

TESIS



Universidad Autónoma
del Estado de México

Ciencias Ambientales
Eva María Tarango Regis

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL | MARIANO MATAMOROS
CASI ESQUINA PASEO TOLLOCAN, 50130 TOLUCA DE LERDO, MÉX.



UAEM

Universidad Autónoma
del Estado de México



**Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Planeación Urbana y Regional**

Evaluación de la persistencia de carbofuran en el
cultivo de papa *solanum tuberosum L.*

TESIS

Que para obtener el título de
Licenciada en Ciencias Ambientales

Presenta:

Eva María Tarango Regis

Director de Tesis

Dr. en C. Huemantzin Balan Ortiz Oliveros

Asesor externo

Ing. Marco Antonio Tarango Carreño

Toluca, México, Noviembre 2019

Índice

Resumen	8
Abstract	9
1 Introducción	10
2 Esquema General de la Investigación	12
2.1 Planteamiento del Problema	13
2.2 Justificación	15
2.3 Hipótesis	16
2.4 Objetivo General	16
2.4.1 Objetivos Particulares	16
2.5 Diagrama Metodológico General	17
2.6 Antecedentes	18
3 Marco Teórico Conceptual	24
3.1 Definición taxonómica de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>) y requerimientos del cultivo	24
3.1.1 Producción	25
3.1.2 Importancia económica y social del cultivo	25
3.2 Plaguicida	26
3.2.1 Historia de los plaguicidas	26
3.2.2 Clasificación	27
3.2.3 Principales tipos de plaguicidas	27
3.2.4 Uso y Metodos de aplicación	29
3.2.5 Toxicología y toxicidad	31
3.2.6 Persistencia	32
3.2.7 Disposición de los envases	33

3.3	Furadan.....	33
3.3.1	Carbofuran.....	33
3.3.2	Medidas de protección al ambiente.....	35
3.3.3	Precauciones y efectos en la salud.....	35
3.4	Cromatografía	36
3.4.1	Tipos de Cromatografía	37
4	Marco Contextual	43
4.1	Descripción de la zona de estudio	43
4.1.1	Aspectos sociales y económicos	43
4.1.2	Hidrología	46
4.1.3	Suelos.....	46
4.1.4	Clima.....	47
4.1.5	Vegetación.....	47
4.1.6	Fauna.....	48
5	Marco Legal.....	49
5.1	Evolución del Marco Normativo	49
5.1.1	Marco Institucional para el control de plagas.....	52
5.1.2	Marco de competencias de las diferentes dependencias del gobierno en la gestión de los plaguicidas.....	53
5.1.3	Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) referentes a plaguicidas	53
6	Metodología.....	57
6.1	Descripción de la metodología.....	57
6.2	Diseño del cultivo experimental	59
7	Resultados y Discusiones	61
7.1	Siembra	61

7.1.1 Seguimiento del cultivo	64
7.1.2 Aplicaciones de carbofuran.....	65
7.1.3 Control de plagas.....	70
7.1.4 Preparación de Muestras.....	73
7.2 Datos generales del análisis químico	76
7.3 Resultados.....	77
7.3.1 Evaluación de carbofuran en muestras de papa.....	79
7.3.2 Evaluación de carbofuran en muestras de suelo	80
Conclusiones y Perspectivas.....	81
Conclusiones	81
Perspectivas	83
Referencias	84

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema general de la investigación	12
Figura 2 Diagrama metodológico general.....	17
Figura 3 Mapa base de la localidad de Calimaya	44
Figura 4 Comunidad de Zaragoza de Guadalupe	45
Figura 5 Porcentaje de vegetación en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe	48
Figura 6 Procedimiento para la aplicación de furadan.....	66
Figura 7 Procedimiento para la obtención de muestras.....	74

Índice de Tablas

Tabla I Características de la población de Zaragoza de Guadalupe	45
Tabla II Marco institucional para el control de plagas.....	52
Tabla III Marco de competencias de las diferentes dependencias de gobierno en la gestión de plaguicidas.....	53
Tabla IV Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) referentes a plaguicidas.....	53
Tabla V Aplicaciones de carbofuran.....	60
Tabla VI Aplicaciones de carbofuran a los tratamientos... ..	65
Tabla VII Resultados de las muestras de papa y suelo.....	77
Tabla VIII Presencia de carbofuran en muestras de papa	70
Tabla IX Presencia de carbofuran en muestras de suelo.....	80

Resumen

La aplicación de plaguicidas en el cultivo de papa tiene gran importancia para mejorar la productividad agrícola, sin embargo, puede alterar significativamente la dinámica de los recursos naturales y por consiguiente la salud humana.

Carbofuran es uno de los plaguicidas más efectivos y de mayor uso en los cultivos en México, éste es empleado intensivamente en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe en el Estado de México para la producción de papa. Debido a su toxicidad es importante evaluar su dispersión y persistencia en los sistemas de producción agrícola.

En este estudio se evaluó la persistencia de carbofuran en el cultivo de papa, en siete tratamientos de un cultivo experimental, a los cuales se les aplicó en diferentes fechas 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua. Muestras de suelo y papa de cada tratamiento fueron analizadas cualitativamente por medio de cromatografía de líquidos para determinar la presencia y/o ausencia de carbofuran.

Los resultados obtenidos mostraron que, en tres de las siete muestras de papa, existe la presencia de carbofuran. Al mismo tiempo, en las muestras de suelo, se observó carbofuran en cuatro de las siete muestras analizadas.

Estos resultados demuestran que el uso inadecuado de plaguicidas con carbofuran en cultivos de papa en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe podría afectar negativamente la calidad del tubérculo, ya que existe el riesgo de rebasar los límites máximos residuales permitidos legalmente en alimentos, poniendo en riesgo la salud de los consumidores del producto. Del mismo modo puede generar daños en los recursos entorno al cultivo, los resultados demuestran que la persistencia de carbofuran en el suelo es mayor que en la papa, esto puede afectar negativamente la calidad del suelo y posiblemente su fertilidad.

Abstract

The application of pesticides in potato cultivation is important in agricultural productivity however, it can significantly alter the dynamics of natural resources and human health.

In agricultural crops in Mexico, carbofuran is one of the most effective and widely used pesticides, this is used intensively in the community of Zaragoza de Guadalupe in the state of Mexico for potato production. Due to its toxicity it is important to evaluate its dispersion and persistence in agricultural production systems.

In this study, the persistence of carbofuran in potato cultivation was evaluated in seven treatments of an experimental culture, to which 90 mL of Furadan dissolved in 7 L of water was applied at different dates. Soil and potato samples from each treatment were analyzed qualitatively by means of liquid chromatography to determinate the presence and/or absence of carbofuran.

The results obtained showed that, in three of the seven potato samples, carbofuran is present. At the same time, in the soil samples, carbofuran was observed in four of the seven samples analyzed.

These results demonstrate that improper use of carbofuran pesticides in potato crops in the community of Zaragoza de Guadalupe could adversely affect tuber quality, since there is a risk of exceeding the maximum residual limits legally allowed in food, putting at risk the health of the consumers of the product.

In the same way it can generate damages in the resources around the crop, the results show that the persistence of carbofuran in the soil is greater than in the potato, this can negatively affect the quality of the soil and possibly its fertility in the future.

1 Introducción

En el mundo existen dos sistemas de producción agrícola: a) la agricultura tradicional y b) la agricultura moderna científica. Esta última se asocia con el uso intensivo de plaguicidas y agroquímicos que en su mayoría aparecieron durante la revolución verde.

El uso de los plaguicidas ha jugado un papel importante en las prácticas agrícolas actuales, como el principal método utilizado para el manejo de plagas y enfermedades. De hecho, el uso de éstos ha permitido un incremento en el rendimiento y calidad de los cultivos agrícolas. Sin embargo, con el paso del tiempo y debido a las afectaciones que causan en el ambiente y a la salud humana, se ha tenido que regular, controlar e incluso discontinuar la utilización de algunos plaguicidas, tal es el caso del carbofuran prohibido en el mercado europeo.

El carbofuran, aunque discontinuado en el mercado europeo, se emplea ampliamente en México para el control de insectos y nematodos de una gran variedad de cultivos, especialmente maíz, trigo, arroz, soja, papas, girasol, frutas (melón, uvas) y hortalizas, entre muchos otros. Tal es el caso del cultivo de la papa en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe, municipio de Calimaya en el Estado de México. En esta región, el carbofuran, se utiliza intensivamente para reducir daños y pérdidas producidas en el cultivo debido a malezas, insectos y enfermedades infecciosas, contribuyendo a la calidad y durabilidad en anaquel de la papa.

En este contexto se enmarca este trabajo de investigación, el cual tiene como finalidad evaluar la persistencia de carbofuran en el cultivo de papa (suelo y tubérculo), utilizando como técnica de análisis cualitativo la cromatografía de líquidos. Esta investigación se realizó a través de un cultivo experimental ubicado en comunidad de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya, Estado de México.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo fue estructurado en seis secciones. En la primera sección, se detalla el esquema general de la investigación en el que se plantea: el problema de estudio, la justificación del proyecto, los objetivos que persigue la investigación, la hipótesis, se esquematiza la metodología seguida y se realiza una revisión de los antecedentes más relevantes.

Por otro lado, en la segunda sección se desarrolla en marco teórico-conceptual en donde se definen y establecen los conceptos principales utilizados en la investigación, tales como: generalidades del cultivo de la papa, los plaguicidas y su clasificación, uso y aplicaciones, toxicidad, persistencia, entre otros elementos. Asimismo, se establecen los principios fundamentales de la cromatografía.

Posteriormente, en la tercera sección, se establece el marco contextual. En éste se plasmó la descripción de la zona en la cual se realizó el cultivo experimental y, al mismo tiempo, se describen algunos aspectos socioeconómicos y biofísicos de la región.

A continuación, se establece el marco legal aplicable en materia de plaguicidas. En esta sección se enfatiza el marco de competencias de las diferentes dependencias del Estado en la gestión de los plaguicidas, así como las normas oficiales mexicanas referentes a la aplicación de los mismos.

En seguida, se describen los métodos utilizados, de manera general para el proyecto y la metodología para el análisis de las muestras.

En la penúltima sección se presentan los resultados y discusiones referentes a la persistencia del carbofuran en el suelo y en tubérculo obtenidos en el cultivo experimental previamente diseñado.

Finalmente, en la última sección se plasman las conclusiones y perspectivas generadas en el trabajo de investigación.

Esquema General de la Investigación

En la figura 1 se presenta el esquema general de la investigación utilizado.

