con criterios conservacionistas, evitando dejar el suelo desnudo y minimizando las aplicaciones de agroquímicos. Se debe contemplar rotaciones cortas intercalando cultivos con praderas.

ANEXO C

Categorías de erosión

0. Sin Información

1. Erosión no aparente: Sectores donde no se observan signos de erosión.

2. Erosión ligera: En sectores más bien planos o poco inclinados ocurre cierto tipo de erosión denominada difusa y que consiste en la desagregación de la estructura superficial del suelo por efecto de la lluvia con arrastre y depositación de material en distancias relativamente cortas. Se pueden observar la ocurrencia de micropedestales de erosión y microcanalículos. La desagregación estructural es producto de la lluvia, el pisoteo animal, la quema y la pérdida de cobertura vegetal.

3. Erosión moderada: Los signos de erosión tales como surcos, pequeños pedestales de erosión y pisoteo animal son más evidentes, puesto que estos suelos ocurren en mayores pendientes que los de la clase anterior y presentan una cobertura vegetal más degradada, lo que ha facilitado una erosión más intensa.

4. Erosión severa: La erosión de surcos es más extendida, observándose también zanjas y pedestales de erosión de mayor altura que indican inicio de cárcavas y zanjas. Ocurren así mismo desprendimientos de placas de suelo quedando la roca expuesta en muchos

casos. Se presenta en pendientes más pronunciadas que en el caso anterior, en áreas de cobertura vegetal degradada.

5. Erosión muy severa: La erosión lineal toma la forma de zanjas densas y profundas, existiendo también cárcavas de gran desarrollo o en vías de formación. Las pendientes son abruptas, aunque se da también en lugares poco inclinados. La vegetación es de praderas degradadas.

6. Erosión geológica: Se manifiesta fundamentalmente por la concurrencia de altas pendientes, inestabilidad natural del material, acción de la gravedad y clima o abrasión marina en sectores de acantilados. Por su difícil acceso el hombre prácticamente no ha intervenido estos sectores.

ANEXO D

Categorías de Erodabilidad

Generalidades: La erodabilidad de los suelos demuestra la susceptibilidad de los suelos a la erosión, de acuerdo con sus propiedades intrínsecas, sin considerar variables climáticas o de cobertura vegetal.

0.- Sin Información

1. Muy alta: Incluye suelos moderadamente profundos, de elevadas pendientes sobre 30% y con una pedregosidad variada (VIIe). Ocupan una superficie del 35,8% del total de la isla. Los suelos pertenecientes a esta categoría están asociados a los volcanes principales y a las cadenas volcánicas secundarias.

2. Alta: Los suelos pertenecientes a esta categoría son de las clases VIIs, VIe, VIs y Ve de capacidad de uso y ocupan una superficie del 27,5% del suelo total. Son suelos muy delgados y pedregosos y/o con pendientes acentuadas que pueden alcanzar 15% y mas. Se incluyen, además, suelos clase V que no presentarían limitaciones para un pastoreo permanente.

3. Media: Se incluyen en esta categoría, suelos con pendientes hasta 15%, de profundidad variable y menos pedregosos que la categoría anterior. Los suelos son de clase IVe y Vs de capacidad de uso, y ocupan un 12,9% de la superficie total.

4. Baja: Los suelos de esta categoría no superan el 3% de pendiente, son poco pedregosos y moderadamente profundos a delgados (IVs y IIIe). Ocupan un 14,2% de la superficie total.

5. Muy baja: Acá se encuentran los mejores suelos de la isla, moderadamente profundos, con pendientes de 1 a 3% y poco pedregosos. Ocupan un 8,2% de la superficie total de la isla.

ANEXO E

Categorías de sensibilidad

1. Alta: Debido a su elevada productividad y escasas limitaciones, se han transformado en recursos escasos. Deben ser usados o recuperados para el uso que le es mas pertinente. Poseen gran importancia para el funcionamiento global del ecosistema debido a su función reguladora de procesos ecológicos o de hábitat para la biota. Presentan una baja capacidad de soportar la intervención antrópica. Son suelos que pueden presentar procesos degradativos importantes si ellos son utilizados en usos no aconsejados que implican cargas importantes.