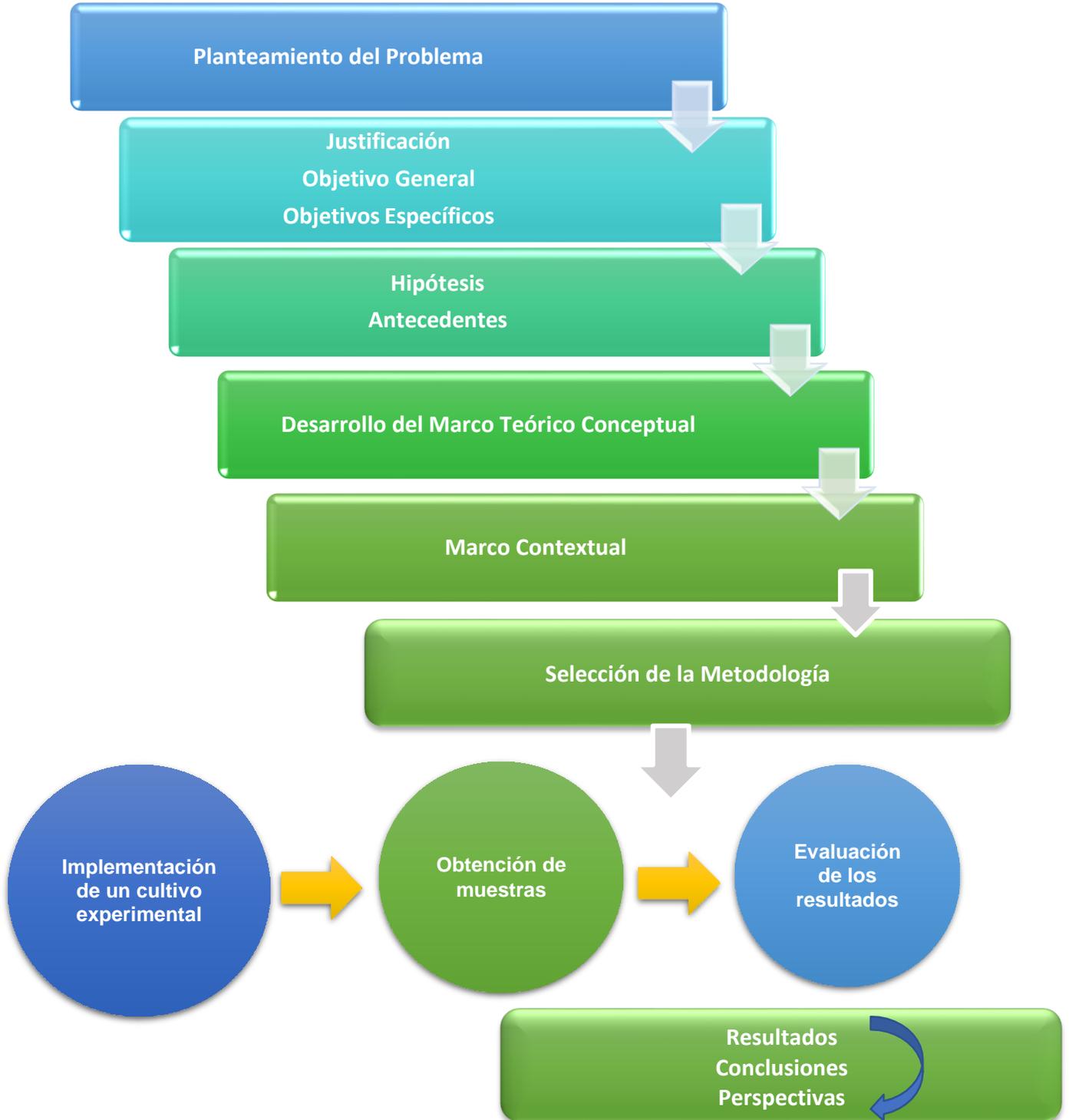


Fig.1 Esquema general de la investigación
Fuente: Elaboración propia

2.1 Planteamiento del Problema

En México la papa es un cultivo de suma importancia, ya que es parte de la alimentación de la población. Aun cuando no se considera el centro de origen de la papa, existe una gran diversidad de germoplasma (Scott, et al., 2000).

Las dos zonas más importantes, en México, de cultivo de papa son el Nevado de Toluca y el Pico de Orizaba, situadas a altitudes entre 2,900 y 3,400 msnm. Ambas regiones son lugar de origen de 17 variedades de *S. tuberosum*, pero sólo seis presentan adaptabilidad en México (Orona, et al., 1992).

La papa tiene alto potencial de rendimiento, incluso en sierras y valles altos de México, su fácil aclimatación a los ambientes marginales, contribución a la alimentación de los pequeños productores, flexibilidad en los sistemas agrícolas y múltiples usos, hacen de este cultivo un componente importante de la estrategia que contribuye a mejorar el bienestar de las comunidades. Al ser un cultivo de alto consumo en el país, se requiere de una mayor producción, por lo que una de las estrategias para mejorar el rendimiento del cultivo es recurrir a diferentes agentes químicos (UNICOOP, 2015).

En este sentido, el uso de plaguicidas se fundamenta en el control de las plagas y las enfermedades que afectan el cultivo, permitiendo mejorar sustancialmente los rendimientos en la producción de alimentos y para la expansión de cultivos. Sin embargo, conforme los agricultores intensifican la producción y empiezan a producir en zonas y en temporadas que no son las tradicionales, se genera una demanda en el uso de plaguicidas que conlleva consecuencias perjudiciales para la salud humana y el ambiente.

Por ejemplo, la contaminación ambiental por plaguicidas se genera en todos los medios bióticos y abióticos y es consecuencia de la aplicación directa en los cultivos agrícolas, lavado inadecuado de tanques, contenedores, etc. Cuando los plaguicidas ingresan en las cadenas alimenticias se distribuyen a través de ellas, se

concentran en cada nicho ecológico y se acumulan sucesivamente hasta que alcanzan, en casos extremos, una concentración letal para algún organismo. Por otro lado, los plaguicidas pueden afectar la salud humana a través de alimentos contaminados. La presencia de residuos de plaguicidas en alimentos, está relacionada directamente con los siguientes factores: uso, dosis, número de aplicaciones de las sustancias químicas, degradación de los compuestos, manejo del cultivo y condiciones climáticas (Bustamante Pérez , 2007).

Existen diversos trabajos sobre la presencia de residuos de plaguicidas en diferentes productos agropecuarios, tales como productos lácteos, frutas y vegetales, entre otros (Benítez Díaz , et al., 2015). Ninguno de ellos concluyente o enfocado a la región del nevado de Toluca.

Debido a estas problemáticas, es necesario realizar estudios a nivel local sobre el impacto de los plaguicidas en el ambiente y sobre los riesgos potenciales a la salud humana debidos a su persistencia en los alimentos y recursos bióticos y abióticos en general.

En este contexto, se plantea evaluar la persistencia de carbofuran en el cultivo de papa (suelo y tubérculo), utilizando como técnica de análisis cualitativo la cromatografía de líquidos. Este cultivo experimental se realizó, en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe en el municipio de Calimaya, Estado de México.

2.2 Justificación

El uso de plaguicidas juega un papel importante en las prácticas agrícolas actuales, como el principal método utilizado para el manejo de plagas y enfermedades, tanto es así en la agricultura extensiva como en los cultivos de localidades rurales.

Existen diversos trabajos sobre la presencia de residuos de plaguicidas en diferentes productos agropecuarios, tales como productos lácteos, frutas y vegetales, entre estos se encuentra la papa debido a su alto consumo y volumen de producción mundial y nacional (Benítez Díaz , et al., 2015).

Respecto a este proyecto, se enfoca en una investigación a nivel local sobre el uso de un plaguicida en particular y su detección en productos de cosecha y en el suelo.

Debido al uso intensivo de Furadan por los productores de papa en Zaragoza de Guadalupe, a las prácticas agrícolas actuales, métodos de aplicación sin el equipo de protección adecuado y sin tomar en cuenta las medidas de protección al ambiente; es importante la evaluación y el seguimiento de los residuos de Furadan en la papa, así como en el aire, el agua y el suelo.

Con un método de análisis semicuantitativo es factible evaluar los posibles daños generados en la salud humana y en los recursos naturales por el uso inadecuado de carbofuran.

2.3 Hipótesis

Se espera detectar la presencia de carbofuran en las muestras de papa y suelo a partir del segundo tratamiento.

La concentración de carbofuran en las muestras de papa y suelo será mayor a partir del segundo tratamiento e irá en aumento en los tratamientos siguientes.

2.4 Objetivo General

Realizar una evaluación de la persistencia de carbofuran en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*), para identificar un posible riesgo a la salud y al recurso suelo.

2.4.1 Objetivos Particulares

- ❖ Elaborar un marco de definiciones sobre los conceptos y categorías clave para esta investigación, así como los antecedentes sobre el tema a partir de estudios sobre el uso y efectos de los plaguicidas, cuyo fin es resumir sus aportes para compararlos con el caso de estudio de esta investigación.
- ❖ Realizar la caracterización de la comunidad de Zaragoza de Guadalupe, lugar donde se llevó a cabo el cultivo experimental.
- ❖ Implementar un cultivo experimental de papa (*Solanum tuberosum L.*).
- ❖ Obtener las muestras de suelo y papa correspondientes
- ❖ Evaluar la persistencia de carbofuran en el suelo y la papa.
- ❖ Elaborar el análisis general y las conclusiones del trabajo de investigación para proponer alternativas o recomendaciones con respecto al uso de Furadan.

2.5 Diagrama Metodológico General

Para lograr el objetivo general de la investigación se implementó un cultivo experimental, para esto se llevaron a cabo las actividades de la figura 1



Fig. 2 Metodología de la investigación

Fuente: Elaboración propia

2.6 Antecedentes

Para comprender el objetivo de esta investigación con respecto al uso de plaguicidas y los daños que ocasionan a la salud y al ambiente, así como la importancia de su uso en el día a día, es necesario tener en cuenta los antecedentes de investigación que se han generado en torno a ellos.

Las culturas antiguas desarrollaron diversas formas de repeler el ataque de plagas a sus cultivos, se basaron sobre todo en prácticas de control cultural en sentido amplio, fitogenético, botánico y control biológico (Ardón Mejía, 1993).

Pero fue hasta 1872 que se comercializó el primer plaguicida orgánico en Alemania, el dinitro-2-potasio-cresylato. A partir del año 1900, se inició con el desarrollo de nuevos insecticidas, fungicidas y herbicidas, pero la era moderna del control químico de plagas inició en 1934 con el descubrimiento del insecticida organoclorado DDT y de los herbicidas 2,4-D Atrazina (Ramírez & Lacasaña, 2001).

Con la llegada de los plaguicidas a los países en desarrollo durante la revolución verde, se inició una nueva forma de producción agrícola a corto plazo, incrementando la economía de países como México, lo cual marcó un parteaguas en la agricultura y en la forma de producir alimentos. Desde entonces la industria de los plaguicidas ha crecido de manera significativa, ampliando su mercado con la producción de nuevos ingredientes activos, nuevas presentaciones y formulaciones que atacan una gran cantidad de plagas, no sólo en el sector agrícola sino también en la industria, hogar, jardinería etc. (Ramírez & Lacasaña, 2001).

Hoy en día las plagas se han vuelto menos susceptibles al efecto de los plaguicidas, debido a que han generado resistencia o se han adaptado a su presencia, ocasionando que los agricultores eleven la dosis de plaguicida o recurran a compuestos químicos más agresivos, cómo por el ejemplo el carbofuran. Este tipo de compuestos químicos tienen la característica de modificar, en el corto y largo plazo, el equilibrio de los ecosistemas y del ambiente en general. En este sentido,

la alteración de los mecanismos naturales de regulación provoca que las especies que no se consideraban plagas se conviertan en ellas, sobre todo por la desaparición de sus depredadores naturales (Rey Castro, 2013).

Como lo plantea Acosta (1976), en la tesis sobre residuos de plaguicidas en el cultivo de papa, el peligro de los plaguicidas está asociado a la persistencia y por lo tanto al incremento de los residuos de estas sustancias químicas en los alimentos. A cuarenta años de la publicación de esta tesis, cuando la entrada de los plaguicidas en México tenía tan sólo treinta años, ya se planteaban los efectos adversos que el uso de los plaguicidas conlleva al medio ambiente y a la salud humana. Hoy en día es evidente que el uso desmedido e irresponsable de los plaguicidas ha traído consecuencias graves; sin embargo, a pesar de los avances científicos y legislativos en el tema, no se ha podido hacer mucho para regular el uso de los plaguicidas, aunque existen reglamentos y normatividad, el control de plaguicidas es todavía insuficiente (Acosta Vargas , 1976).