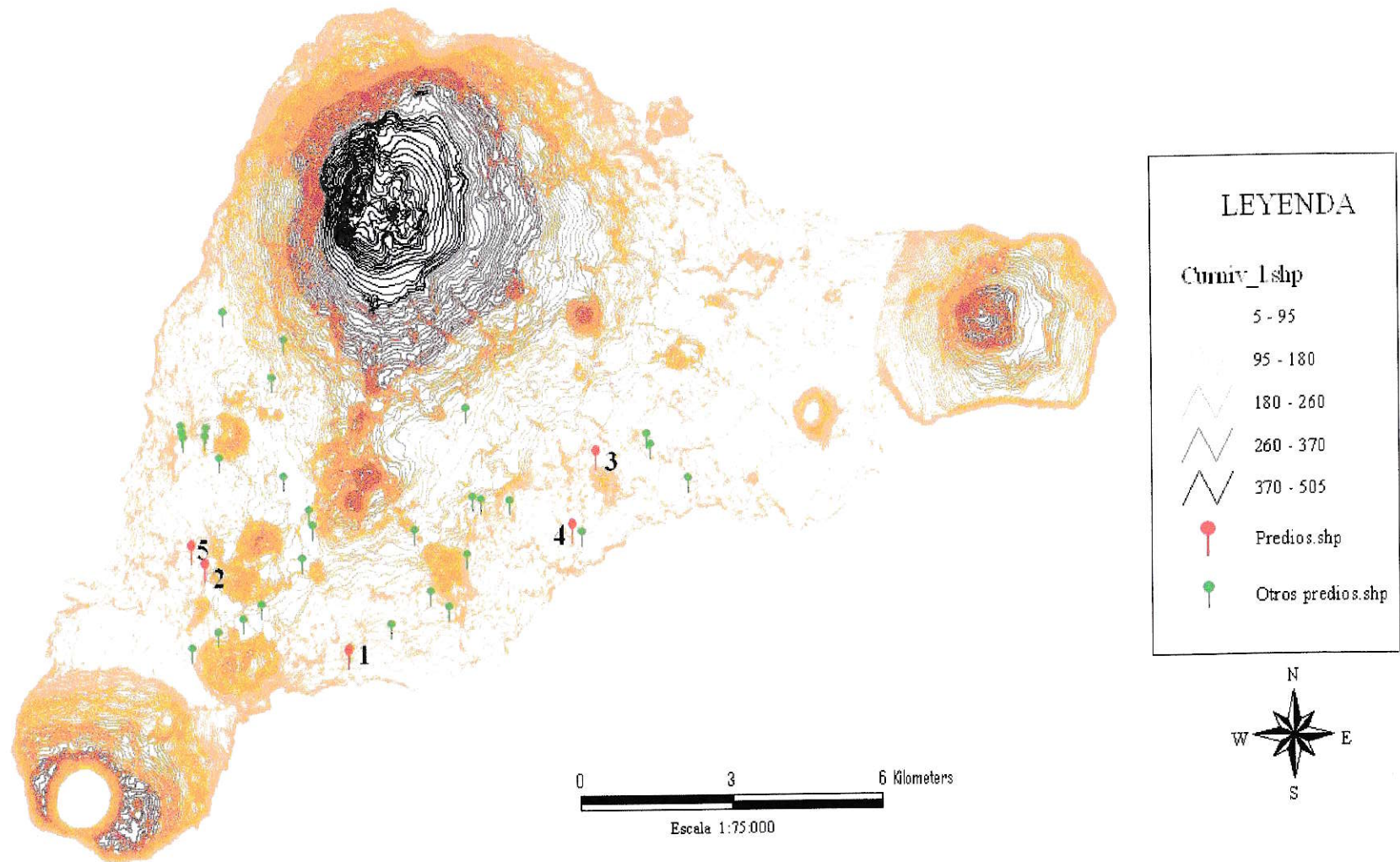
2. Media: Son suelos cuyas funciones ambientales cumplen un rol menos relevante por limitaciones propias del suelo o porque las funciones ambientales se encuentran parcialmente dañadas. Estos suelos toleran y permiten un mayor espectro de posibilidades de uso antrópico que aquellos suelos de sensibilidad alta. Sin embargo, para utilizarlos deben implementarse necesariamente, medidas de preservación del recurso en concordancia con el nivel de intervención al cual es sometido.