En este contexto, para entender cómo se comporta un plaguicida en el ambiente se necesitan conocer las propiedades fisicoquímicas de la molécula y el mecanismo de transporte, así como las características medio ambientales y geográficas del lugar en el que se aplicará la sustancia química (Bustamante Pérez , 2007). Aunado a lo anterior, la molécula del plaguicida no permanece intacta por tiempo indefinido en el ambiente, ya que con el tiempo sufre una degradación y/o transformación influenciada por microorganismos, actividad química, pH, clima y contenido de materia orgánica en el suelo entre otros (Bustamante Pérez , 2007), dando pie a la producción de sustancias químicas residuales cuyos efectos al ambiente y a la salud son de preocupación internacional.

Los efectos de los plaguicidas en el ambiente se presentan tanto en el medio biótico como en el abiótico, por ejemplo, en el aire producen alteraciones negativas provocadas por la aspersión que generan partículas tóxicas en suspensión. Las sustancias químicas del plaguicida se volatilizan desde el suelo, fenómeno que

depende sobre todo de la presión de vapor, la solubilidad del plaguicida en agua, las condiciones ambientales y la naturaleza del sustrato tratado. También desde el agua puede contaminarse la atmósfera, como es el caso de los plaguicidas clorados, poco solubles en ésta, por lo que tienden a situarse en la interface agua-aire. Se calcula, por ejemplo, que a partir de una hectárea de agua tratada pueden pasar al aire, en un año, unos 9 kg de DDT (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014).

En el caso del agua, los plaguicidas constituyen impurezas que pueden llegar directamente a los humanos a través del agua potable y en forma indirecta a través de la cadena biológica de los alimentos. Estas sustancias químicas pueden ser resistentes a la degradación y, en consecuencia, persistir por largos periodos de tiempo en las aguas subterráneas y superficiales (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014). Las principales vías de incorporación de los plaguicidas en los recursos hídricos son por medio de:

- Aplicación directa a los cursos de agua, para el control de plantas acuáticas, insectos o peces indeseables.
- Infiltración a los mantos de agua subterráneos o escurrimiento superficial a ríos, arroyos, lagos desde las zonas agrícolas vecinas.
- Descarga de aguas residuales de industrias productoras de plaguicidas.
- Descargas provenientes del lavado de equipos empleados en la mezcla y aplicación de dichos productos.

Por otro lado, la contaminación de los suelos por plaguicidas está asociada al incremento de las sales (salinización), la alteración de la fertilidad y la disminución de la fauna y flora. De hecho, se estima que el 50 % de los plaguicidas utilizados en el mundo se depositan en los suelos, impidiendo el proceso natural de fertilización. Como consecuencia de ello, éstos pierden capacidad, los productos son de menor calidad nutritiva y, en algunos casos, los niveles de contaminación son peligrosos para la salud de quienes los van a consumir (Bustamante Pérez , 2007).

En particular, la mayoría de los herbicidas, derivados fosforados y carbamatos, depositados en el suelo, sufren degradaciones microbianas y sus residuos desaparecen en tiempo relativamente corto, sin embargo, los residuos (producto de su degradación) suelen acumularse en los suelos (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014).

La acumulación de éstos, depende del tipo de suelo; los arcillosos y orgánicos retienen más residuos que los arenosos. Los mayores riesgos se presentan con la aplicación de algunos plaguicidas organoclorados, que tienden a persistir en el suelo durante largos periodos de tiempo. Con respecto a la flora y fauna de los suelos, algunas variedades de insectos y hongos han desarrollado tolerancia a los plaguicidas, lo que afecta particularmente a los monocultivos (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014).

De manera paralela, las afectaciones que producen las sustancias químicas que componen los plaguicidas en el aire, suelo y agua, lógicamente están relacionados con los efectos que éstos pueden tener en la salud de los mamíferos incluidos los seres humanos. En este sentido, los plaguicidas entran en contacto con el ser humano a través de diferentes vías de exposición: respiratoria, digestiva y dérmica, pues estos pueden encontrarse en función de sus características, en el aire inhalado, en el agua y en los alimentos, entre otros medios ambientales (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014).

Los efectos que éstos tienen en la salud pueden ser agudos y crónicos; se entiende por agudos aquellas intoxicaciones vinculadas a una exposición de corto tiempo con efectos sistémicos o localizados, y por crónicos a aquellas manifestaciones o patologías vinculadas a la exposición a bajas dosis por largo tiempo. Un plaguicida tendrá un efecto negativo sobre la salud humana cuando el grado de exposición supere los niveles considerados seguros. Puede darse una exposición directa a plaguicidas (en el caso de los trabajadores de las industrias que fabrican plaguicidas y agricultores que los aplican), o una exposición indirecta (en el caso de consumidores, residentes y transeúntes), en particular durante o después de la

aplicación de plaguicidas en agricultura, jardinería o terrenos deportivos y otras actividades (Del Puerto Rodríguez , et al., 2014).

Sin duda alguna, la alimentación es una de las principales vías de exposición a los plaguicidas. Una vez que se encuentra el plaguicida sobre el vegetal, a lo largo del tiempo, los residuos van disminuyendo progresivamente por acción de diversas causas, como el crecimiento del órgano vegetal tratado, la eliminación por agentes mecánicos como el viento y la lluvia o por causas físicas como la volatilización y/o solubilización y la degradación química, entre otras (Briz López , 2014).

Se puede afirmar que en la actualidad es frecuente identificar residuos de plaguicidas en los alimentos y en muchos casos se detectan concentraciones de estos por encima de los límites de tolerancia recomendados por la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2008).

En el caso particular, del cultivo de papa, (tubérculo utilizado experimentalmente en este trabajo de investigación), utiliza una gran cantidad de plaguicidas. Un estudio de caso que comprueba este hecho es una investigación que se realizó en la región agrícola de Venezuela. Se encontró la presencia de plaguicidas en la cáscara y porción interna de la papa. Para la identificación y cuantificación del plaguicida, utilizaron cromatografía de líquidos. Los resultados obtenidos evidenciaron que la cáscara de papa contenía al menos ocho plaguicidas, todos ellos por encima del límite máximo de residuos permisibles para el caso de Venezuela. En la porción interna, se detectaron residuos de cinco plaguicidas, entre ellos carbofuran, de igual forma por encima de los límites permisibles (Benítez Díaz , et al., 2015).

Dados los resultados que arrojo esta investigación se recomienda eliminar la cáscara antes de consumir o procesar la papa, particularmente porque en el interior del tubérculo disminuye la frecuencia de detección y casi todos los plaguicidas disminuyen su concentración, estos resultados demuestran que el uso inadecuado de plaguicidas en cultivos de papa podría afectar negativamente la calidad del

tubérculo, poniendo en riesgo la salud de los consumidores finales del producto (Benítez Díaz , et al., 2015).

En este contexto, se planteó evaluar la persistencia de carbofuran en el cultivo de papa (suelo y tubérculo), utilizando como técnica de análisis cualitativo la cromatografía de líquidos. Este cultivo experimental se realizó, en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe en el municipio de Calimaya, Estado de México. Este municipio se caracteriza por contar con grandes extensiones de cultivos del tubérculo, por lo cual es un excelente sitio de estudio para evaluar los posibles impactos ambientales y a la salud por el uso indiscriminado de pesticidas, en particular, del carbofuran.

3 Marco Teórico Conceptual

3.1 Definición taxonómica de la papa (*Solanum tuberosum*) y requerimientos del cultivo

La papa (*Solanum tuberosum*) es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón que ocupa el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz.

Al crecer, las hojas compuestas de la planta de la papa producen almidón, el cual se desplaza hacia la parte final de los tallos subterráneos, también llamados estolones. Estos tallos sufren la consecuencia de un engrosamiento y así se producen hasta 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo (FAO, 2008).

La papa puede crecer en la mayoría de los suelos, aunque son recomendables suelos con poca resistencia al crecimiento de los tubérculos. Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha.

La altitud puede variar, pues el cultivo se desarrolla bien desde alturas mínimas de 460 hasta los 3,000 msnm, pero la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de papa.

Los requerimientos hídricos varían entre los 600 a 1000 milímetros por ciclo de producción, lo cual dependerá de las condiciones de temperatura, capacidad de almacenamiento del suelo y de la variedad. Las mayores demandas existen en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo que es necesario efectuar algunos riegos secundarios en los períodos más críticos del cultivo, cuando no se presenta precipitación (INTAGRI, 2017).

3.1.1 Producción

En México, el ciclo más importante de producción de papa es el de primavera-verano, ya que durante este se obtiene alrededor de 60% de la producción, y el otro 40% corresponde al ciclo otoño-invierno. De la superficie destinada al cultivo de papa, 63% se siembra en condiciones de riego y 37% en temporal (SAGARPA, 2007).

A nivel Nacional en el año 2017 se sembraron 31,401 ha de papa, de las cuales se cosecharon 30,595 ha en el periodo primavera-verano, en total se obtuvo una producción de 935,276 toneladas de papa tomando en cuenta cultivos de riego y temporal.

México se considera autosuficiente en la producción de papa, por su amplia distribución en el país, se produce todo el año, aunque el consumo nacional es bajo, aproximadamente de 14.3 kilogramos per cápita anual, cuando en países como Rusia y Alemania se consumen 130 kg, en Perú 80 kg, en Canadá 60 kg y casos como Estados Unidos que consumen 56 kg promedio por persona anualmente (Haro, 2019).

El estado de México es uno de los principales productores de papa en el país, en el año 2017 la superficie sembrada fue de 5,163 ha de las cuales se cosecharon 5,153 ha obteniendo una producción total de 154,365 toneladas, el rendimiento por hectárea obtenido fue de 29.956 ton/ha (SIAP, 2017).

3.1.2 Importancia económica y social del cultivo

Las principales regiones productoras de papa en el mundo se encuentran en Asia y Europa, ya que aportan más de 260 millones de toneladas de papa al año (FAOSTAT, 2005).

La papa es el quinto alimento más consumido por los mexicanos. Comenzó a cultivarse en México antes de 1940 bajo condiciones de temporal en sierras y valles altos (Tlaxcala, Puebla, Veracruz y Estado de México, primordialmente en el área del eje volcánico) (Cepeda & Gallegos , 2003).

Actualmente, las principales zonas productoras se localizan en altitudes de entre 15 y 3550 msnm. Entre los estados con mayor potencia de producción de papa están Sinaloa, Sonora, Nuevo León, Veracruz, Estado de México, Puebla y Chihuahua, que en conjunto concentran el 68% de la producción (Bolaños, 2006).

3.2 Plaguicida

El artículo 2° del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas define a los plaguicidas como: cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte y comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos (FAO, 1990).

3.2.1 Historia de los plaguicidas

Los plaguicidas sintéticos surgen entre 1930 y 1940 como resultado de investigaciones enfocadas al desarrollo de armas químicas que originalmente fueron probadas en insectos. Uno de los primeros compuestos, el diclorodifeniltricloroetano (DDT) fue sintetizado por Zeidler en 1874, y sus propiedades insecticidas fueron descritas por Paul Müller hacia 1939. El DDT se utilizó por primera vez durante la segunda Guerra Mundial para proteger a los soldados estadounidenses contra enfermedades transmitidas por vector y se comercializó en los EE.UU. en 1945. La pujante industrialización, los intereses

económicos de los grandes productores de plaguicidas, así como la necesidad de controlar químicamente las plagas, favoreció su fabricación y consumo a escala mundial (Ramírez & Lacasaña, 2001).

Al paso de algunos años se han hecho evidentes los efectos indeseables de los plaguicidas sobre la salud del ser humano y sobre el medio ambiente. Independientemente de sus beneficios, es evidente que los plaguicidas son sustancias químicas deliberadamente tóxicas, creadas para interferir algún sistema biológico en particular y que carecen de selectividad real.