3. Baja: Son suelos que toleran y permiten un mayor espectro de posibilidades de uso antrópico que aquellos de sensibilidad media, a condición de que se implementen medidas de preservación del recurso en concordancia con el nivel de intervención al cual es sometido. Las funciones ambientales son poco relevantes o se encuentran muy dañadas.

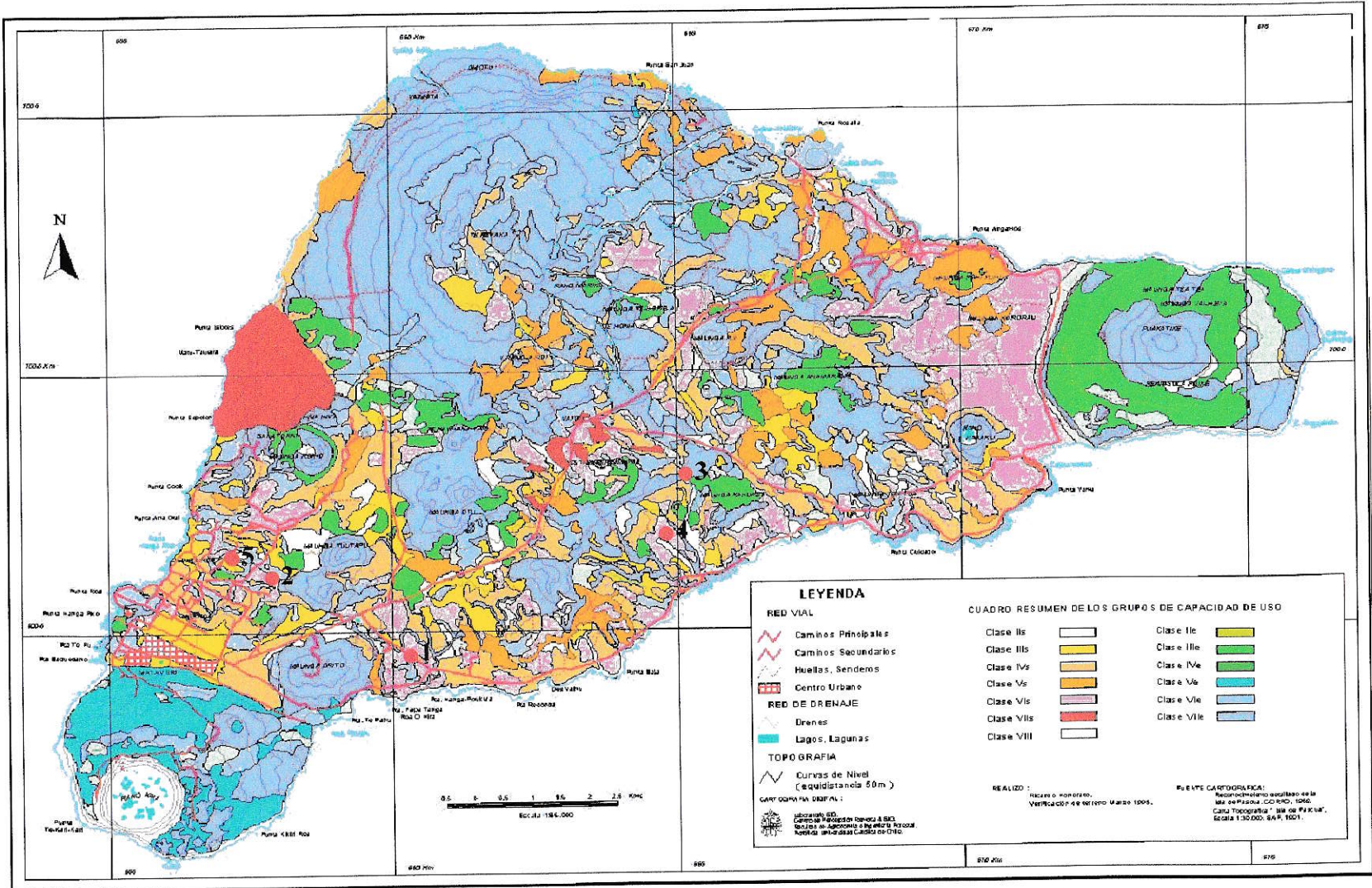
ANEXO F

Mapas a partir de la georeferenciación de los predios

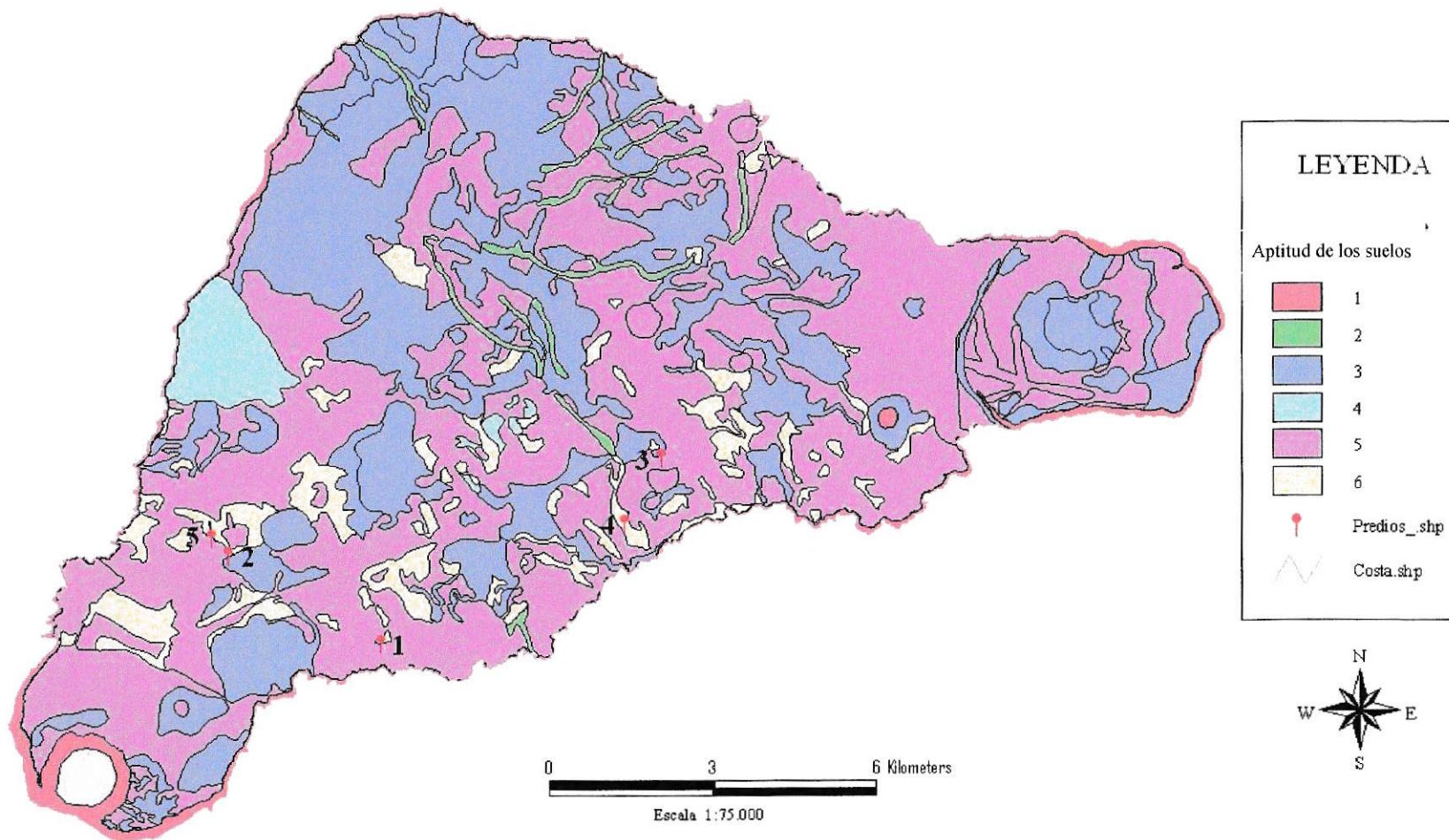