Actualmente, miles de productos se comercializan en todo el mundo, sin que los efectos nocivos sean obstáculos que limiten su producción (Ramírez & Lacasaña, 2001).

3.2.2 Clasificación

Conforme a su toxicidad aguda, los plaguicidas se clasifican en extremadamente peligrosos, altamente peligrosos, moderadamente peligrosos y ligeramente peligrosos. Según su vida media, son permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes. Dada su estructura química, se clasifican en diversas familias, como los organoclorados, los organofosforados, los carbamatos y los piretroides (Ramírez, 2001).

3.2.3 Principales tipos de plaguicidas

Existen más de quinientos plaguicidas sintéticos que se utilizan en la agricultura. Entre los plaguicidas sintéticos más utilizados y difundidos se encuentran el DDT, el dieldrín, el aldrín, el heptacloro, el clordano, etc.

En general los plaguicidas sintéticos se clasifican de acuerdo con la composición química que poseen. Los más utilizados y conocidos son:

CLORADOS: entre este tipo de plaguicida se encuentra el DDT, el gamexane, el aldrín, el dieldrín, el heptacloro y octacloro. Sus moléculas son del tipo soluble en grasas (cuyo nombre científico sería lípidos). Fueron creados y difundidos a partir de 1945, luego de la Segunda Guerra Mundial. Presentan un gran inconveniente: su permanencia es de larga duración ya que las moléculas que lo componen poseen gran estabilidad (su acción puede perdurar por varios años). Otra desventaja es que esta sustancia indeseada entra en las cadenas tróficas a través de la ingesta de un alimento rociado con el plaguicida sintético. En los mamíferos produce trastornos varios e intoxicación hepática. Este tipo de plaguicida se encuentra prohibido en muchos países. En la República Argentina no se permite su venta ya que la ley prohíbe su utilización (Plagas y Desinfección, 2005).

FOSFORADOS: entre los plaguicidas fosforados se encuentran el parathion y el monocrotofós. Son sustancias sumamente tóxicas aun utilizándose en dosis muy bajas. Su acción permanece en el vegetal mucho menos tiempo que los clorados, pero, hay que tener cuidado en su aplicación debido a que son sumamente tóxicos y penetran a través del contacto con la piel. Actúan a nivel del sistema nervioso. La utilización de los plaguicidas sintéticos fosforados está prohibida en muchos países. Sin embargo, todavía se siguen utilizando ya que resultan ser muy baratos (Plagas y Desinfección, 2005).

CARBAMATOS: entre este tipo de plaguicidas sintéticos se encuentran el aldicarb y el carbofuran. Su efecto es similar a la acción que producen los plaguicidas fosforados. Este grupo de plaguicidas representa una muy amplia gama de sustancias. Entre éstas, se encuentran algunas peligrosamente tóxicas, pero también se hallan algunas sustancias que no representan un peligro demasiado grande (Plagas y Desinfección, 2005).

PIRETROIDES: Dentro de este grupo se encuentran la cipermetrina, la deltametrina, etc. La piretrina es una sustancia que se extrae de la flor de los crisantemos y se utiliza como insecticida natural. Estas sustancias intentan imitar la estructura química de la piretrina. El inconveniente con el que se han encontrado

sus creadores es que la molécula de esta sustancia es altamente inestable y se deshace con facilidad. Este problema ha sido resuelto combinando la sustancia con cloro o bromo para brindarle la estabilidad que no poseía (Plagas y Desinfección, 2005).

3.2.4 Uso y Metodos de aplicación

Uso

En México se han usado plaguicidas en la agricultura desde fines del siglo XIX. No hay datos actuales ni confiables sobre la cantidad de plaguicidas que se usan en el país; en 1955, la Asociación Mexicana de Fabricantes de Plaguicidas y Fertilizantes afirmó que se consumían alrededor de 55 mil toneladas anuales de ingrediente activo y, en 2008, la SEMARNAT calculó que se usaban unas 93 mil toneladas anuales.

Considerando el tiempo transcurrido, es posible que actualmente se estén usando alrededor de 100 mil toneladas anuales, lo que supondría que en México se usa, en promedio, cerca de un kilo de estos productos por habitante por año (América Albert , 2015).

El uso de plaguicidas representa un importante riesgo para la salud y se puede prevenir a través de acciones conjuntas de diferentes actores, buscando siempre proteger a la población rural y urbana (Eijkemans, 2018).

Es por lo anterior, que Protección de Cultivos, Ciencia y Tecnología (PROCCYT) crea la Campaña para el Buen Uso y Manejo de los Agroquímicos “BUMA” reconociendo que se requiere que los usuarios hagan un uso adecuado de los productos para la protección de cultivos.

Este programa consiste en capacitar a la Industria de la protección de cultivos dentro de las actividades del Proyecto Reducción a la Exposición Laboral por el Uso de Plaguicidas (PRELUP) el cual desarrolla la Comisión de Fomento Sanitario de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios COFEPRIS el cual

tiene como objetivo capacitar a capacitadores con el fin de que éstos repliquen de manera unificada y extensiva el Buen Uso y Manejo de los Agroquímicos a nivel nacional.

Este programa convoca a los diferentes sectores de gobierno, privado y social involucrados en los procesos de la inocuidad agroalimentaria del país (PROCCYT, 2015).

Metodos de aplicación

La clasificación de los métodos de aplicación de plaguicidas se realiza en función del medio que soporta al producto, que puede ser sólido, líquido o gaseoso:

- Espolvoreo. Consiste en la distribución del fitosanitario en forma de polvo, mediante la aplicación de una corriente de aire, que al paso por el depósito de tratamiento arrastra parte del producto.
- Pulverización. Mediante este método la distribución de los plaguicidas se realiza en forma de líquido, que se deposita sobre las plantas en forma de pequeñas gotas.
- Fumigación. Consiste en la aplicación del producto en forma de gas y requiere la intervención de personal especializado, autorizado al efecto.
- Aplicación de cebos. Colocación de determinados preparados para atraer o repeler agentes nocivos (ej: roedores, etc.).
- Tratamientos vía riego. Es un sistema de aplicación muy frecuente en plantaciones con sistema de riego localizado.
Aplicación en el suelo. Consiste en la incorporación al suelo del plaguicida sólido en forma de gránulos, que una vez enterrados desprenden gases que se mezclan con el aire del suelo (Infoagro, 1997).

3.2.5 Toxicología y toxicidad

Toxicología

La toxicología es el estudio de los venenos o, en una definición más precisa, la identificación y cuantificación de los efectos adversos asociados a la exposición a agentes físicos, sustancias químicas y otras situaciones. La toxicología abarca desde estudios de investigación básica sobre el mecanismo de acción de los agentes tóxicos hasta la elaboración e interpretación de pruebas normalizadas para determinar las propiedades tóxicas de los agentes. (Silbergeld, 2006).

En el caso de los plaguicidas organofosforados y carbamatos, se absorben por vía dérmica, respiratoria y digestiva; la primera es relevante en el ámbito laboral, las restantes en la población general. Se distribuyen por vía sanguínea y las vías de eliminación son la orina, las heces fecales y el aire exhalado, entre otras. Actúan inhibiendo la actividad de la acetilcolinesterasa, en el caso de los carbamatos la unión con la enzima es reversible (Ramírez, 2001).

Toxicidad

La toxicidad es una medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos. El estudio de los venenos se conoce como toxicología. La toxicidad puede referirse al efecto de esta sobre un organismo completo, como un ser humano, una bacteria o incluso una planta, o a una subestructura, como una (citotoxicidad).

Todos los compuestos (sal, café, tabaco, vitaminas, entre otras cosas) son tóxicos para el ser humano si las dosis son suficientemente altas. Hay que recordar que “la dosis hace al veneno”. Los plaguicidas también son tóxicos dependiendo de la dosis. En general, la toxicidad puede definirse como la capacidad de una sustancia para causar daño o provocar la muerte. Los síntomas se pueden presentar durante la exposición, a pocas horas, luego de días, meses o años después de la exposición (ABC Digital, 2006).

La toxicidad de un plaguicida se mide a través de la dosis letal media (DL50) o de la concentración letal media (CL50). Ambos parámetros varían conforme a múltiples factores como la presentación del producto (sólido, gel, líquido, gas, polvo, etc.), la vía de entrada (oral, dérmica, respiratoria), la temperatura, la dieta, la edad, el sexo, etc. Al basarse en la observación de especies animales, es importante señalar que estos indicadores no proporcionan información sobre los efectos crónicos, ni sobre la citotoxicidad de algún compuesto (Ramírez & Lacasaña, 2001).

No se puede cambiar la toxicidad de un plaguicida, pero sí minimizar el riesgo durante su uso siguiendo las instrucciones del fabricante que figura en la etiqueta, y la normativa vigente al respecto. El riesgo es la probabilidad de daño como resultado de un manejo inapropiado de un plaguicida y depende de la toxicidad y exposición a este. Por lo tanto, para minimizar el riesgo es recomendable utilizar plaguicidas con la toxicidad más baja y evitar la exposición a estos (ABC Digital, 2006).

3.2.6 Persistencia

Del latín, y más exactamente del verbo *persistere*, que puede traducirse como “mantenerse firme y quieto” (mantenerse constante en algo, durar por largo tiempo). La persistencia de los plaguicidas está relacionada con la eficiencia de los procesos de transformación en condiciones naturales, mientras que el proceso de transporte está relacionado con las propiedades fisicoquímicas de estas sustancias (Jekel & Reemtsma, 2006).

La persistencia de un plaguicida se expresa en unidades de tiempo. Dependiendo de su extensión se hablará de horas, días, semanas, meses e incluso años.

El término usualmente utilizado para expresar la persistencia es el tiempo de vida media ($t_{1/2}$), que se define como: El tiempo necesario para la disipación de la mitad de la cantidad inicialmente presente o depositada (Navarro García & Barba Navarro, 1996).

3.2.7 Disposición de los envases

La disposición de los envases vacíos debe realizarse conforme a lo establecido por el reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de residuos peligrosos, la cual establece lo siguiente: Deberán señalarse los residuos peligrosos que vayan a generarse o manejarse con motivo de la obra o actividad de que se trate, así como las cantidades de los mismos. Y la NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico.

3.3 Furadan

FURADAN 350 L es un insecticida nematocida sistémico de amplio espectro para el control de nematodos e insectos, su principal ingrediente activo es el carbofuran. Pertenece al grupo químico de los carbamatos, es altamente tóxico si se ingiere o inhala, tiene baja toxicidad en piel, irrita mínimamente a piel y a ojos. Los carbamatos son inhibidores reversibles de la colinesterasa. Es un producto altamente tóxico por lo cual se recomienda el cumplimiento de las precauciones durante el uso y manejo. Se debe evitar el contacto con la piel y ojos, evitar inhalar, no comer ni fumar durante su uso, evitar ingerir el producto, no se debe transportar ni almacenar junto a productos alimenticios, ropa o forrajes, debe mantenerse fuera del alcance de los niños y animales domésticos, no se debe almacenar en casa habitación, no deben exponerse ni manejar este producto las mujeres embarazadas, en lactación y personas menores de 18 años, no debe de reutilizarse el envase, tiene que ser destruido (FMC Agroquímica de México, s/f).