MAPA 1: TOTAL DE PREDIOS ENCUESTADOS; PREDIOS ANALIZADOS



MAPA 2: CAPACIDAD DE USO DE LOS SUELOS

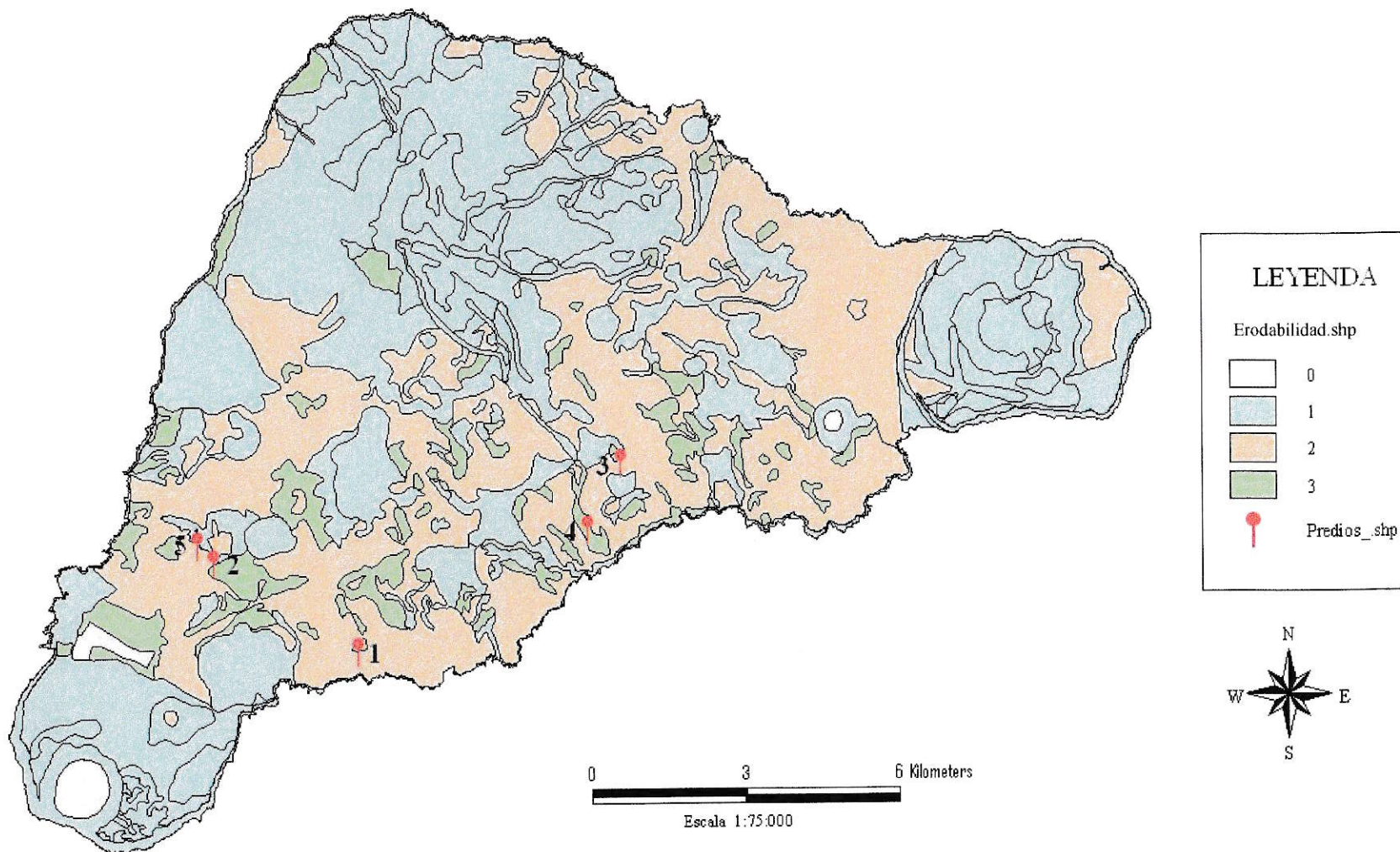


Fuente: CNR, 1998. Cartografía Digital realizado en Laboratorio SIG, Universidad Católica.