3.3.1 Carbofuran

El carbofuran ($C_{12}H_{15}NO_3$) es el ingrediente activo (3-dihidro-2,2-dimetil-7 benzofuranil-metil) del plaguicida que se comercializa mediante la marca registrada Furadan; es un plaguicida sistémico que pertenece a la familia de los carbamatos con actividad insecticida, nematocida y acaricida, que actúa por

ingestión, contacto y un poco por inhalación. Es bien absorbido por vía radical y transportado a la parte aérea sin alcanzar el fruto. Actúa por contacto sobre nematodos e insectos del suelo y por ingestión sobre insectos chupadores y masticadores de la parte aérea, en especial, durante los primeros estados de desarrollo del cultivo. Puede ser aplicado tanto al suelo, en su totalidad o en bandas: para el control de nematodos, larvas terrícolas de insectos e insectos y ácaros de la parte aérea. Interfiere la transmisión de los impulsos nerviosos por inhibición de la colinesterasa. También se utiliza para tratamientos de semillas (Terralia, 2008).

Carbofuran tiene un moderado rango de degradación en el suelo (vida media = 60 días). Se hidroliza rápidamente en condiciones alcalinas (pH altos) pero es estable en condiciones ácidas (Bajo) Carbofuran tiene un coeficiente de reparto octanol/agua (Po/w) de 1.4 considerado como bajo, así como un factor de bioconcentración de 9, lo cual indica que tiene un bajo potencial de acumulación en el medio ambiente. En texturas pesadas de suelo la movilidad que se espera es moderada (FMC Agroquímica de México, s/f).

Con una concentración letal media (CL50) valuada entre 7.3 y 362.5 µg/L a peces y artrópodos acuáticos en el laboratorio, carbofuran es considerado altamente tóxico, se debe tener cuidado de no contaminar ambientes acuáticos, también se considera altamente tóxico a aves acuáticas y pájaros tiene una dosis letal media (DL 50) oral de 0.7 a 8 mg/mg /Kg. Carbofuran es fácilmente metabolizado, es rápido inhibidor de la acetilcolinesterasa, pueden ocurrir síntomas sub-letales rápidamente por sobreexposición (FMC Agroquímica de México, s/f).

Carbofuran tiene una toxicidad aguda por inhalación CL 50 > 0.10 mg/L/h. Es altamente tóxico si se ingiere, tiene una baja toxicidad dermal, por lo que se espera que sea altamente tóxico si se inhala y puede irritar mínimamente a la piel y los ojos, cuando la piel se expone a Furadan 350 L y se incrementan las condiciones de temperatura y humedad esto facilita la absorción a través de la piel, Carbofuran es un inhibidor de la colinesterasa los síntomas en humanos que se presentan son:

dolores de cabeza, mareo, debilidad, exceso de saliva, sudor y moco bronquial, contracciones musculares, temblores, náuseas, dolores abdominales, pupila puntiforme, visión borrosa y dificultad de respirar (FMC Agroquímica de México, s/f).

3.3.2 Medidas de protección al ambiente

Aunque los plaguicidas tienen sin duda efectos en la superficie terrestre, el principal medio de daños ecológicos es el agua contaminada por la escorrentía de los plaguicidas. Las medidas de protección al ambiente que se deben tener en cuenta son:

Se debe evitar contaminar estanques, corrientes de agua o abrevaderos, ya sea por aplicación directa o por lavado de equipo. Furadan es tóxico a peces, crustáceos y animales por lo que se debe realizar un triple lavado de los envases vacíos, devolver a su distribuidor o bien llevar al centro de acopio autorizado más cercano.

Está prohibido tirar o quemar el envase o sus empaques en campo abierto. Si el material no puede eliminarse de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta, un método aceptable para la disposición es la incineración, siguiendo las normas y reglamentos ambientales locales, estatales y nacionales (FMC Agroquímica de México, s/f).

3.3.3 Precauciones y efectos en la salud

Para el manejo de Furadan debe usarse ropa especial para la aplicación como: overol de manga larga, guantes impermeables, lentes de seguridad, gorra. Se debe utilizar mascarilla de protección. No se debe comer ni fumar cuando se maneja el producto, evitar el contacto o aspersion con la piel, ojos y ropa. Al terminar de aplicar, bañarse con abundante agua y jabón y ponerse ropa limpia. Lavar con agua y jabón la ropa contaminada antes de volver a usarla. Evitar el contacto con la piel, boca, ojos y ropa, si esto sucede hay que lavarse con abundante agua y jabón.

En caso de intoxicación se tiene que solicitar atención médica, llevar al paciente al médico y mostrar la etiqueta del producto. Signos y síntomas de intoxicación son: Dolores de cabeza, mareo, debilidad, exceso de saliva, sudor y moco bronquial, contracciones musculares, temblores, náuseas, dolores abdominales, pupila puntiforme, visión borrosa y dificultad de respirar. La insuficiencia respiratoria, defecación, micción involuntaria, convulsiones y pérdida del conocimiento indican envenenamiento muy severo. Antídoto y tratamiento: Oxigenar al paciente y administrar atropina (FMC Agroquímica de México, s/f).

3.4 Cromatografía

Cromatografía es una palabra que proviene del griego *croma* color y *grafos* escribir “escritura a color” que técnicamente significa la separación física de compuestos coloridos (colorantes o pigmentos) de un extracto o mezcla orgánica. El término *Cromatografía* fue nombrado por el botánico ruso Mijaíl Tswett en 1906, aunque el método data desde el año 1850 cuando Friedrich Ferdinand Runge, químico alemán, quien descubrió la cafeína, separó anilinas con un disolvente en un papel poroso: la primera cromatografía en papel (García Rodríguez , 2015).

El principio fundamental de la cromatografía es la separación de dos o más compuestos con propiedades físicas diferentes que les permiten repartirse en dos fases: una estacionaria y otra móvil. Por ejemplo, en la cromatografía en papel, la fase estacionaria es el papel filtro y la móvil un disolvente como el agua o el alcohol etílico (etanol) (García Rodríguez , 2015).

La fase estacionaria, es una fase fija que puede ser desde un papel filtro o una lámina de aluminio cubierta con polvo de sílice (SiO_2 , componente principal de la arena) o bien partículas de sílice dentro de un soporte rígido de vidrio o de metal conocido como columna.

La fase móvil, por el contrario, es la fase que mueve o arrastra a la mezcla de compuestos a través de la fase estacionaria y de todo el sistema cromatográfico.

Esta fase móvil puede ser un líquido como el alcohol, o un gas inerte como el helio o el nitrógeno. Basándose en la cromatografía en papel, Tswett separó los pigmentos que dan color a las plantas (clorofilas, xantofilas y carotenos), utilizando como fase estacionaria un tubo de vidrio (columna) relleno de carbonato de calcio, material del que se fabrican los gises, usando como adsorbente un polisacárido de la fructosa (inulina) y pasó a través de ella, éter de petróleo para arrastrar la mezcla de pigmentos. Debido a esta separación de colores, denominó *cromatografía* a esta técnica e inventó la cromatografía en columna (García Rodríguez , 2015).

Por lo tanto, la definición más amplia de la cromatografía, es la separación de mezclas complejas que se basa en el principio de retención selectiva de moléculas químicamente similares, según su masa molecular y carga iónica. Permite la identificación y cuantificación de los componentes que se separan. Según la disposición de la fase estacionaria, la cromatografía puede ser cromatografía plana, en capa fina y en columna; según la fase móvil se clasifica en cromatografía de líquidos, de gases y de fluidos supercríticos; y según la interacción entre la fase estacionaria y la fase móvil, tenemos la cromatografía de adsorción, de reparto, de intercambio iónico, de afinidad y de exclusión molecular (García Rodríguez , 2015).

3.4.1 Tipos de Cromatografía

Cromatografía plana

Se realiza sobre papel u otro material sólido. Suele llamarse “en capa fina” o “en capa delgada” porque la fase estacionaria recubre un soporte plano y rígido; Es un tipo de cromatografía líquida en la que la fase estacionaria está extendida sobre la superficie de un plano y la fase móvil fluye a través de ella. La fase móvil siempre es un líquido (Biomodel, s.f.).

Cromatografía en columna

Es una técnica de purificación, puesto que permite aislar los compuestos deseados de una mezcla. La cromatografía en columna utiliza una columna de vidrio vertical que se llena con un soporte sólido adsorbente o fase estacionaria (Casamitjana, et al., 2000).

Los soportes más utilizados son gel de sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3). La muestra que se quiere separar se deposita en la parte superior de este soporte. El resto de la columna se llena con el eluyente (disolvente que constituye la fase móvil) que, por efecto de la gravedad, hace mover la muestra a través de la columna. Se establece un equilibrio entre el soluto adsorbido en la fase estacionaria y el disolvente eluyente que fluye por la columna (Casamitjana, et al., 2000).

Debido a que cada uno de los componentes de una mezcla establecerá interacciones diferentes con la fase estacionaria y la móvil, serán transportados a diferentes velocidades y se conseguirá su separación. Así, de manera similar a otros tipos de cromatografía, las diferencias en las velocidades de desplazamiento a través del medio sólido se corresponden con diferencias en los tiempos de elución por la parte inferior de la columna para cada uno de los componentes de la muestra original, que se recogerán en fracciones diferentes (Casamitjana, et al., 2000).

Cromatografía de adsorción

En la cromatografía de adsorción o cromatografía líquido-sólido, la fase estacionaria es un sólido, habitualmente sílice, aunque en algunas ocasiones se emplea alúmina finamente dividida. Las características de absorción en ambas columnas son similares y en ambas los tiempos de retención se alargan a medida que la polaridad del analito aumenta. El analito queda retenido en la fase estacionaria mediante fenómenos de adsorción. El fundamento de la cromatografía de adsorción es similar al de la cromatografía de reparto en fase normal, de hecho el reparto muchas veces se debe a la adsorción (Castaños , 2015).

Cromatografía de reparto

La cromatografía de reparto se fundamenta en diferente solubilidad de los componentes de la muestra en la fase estacionaria (caso de la cromatografía de gases), o diferentes solubilidades de los componentes en las fases móvil y estacionaria (caso de la cromatografía líquida).

Ejemplos: en cromatografía plana, la fase estacionaria es el agua o disolvente asociados a la celulosa (papel) o al soporte sólido que forma la capa fina; en columna, como fase estacionaria se usan: tierra de diatomeas, gel de sílice, celulosa en polvo etc. (Biomodel, s.f.).

Cromatografía de intercambio iónico

Se trata de una cromatografía en columna que utiliza una fase estacionaria con sustancias con componentes con carga eléctrica. Se utiliza para separar compuestos cargados, incluyendo aminoácidos, péptidos y proteínas. La fase estacionaria es normalmente una resina de intercambio iónico que contiene grupos funcionales cargados que interaccionan con grupos cargados de signo opuesto del compuesto que se quiere retener. Puede ser:

- a) Intercambiador de iones cargado positivamente (intercambiador de aniones), que interacciona con aniones
- b) Intercambiador de iones cargado negativamente (intercambiador de cationes), que interacciona con cationes

Los compuestos retenidos se pueden eluir de la columna por gradiente de elución o por elución isocrática con un cambio de la concentración salina o del pH. La cromatografía de intercambio iónico es muy utilizada para purificar proteínas (Casamitjana, et al., 2000).

Cromatografía de exclusión

También se llama de exclusión molecular. Estrictamente, se basa en diferencias de tamaño, forma o carga entre las moléculas de los distintos componentes de la muestra, pero lo más habitual es aprovechar las diferencias de forma y tamaño. En este caso, se la llama también cromatografía de exclusión por tamaño, de filtración en gel, de permeación en gel o de tamiz molecular. es adecuada para separar y cuantificar mezclas de proteínas, y en consecuencia es una valiosa técnica de control de calidad en la fabricación de proteínas recombinantes. Esto incluye la medida de agregados (dímeros, trímeros, tetrámeros, etc.) o la separación de excipientes e impurezas de bajo peso molecular de proteínas de mayor peso molecular (Agilent Technologies, 2015).

Cromatografía de afinidad

Variedad particular de cromatografía en la que la separación se basa en la especificidad biológica singular de interacción entre un componente de la muestra y otra molécula unida a la fase estacionaria; los ejemplos más comunes son las interacciones enzima-sustrato, antígeno-anticuerpo y ligando-receptor.

Fase estacionaria: un soporte inerte (microesferas de vidrio o plástico, gel de agarosa, ...) al que se une covalentemente el ligando de afinidad. Ejemplos de este ligando: sustrato, inhibidor o cofactor de una enzima, anticuerpo, antígeno, hapteno, sustancia transportada, hormona, oligosacáridos, lectinas (proteínas con afinidad por oligosacáridos) (Biomodel, s.f.).

Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es probablemente la técnica de más amplia utilización; ninguna técnica analítica puede ofrecer la capacidad de separación o la sensibilidad a la hora de analizar compuestos volátiles. Por otra parte, el hecho de que con ésta técnica las mezclas sean separadas en fase gaseosa, establece los límites de su

utilización, que estarán marcados fundamentalmente por la estabilidad térmica de los compuestos a separar.

Por lo general, la utilización de la cromatografía de gases está restringida a la separación de compuestos con un peso molecular menor de 1000 a una temperatura máxima de trabajo de aproximadamente 400°C; dentro de estos límites, la única limitación existente será la estabilidad térmica de la muestra.

Para realizar una separación mediante cromatografía de gases, se inyecta una pequeña cantidad de la muestra a separar en una corriente de un gas inerte a elevada temperatura; esta corriente de gas, atraviesa una columna cromatográfica que separará los componentes de la mezcla por medio de un mecanismo de partición (cromatografía gas líquido), de adsorción (cromatografía gas sólido) o, en muchos casos, por medio de una mezcla de ambos.

Los componentes separados, emergerán de la columna a intervalos discretos y pasarán a través de algún sistema de detección adecuado, o bien serán dirigidos hacia un dispositivo de recogida de muestras (CSIC, s.f.).

Cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC)

Se suele denominar HPLC, y es una forma de cromatografía en columna que se utiliza a menudo en bioquímica y química analítica. La muestra problema es forzada a pasar a través de una columna (fase estacionaria) por un líquido (fase móvil) a elevada presión, lo que disminuye el tiempo que los componentes separados permanecen en la fase estacionaria y, por lo tanto, el tiempo de difusión dentro la columna. En la salida de la columna existe un detector que indica la cantidad de soluto que está saliendo. Este proceso de difusión dentro de la columna comporta la aparición de picos anchos y pérdida de resolución. El hecho de estar menos tiempo en la columna se traduce en picos más estrechos en el cromatograma resultante, así como una mayor resolución y sensibilidad (Casamitjana, et al., 2000).

Otra manera de disminuir el tiempo que la muestra está dentro de la columna es utilizar un gradiente de disolventes, que consiste en cambiar la composición de la fase móvil a fin de acelerar la salida de la muestra del interior de la columna. Se pueden considerar dos tipos:

Fase normal: Se utiliza una fase estacionaria polar y una fase móvil apolar, y se usa principalmente cuando la muestra a analizar es de naturaleza apolar. Fue el primer tipo de HPLC, pero hoy en día ha sido muy desplazado por la fase reversa.

Fase reversa: Se desarrolló debido al elevado número de biomoléculas polares. La fase estacionaria es apolar y la fase móvil polar. Una de las fases estacionarias más empleadas es sílice tratada con RMe_2SiCl , donde R es una cadena alquílica como $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$. En este caso, para una determinada sustancia, el tiempo de retención aumenta con la polaridad de la fase móvil (Casamitjana, et al., 2000).

4.1 Descripción de la zona de estudio

La contextualización del área donde se llevó a cabo el cultivo experimental es fundamental para evaluar la persistencia de carbofuran con base en las características de medio físico, por lo cual se realizó una descripción del contexto en el que se encuentra inmerso el objeto de estudio.

El terreno donde se realizó el cultivo experimental se encuentra en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe, perteneciente al municipio de Calimaya en el Estado de México. Se determinó sembrar en esta localidad por ser de fácil acceso para el monitoreo y cuidado del cultivo; además de ser una zona donde se cultiva una gran cantidad de papa, dadas las condiciones ambientales propicias para el cultivo, ya que la papa es una hortaliza de clima templado a frío.

4.1.1 Aspectos sociales y económicos

Calimaya es uno de los 125 municipios del Estado de México, se trata de una localidad con comunidades tanto urbanas como rurales. Posee una superficie de 102,317 km² y su cabecera municipal es la población de Calimaya de Díaz González. Limita al norte con Toluca, Metepec y Mexicaltzingo; al sur con Rayón y Tenango del Valle; al este con Mexicaltzingo, Chapultepec, Tianguistenco, San Antonio la Isla y Rayón; y al oeste con Tenango del Valle y Toluca (SEDESOL, 2010).

De acuerdo al Consejo Estatal de Población (COESPO), y considerando al Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI, la Población Económicamente Activa (PEA) ocupada, registrada en el 2010, ascendía a 17,112 habitantes, que representa un 36.4% con respecto a la población total municipal; de ellos 1 de cada 10 trabaja en las actividades primarias (agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca); 3 de cada 10 se desempeña en las actividades secundarias (minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua

y construcción); 4 de cada 10 en las actividades terciarias (transporte, gobierno y otros servicios) y 2 de cada 10 se dedica al comercio (COESPO, 2010).

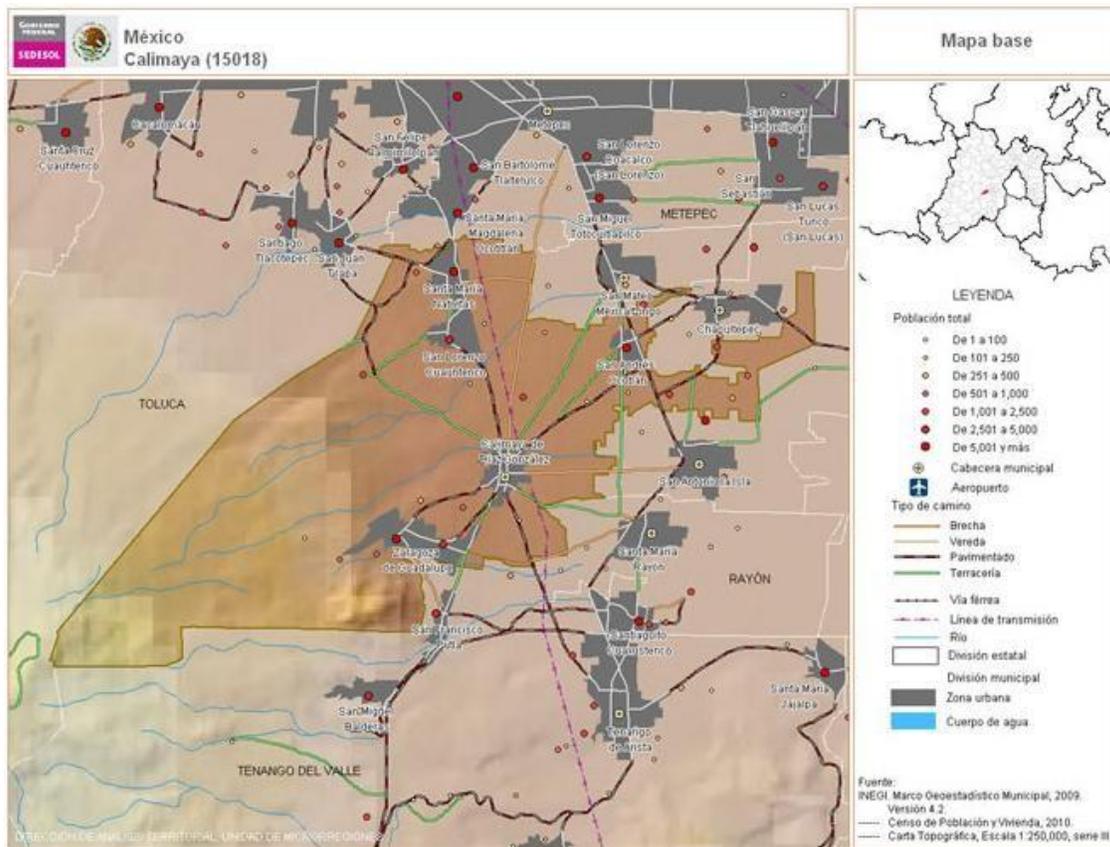


Fig.3 Mapa Base de la localidad de Calimaya

Fuente: INEGI Marco Geoestadístico Municipal 2009

La comunidad de Zaragoza de Guadalupe se encuentra dentro del municipio de Calimaya, Estado de México, está a una mediana altura de 2850 metros sobre el nivel del mar y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): -99.645278

Latitud (dec): 19.146111

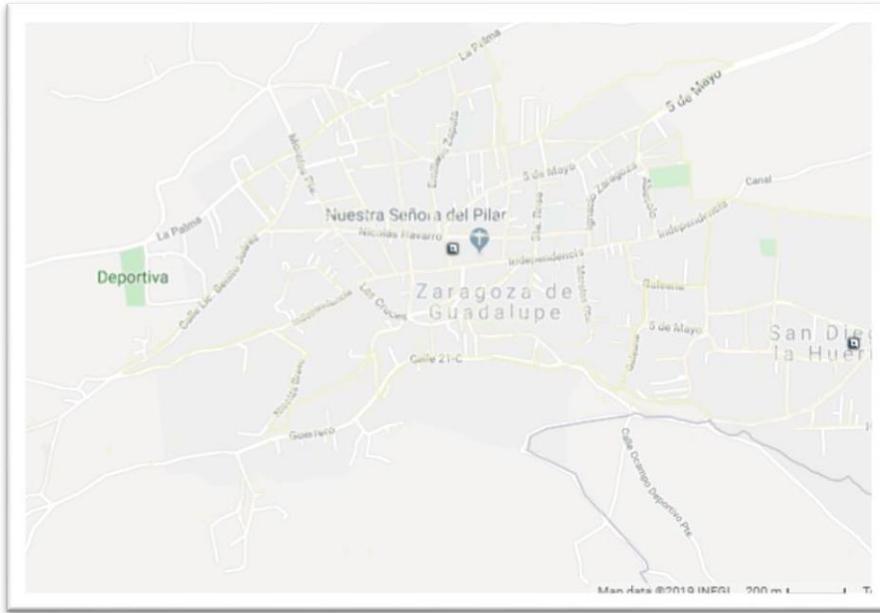


Fig. 4 Comunidad de Zaragoza de Guadalupe

Fuente: INEGI 2019

La población total de Zaragoza de Guadalupe con base en el inventario nacional de viviendas de INEGI del 2010 es de 5278 personas.

Tabla I Características de la población de Zaragoza de Guadalupe

Población	Total
De 0 a 14 años	1,587
De 15 a 29 años	1,397
De 30 a 59 años	1,721
De 60 y más años	441
Con discapacidad	132

Fuente: Elaboración propia con base en el Inventario Nacional de Viviendas INEGI 2010

Las principales actividades económicas en la comunidad son: minería, agricultura, ganadería, comercio. Entre los principales cultivos están: haba, maíz, avena, papa, chícharo, zanahoria, lechuga, flor (cempasúchil, flor de nube).