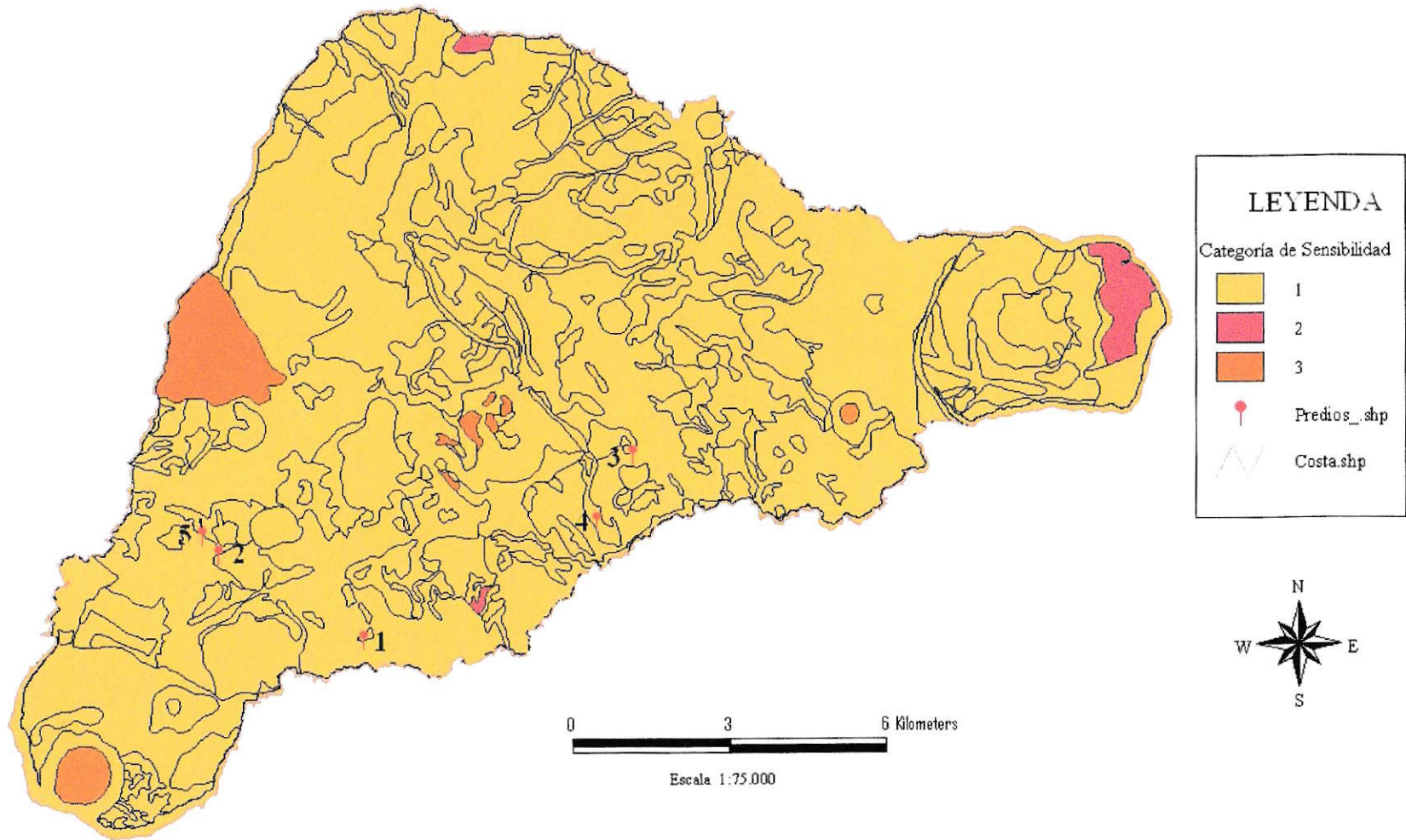
MAPA 3: APTITUD DE LOS SUELOS

MAPA 4: EROSION

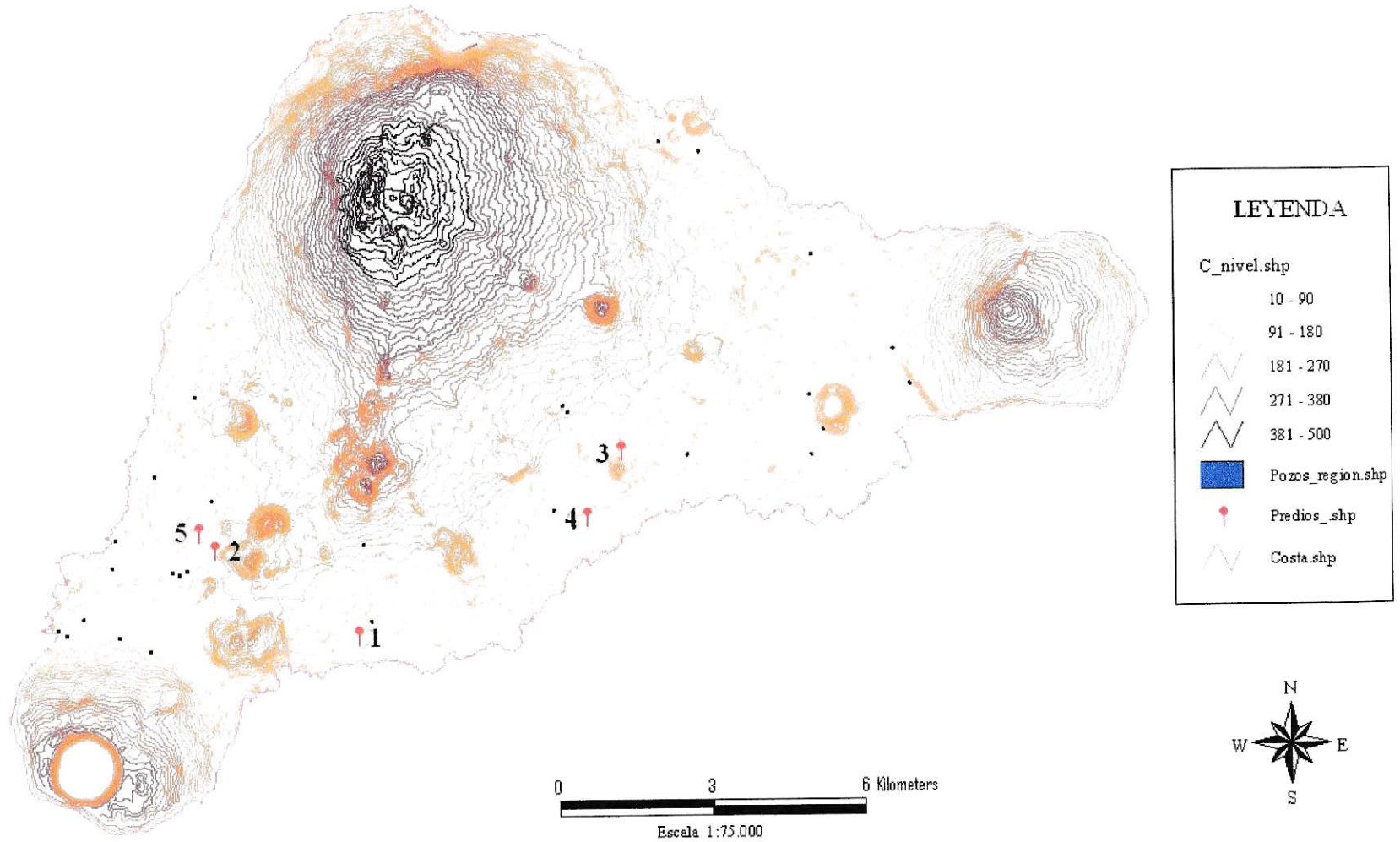


MAPA 5: ERODABILIDAD

MAPA 6: SENSIBILIDAD DE LOS SUELOS



MAPA 7: CURVA DE NIVEL; POZOS DE EXTRACCION DE AGUAS SUBTERRANEAS



ANEXO G

Categorías de los suelos, según sus clasificaciones debido a su contenido en materia orgánica y pH.

- Según contenido de materia orgánica

Tabla 35: Clasificación del contenido de materia orgánica en suelos volcánicos

Categoría	% Materia Orgánica en suelos volcánicos
Muy bajo	Menor 4,0
Bajo	4,1 a 6,0
Medio	6,1 a 10,9
Alto	11,0 a 16,0
Muy alto	Mayor a 16,1

Información propuesta por Etchevers, 1971.