4.1.2 Hidrología

El municipio de Calimaya se encuentra en la cuenca Río Lerma Toluca- Subcuenca Río Almoloya- Oztolotepec, pertenece a la Región Hidrológica Lerma- Santiago, es de tipo exorreica y se localiza en las coordenadas Oeste 99° 41'44" y Norte 19° 08' 20" la cual limita al Noroeste con Arrollo Zacango, al Este con Arrollo don Juan y al Suroeste con Arroyo de Ciénega. En esta región hidrológica se encuentra la Micro Cuenca Río las Cruces la cual cuenta con un área de 18.893km² es una cuenca de tipo exorreica, al oeste está el Nevado de Toluca que es donde abre la cuenca y cierra al este en la localidad de Zaragoza de Guadalupe (SIATL, 2015). Debido a que hay gran disponibilidad de agua los cultivos pueden desarrollarse de manera adecuada, el promedio anual de lluvia está alrededor de 800 mm de precipitación lo cual cubre los requerimientos de agua para el cultivo de papa.

4.1.3 Suelos

El tipo de suelos que predominan en la región de Zaragoza de Guadalupe son Andosoles en la parte alta de la cuenca, que son suelos volcánicos, se forman sobre cenizas y vidrios volcánicos, así como a partir de otros materiales piroclásticos. Cuando son jóvenes atesoran colores oscuros, siendo altamente porosos, ligeros, permeables, de buena estructura. Su fertilidad es considerable, aunque padecen algunas limitaciones. Se trata de suelos muy aptos para la agricultura si las condiciones del relieve lo permiten. Se ubican generalmente en regiones con volcanismo activo o no muy antiguo.

En la parte media de la cuenca predominan suelos con gran cantidad de arena y tepojal (Arenosoles). La cartografía indica presencia de Cambisoles y Luvisoles. Los Cambisoles resultan ser los suelos más jóvenes. Los Luvisoles son suelos ricos en bases y con una marcada diferenciación textural dentro del perfil edáfico (INEGI, 2010).

4.1.4 Clima

Se clasifica como templado lluvioso (Cwbg), según la clasificación climática de Köppen con lluvias predominantes en verano. La temperatura del mes más cálido es inferior a 22°C y se registra antes del 21 de junio. Suelen presentarse heladas en los meses de noviembre a enero y ocasionalmente en mayo (heladas tardías) y en septiembre (heladas tempranas). Estas últimas son altamente perjudiciales para la agricultura.

La sequía abarca los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Los meses de lluvia son de mayo a agosto, en junio, julio, agosto y septiembre se presentan las mayores precipitaciones, con precipitaciones máximas de 176 mm en el mes de agosto. Anualmente la precipitación va de los 800 a 900 mm La temperatura media anual varía entre los 12°C y 14°C, estos datos se obtuvieron de la estación meteorológica Rancho Villa Verde, ubicada en el municipio de Calimaya (EMA, 2015).

4.1.5 Vegetación

Lo grupos de vegetación, son: bosque caducifolio, bosque de oyameles y pinares (Miranda & Hernández-X, 1963) con aproximadamente 9.87km².

También hay presencia de bosque de galería (0.71km²) con especies como *Buddleja cordata* (tepozán) vegetación de páramo de altura (*PinusHartwegii*) (0.3km²) y pastizal (0.53km²) (INEGI, 2007).

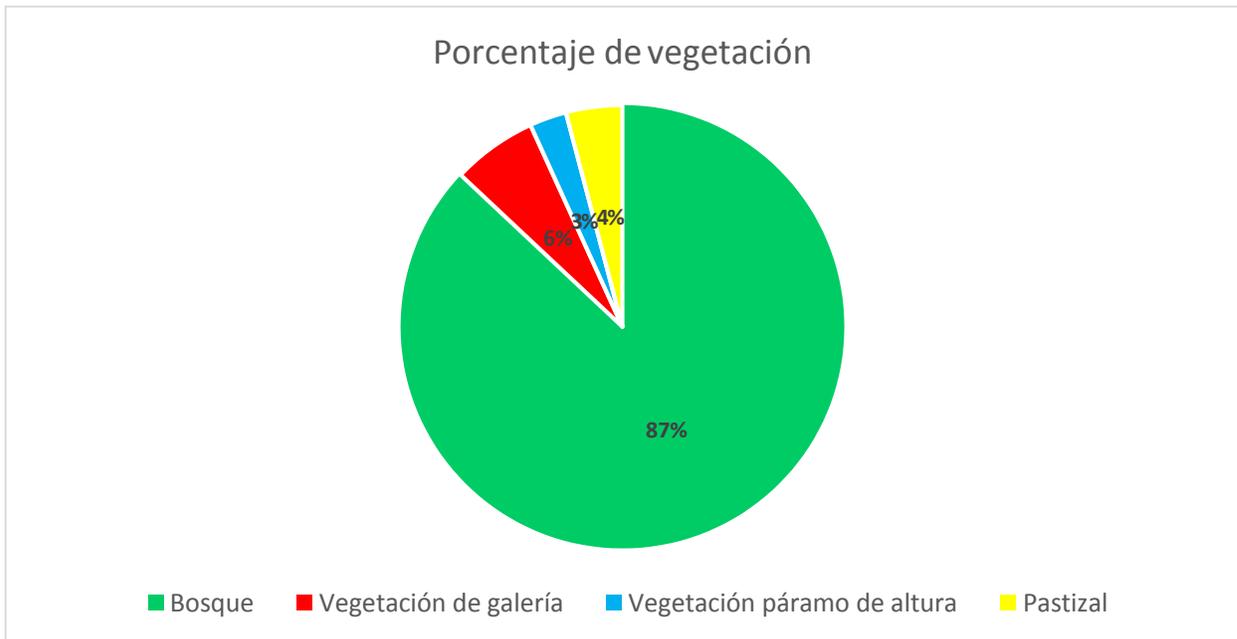


Fig.5 Porcentaje de vegetación en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe considerando un total de 11.43km²

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2007

4.1.6 Fauna

La Fauna está conformada por Armadillo (*Dasypus novemcinctus*), Tlacuache (*Didelphis virginiana*), Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*), Mapache (*Procyon lotor*), Conejo serrano (*Sylvilagus floridanus*), Ardilla voladora (*Glaucomys volans*), Ardilla gris (*Sciurus aureogaster*) y Coatí norteño (*Nasua narica*), serpientes de cascabel (*Crotalus basiliscus*), Víbora cascabel cola negra (*Crotalus molossus*), Víbora cascabel transvolcánica (*Crotalus triseriatus*), Clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*) y el Azulejo garganta azul (*Sialia mexicana*), además de pájaros carpinteros como Carpintero mayor (*Picoides villosus*) y Carpintero bellotero (*Melanerpes formicivorus*) y de algunas rapaces como Águila real (*Aquila chrysaetos*), Aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*) (CONABIO, 2010).

Hoy en día existe mucha normatividad con respecto al uso, fabricación, distribución, envase, embalaje y etiquetado de plaguicidas. El marco normativo de los plaguicidas va de acuerdo a los requerimientos particulares de la gestión de las sustancias peligrosas en las diferentes fases de su vida. Se cuenta con diferentes leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas (NOM), de carácter obligatorio que establecen las especificaciones para lograr su manejo seguro y ambientalmente razonable.

Los plaguicidas se encuentran regulados por disposiciones ambientales, sanitarias, fito y zoosanitarias, laborales y de transporte. Asimismo, de manera indirecta diversas disposiciones aduanales y de comercio exterior establecen disposiciones que deben de ser observadas en el manejo de plaguicidas (Bustamante Pérez, 2007).

5.1 Evolución del Marco Normativo

Las regulaciones en materia de plaguicidas en México han pasado por varios cambios que han permitido la evolución del actual marco legal.

En México, la primera regulación sobre plaguicidas fue la ley de plagas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de diciembre de 1924. Este ordenamiento estableció los lineamientos para el uso de aquellas sustancias empleadas en el combate de plagas agrícolas y de bosques. Posteriormente se expidió el reglamento de policía sanitaria agrícola, que dio base al nacimiento de la oficina federal para la defensa agrícola, como encargada de vigilar el cumplimiento de la Ley de plagas y someter a consideración de la Secretaría Agrícola y Fomento los procedimientos que debían adoptarse para el combate o prevención de plagas.

El 29 de agosto de 1940, se expidió la ley de sanidad fitopecuaria, cuyo objeto era la protección de la agricultura y los animales que ayudan al desarrollo de la misma.

Para el año de 1942 se emitió el reglamento para la inspección, certificación y venta de parasiticidas, herbicidas y maquinaria para su utilización. Años más tarde en 1974 se publicó la ley de sanidad fitopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos, la cual abrogó a las leyes de sanidad fitopecuaria y de plagas. Este nuevo ordenamiento introdujo la idea de la protección al suelo, considerándolo como un elemento indispensable para la agricultura y la vida.

Más adelante se expidió el código sanitario en el año de 1973, que confirió algunas facultades a la secretaria de salubridad y asistencia para establecer una clasificación y caracterización de los plaguicidas, de sus etiquetas y contra etiquetas, así como de las condiciones sanitarias respecto de su embalaje, almacenamiento y transporte (Montelongo Buenavista, 2010).

En la actualidad son varios los ordenamientos que regulan las actividades relacionadas con los plaguicidas. Dentro de los documentos oficiales más relevantes de la legislación mexicana que regulan a los productos agroquímicos están:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Son varios los artículos dentro de la constitución mexicana que hacen referencia a temas relacionados con plaguicidas; algunos de los más relevantes son:

- Artículo 134. Para la prevención y control de la contaminación del suelo. En el cual se establece que la utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudieran ocasionar, y en los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deberán llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones.

- Artículo 136. Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar: la contaminación del suelo, las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos, las alteraciones en el suelo que perjudiquen la salud.
- Artículo 139. Toda descarga, depósito o infiltración de sustancias o materiales contaminantes en los suelos se sujetará a lo que disponga esta Ley, la Ley de Aguas Nacionales, sus disposiciones reglamentarias y normas oficiales mexicanas.
- Artículo 143. Los plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos, quedarán sujetos a las normas oficiales mexicanas que expidan en el ámbito de sus respectivas competencias.
- Artículo 144. No podrán otorgarse autorizaciones para la importación de plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos, cuando su uso no esté permitido en el país en el que se hayan elaborado o fabricado.

5.1.1 Marco Institucional para el control de plagas

Tabla II. Marco Institucional Para el Control de Plagas

Fase del Ciclo de Vida	Legislación Mexicana
Importación y Exportación	Ley de Comercio Exterior/ Ley de Aduanas/ Ley General de Salud/ Ley Federal de Sanidad Vegetal/ Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Registro	Ley General de Salud/ Ley Federal de Sanidad Vegetal
Proceso y Uso	Ley General de Salud/ Ley Federal del Trabajo/ Ley Federal de Sanidad Vegetal/ Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Almacenamiento	Ley General de Salud/ Ley Federal del Trabajo/ Reglamento Para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos
Transporte	Ley General de Salud/ Ley Federal del Trabajo/ Reglamento Para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos
Comercialización	Ley General de Salud/ Ley Federal de Sanidad Vegetal
Emisiones al Aire	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Descargas al Agua	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente/ Ley General de Salud
Residuos Peligrosos	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente/ Ley General de Salud/ Reglamento Para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos
Ambiente Laboral	Ley Federal del Trabajo/ Ley General de Salud

Saneamiento e Impacto	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
Salud Ocupacional	Ley General de Salud / Ley Federal del Trabajo
Salud Ambiental	Ley General de Salud

Fuente: (Bustamante Pérez , 2007)

Tal como se observa en la tabla II, existen diversas leyes que regulan a los plaguicidas en las diferentes fases en las que impactan, desde su registro hasta la comercialización y uso. Estas leyes están a cargo de diferentes dependencias, las cuales se describen en la tabla III.