- Según pH

Tabla 36: Escala de pH para suelos agrícola

Reacción	pH
Fuertemente ácido	Menor de 5
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino (suelos sódicos)	Mayor de 8,5

ANEXO H

Cálculos de la estimación de la concentración de los suelos

Para la obtención de los resultados de la concentración estimada en los suelos, se obtuvieron los datos de la recuperación del método en primer lugar.

A modo de ejemplo se utilizó el plaguicida metamidofos en el suelo 1.

Para metamidofos en el suelo 1 se obtuvo que la concentración total en el suelo en la capa superficial (0-3 cm), fue de 350,72 $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}$, y en la capa más profunda (50 cm) se obtuvo una concentración de 203,52 $\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}$.

Luego la recuperación del método arrojó los siguientes resultados:

Tabla 37: Recuperación del método suelo 1

Plaguicida	Suelo	Recuperación (%) (GC)	Recuperación (%) (HPLC)	Plaguicida Total Extraído (%)	Coefficiente Variación (%)
Metamidofos	1	6,95	88,56	95,51	7,83

Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

$$(0-3 \text{ cm}): \text{Concentración estimada } (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}) = (350,72 * 100 \%) / 95,51 \%$$

$$(0-3 \text{ cm}): \text{Concentración estimada } (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}) = \mathbf{367,21 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}})}$$

$$(50 \text{ cm}): \text{Concentración estimada } (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}) = (203,52 * 100 \%) / 95,51 \%$$

$$(50 \text{ cm}): \text{Concentración estimada } (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}}) = \mathbf{213,09 (\mu\text{g}/\text{kg}_{\text{suelo}})}$$

ANEXO I

Cálculos de los parámetros de la isoterma de adsorción y del estudio de desorción

Para la obtención de los parámetros, se utilizó el modelo matemático de Freundlich.

$$C_s = K_f * C_e^{1/n}$$

Donde:

C_s = Cantidad de sustancia adsorbida por unidad de masa adsorbente

K_f y $1/n$ = Constantes empíricas de cada sistema

equilibrio del compuesto en fase acuosa (C_e) versus la concentración del mismo

Como ejemplo se utilizó el plaguicida metamidofos. Para la determinación de la isoterma se realizó un ajuste potencial de los datos, lo cual nos permite obtener en forma

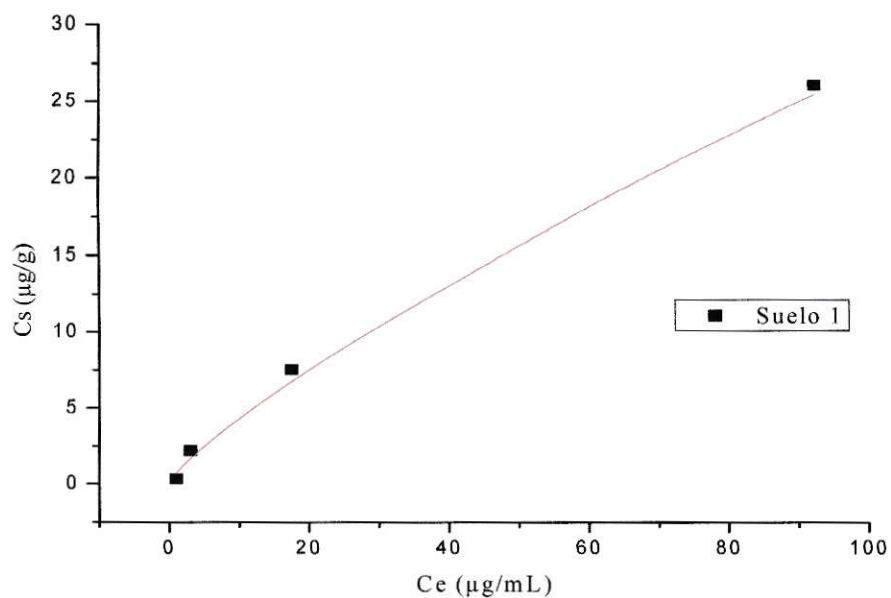


Figura 25: Isoterma de Adsorción de Metamidofos en suelo 1

De la ecuación se puede determinar:

$$C_s = 0,5173 * C_e^{0,9425}$$

$$R^2 = 0,925$$

Donde la pendiente es $1/n = 0,9425$ y el valor de $K_f = 0,5173$