5.1.2 Marco de competencias de las diferentes dependencias del gobierno en la gestión de los plaguicidas

Tabla III. Marco de competencias de las diferentes dependencias del gobierno en la gestión de plaguicidas.

Ciclo de Vida	Dependencia Institucional de Registro y Control
Importación y Exportación	SAGARPA, SSA, SEMARNAT, SE, SHCP
Registro	SSA (en coordinación con CICOPLAFEST)
Proceso y Uso	SEMARNAT, SSA, SAGARPA, STPS
Almacenamiento	SSA, SCT, STPS
Transporte	SSA, SCT, STPS
Comercialización	SAGARPA, SE, SSA
Descargas al agua	SEMARNAT, SSA, SEDEMAR
Residuos Peligrosos	SEMARNAT, SSA, SCT
Ambiente Laboral	STPS, SSA
Salud Ocupacional	SSA, STPS

Fuente: (Bustamante Pérez, 2007)

5.1.3 Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) referentes a plaguicidas

Tabla IV Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) referentes a plaguicidas

Tipo de Norma	Norma Oficial Mexicana
Ecológicas	NOM-090-ECOL 1994, que establece los requisitos para el diseño y construcción de los receptores de agroquímicos.

	NOM-052-ECOL-2005, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
Sanitarias	NOM-044-SSA1-1993, que establece los requisitos para contener plaguicidas, envase y embalaje.
	NOM-045-SSA1-1993, que establece las indicaciones y características que deben aparecer en las etiquetas de los plaguicidas para uso agrícola y forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial.
	NOM-046-SSA1-1993, que establece las indicaciones y características que deben aparecer en las etiquetas para plaguicidas de uso doméstico.
	Proyecto de NOM-058-SSA1-1993, por lo que establecen los requisitos sanitarios para los establecimientos que fabrican y formulan plaguicidas y fertilizantes y que procesan sustancias tóxicas o peligrosas.
	Proyecto de NOM-043-SSA1-1993, proporciona la información de los requisitos técnicos con que deben cumplir los locales de almacenamiento de plaguicidas, con el objeto de facilitar a los usuarios, un manejo adecuado y seguro para promover la protección a la salud poblacional y ambiental.
Zoosanitarias	NOM-023-ZOO-1994, que establece el análisis de residuos de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de gases.
Fitosanitarias	NOM-032-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la realización de estudios de efectividad biológica de plaguicidas agrícolas y su dictamen técnico.
	NOM-033-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para el aviso de inicio de funcionamiento que deberán cumplir las personas físicas o morales interesadas en comercializar plaguicidas agrícolas.
Higiene y Seguridad Industrial	NOM-005-STPS-1993, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.

	NOM-003-STPS-1999, actividades agrícolas, uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumo de nutrición vegetal o fertilizantes, condiciones de seguridad e higiene.
	NOM-018-STPS-2000, sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
Transporte	NOM-002-SCT2-1994, listado de sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
	NOM-003-SCT2-1994, características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
	NOM-005-SCT2-1994, información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
Equipo de Protección Personal	NOM-017-STPS-1994, relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo.
Clasificación toxicológica	NOM-Y-302-1998, establece las bases y criterios para la clasificación toxicológica de los materiales técnicos y formulaciones de plaguicidas, según el grado de toxicidad y riesgo agudo a la salud que pueda presentarse durante su manejo.

Fuente: (Bustamante Pérez , 2007).

El esquema del control de la elaboración, comercialización y uso de los plaguicidas en México ha registrado importantes cambios desde la creación de la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) en 1987.

Para la CICOPLAFEST los registros son básicamente licencias para el uso específico de plaguicidas, y en ellas se establecen los términos, condiciones y precauciones de su uso. En otras palabras, un plaguicida autorizado para usarse únicamente en jitomates no se puede utilizar en fresas a menos que se obtenga otro registro (Ortega Ceseña, 2004).

Tanto en México como en Estados Unidos, el cumplimiento de la regulación se basa, en gran parte, en la medición de los residuos de plaguicidas; esto es, la medición de cualquier sustancia específica que se encuentra en los alimentos, los productos agrícolas o los forrajes como consecuencia del empleo de un determinado plaguicida. El índice utilizado internacionalmente es el de tolerancia o límites máximos de residuos (LMR) (Ortega Ceseña, 2004).

Por último con base en la investigación en materia de legislación de plaguicidas, se puede concluir que existe mucha legislación en México para regular a los productos químicos en las diferentes etapas de su ciclo de vida, importación, exportación, registro, uso, almacenamiento, transporte, comercialización, emisiones al aire, descargas al agua, ambiente laboral, saneamiento y salud. También hay diversas normas oficiales mexicanas al respecto de los plaguicidas, ecológicas, zoonosanitarias, sanitarias, fitosanitarias, higiene y seguridad industrial, transporte, equipo de protección y clasificación toxicológica.

Es evidente que la prioridad no es generar más legislación para los plaguicidas, sino más bien el cumplimiento de la misma. A pesar de que existe regulación para los plaguicidas, las estrategias para hacer que se cumpla la ley no han dado los mejores resultados y eso ha llevado a la contaminación de agua, suelo, aire y a generar grandes daños en la salud humana.

Las instituciones correspondientes en México deben generar estrategias para controlar y regular el uso de plaguicidas con base en la legislación, ya que muchas personas, sobre todo los pequeños agricultores no tienen el conocimiento del uso y la aplicación correcta de plaguicidas y no son asesorados por las personas que distribuyen los agroquímicos.

De manera general el enfoque de la investigación es de tipo sincrónico, ya que analiza el objeto de estudio en un periodo de tiempo en particular. Esto se ve representado en la figura 1.

Con respecto a la implementación del cultivo experimental y al método de análisis de las muestras, se considera un método de carácter semicuantitativo ya que da como resultado una clasificación relativa del riesgo. Lo cual se ve representado en la figura 2.

6.1 Descripción de la metodología

El esquema general de la investigación, representado en la figura 1 marca las etapas del proceso del presente proyecto.

Primero se definieron los objetivos con base en la problemática detectada, para posteriormente construir una hipótesis y una justificación. Finalmente, en este apartado se revisaron los antecedentes con respecto al tema.

Posteriormente se recopilaron los conceptos entorno al objeto de estudio seguidamente de la caracterización de la zona del cultivo experimental.

Se determinó la metodología para la implementación del cultivo y el análisis de las muestras con el fin de cumplir con el objetivo general del proyecto.

Finalmente se concretaron los resultados obtenidos, las conclusiones y perspectivas derivadas de la investigación.

En cuanto a la metodología propia del experimento, descrita en la figura 2, primero se realizó el diseño del cultivo experimental, donde se llevó a cabo la planeación,

desde la selección de la variedad a cultivar, las aplicaciones a realizar y las especificaciones en general del cultivo.

Posteriormente se encuentra la Implementación, donde se efectuó la siembra de la papa.

Después está el seguimiento del cultivo, donde se realizó el seguimiento del cultivo para prevenir o detectar anomalías que pudieran perjudicar el experimento. En este apartado se encuentran también las aplicaciones de carbofuran realizadas a cada tratamiento.

En cuanto a la obtención de muestras, en esta parte se desarrolla la metodología que se siguió para la extracción y preparación de muestras tanto de papa como de suelo para enviarlas a laboratorio.

En la evaluación de resultados se genera la discusión de los resultados obtenidos de las muestras de suelo y papa.

Finalmente se encuentran las conclusiones, en donde se genera la discusión en torno al objetivo general de la tesis y con base en esto se muestran las perspectivas del tema.

6.2 Diseño del cultivo experimental

Con base en el objetivo general, se determinó realizar un cultivo experimental de papa para poder evaluar la persistencia del plaguicida carbofuran tanto en el tubérculo como en el suelo. Un cultivo experimental permite tener control de todos los agentes químicos y orgánicos aplicados, así como monitorear el desarrollo del cultivo.

Primero se determinó la variedad de papa a sembrar, la cual fue Fiana, esta variedad es ampliamente cultivada en la zona del Nevado de Toluca y en la localidad de Zaragoza de Guadalupe, se encuentra adaptada a las condiciones de medio físico del lugar.

Se determinó crear siete tratamientos, cada uno representado por dos surcos agrícolas, a los cuales se les aplicó la misma cantidad de Furadan 90 mL disueltos en 7 L de agua en diferentes periodos de tiempo.

Se definió hacer siete tratamientos de acuerdo con el ciclo agrícola de la papa, el cual es de 120 días comenzando las aplicaciones a los 85 días de haber sembrado, tomando en cuenta que es el límite para aplicar carbofuran y a partir de ahí realizar las aplicaciones cada 7 días hasta terminar el ciclo agrícola y con esto tener un número considerable para poder evaluar la persistencia de carbofuran, asimismo, se tomó en cuenta un blanco, el cual fue un surco donde no se aplicó carbofuran.

Las aplicaciones se realizaron de la siguiente forma: La primera aplicación se realizó 85 días después haber sembrado la papa, se concretó hacerlo así, debido a que es el límite de días a partir del día de siembra, según lo marca la etiqueta de furadan en que se puede aplicar el producto para que las papas se encuentren por debajo de los límites máximos residuales y sean aptas para el consumo.

Esto se debe a que el tiempo de residualidad de Furadan es de 60 días en el ambiente. Tomando en cuenta que el ciclo agrícola de la papa es de 120 días y que

la cosecha se efectúa 25 días después de concluir el ciclo agrícola. Siguiendo esta premisa, no debería detectarse presencia de carbofuran en el primer tratamiento al momento de realizar el análisis.

Las aplicaciones posteriores se realizaron cada siete días, para tener un intervalo considerable de tiempo. Quedando de la siguiente manera:

Tabla V Aplicaciones de Carbofuran

Aplicación	Días transcurridos desde la siembra
Primera aplicación	85 días
Segunda aplicación	92 días
Tercera aplicación	99 días
Cuarta aplicación	106 días
Quinta aplicación	113 días
Sexta aplicación	120 días
Séptima aplicación	125 días

Fuente: Elaboración propia

La séptima aplicación se realizó con tan solo 5 días de diferencia con respecto de la anterior. Esto porque es la forma tradicional en que se aplica carbofuran en la comunidad donde se realizó el cultivo experimental y en las zonas aledañas. Coloquialmente le llaman el “día de la quema”. Que es el día en que secan la planta aplicando carbofuran y otros químicos, 5 días después de terminar el ciclo agrícola, lo cual favorece la maduración de los tubérculos, quedando así sólo 20 días de diferencia entre esta aplicación y la cosecha de la papa para su distribución y consumo.

7.1 Siembra

Para la siembra, inicialmente se seleccionó la variedad de papa a sembrar, la cual fue Fiana. Esta variedad es ampliamente cultivada en la zona donde se realizó el cultivo experimental, entre sus características destacan que es de origen holandés, los tubérculos son ovalados y alargados, calibre grande a muy grande, piel amarilla, carne amarilla clara, rendimiento alto, maduración semitardía, cobertura del follaje media a alta, flor color blanca y brote azul (Secretaría de Fomento Agropecuario, 2009).

Posteriormente se delimitó el terreno donde se estableció el cultivo, se realizó la labranza del terreno, esto es retirar la hierba y el pasto para marcar los surcos donde se sembró la papa. Por cada tratamiento se hicieron dos surcos, en total fueron catorce surcos de aproximadamente un metro de largo por cuarenta centímetros de ancho.



Fuente: fotografías propias. Semilla de papa variedad Fiana

La fecha de siembra fue el día 21 de mayo del año 2017. Se estableció un cultivo experimental de temporal con siete tratamientos y un testigo o blanco (en el cuál no se aplicó carbofuran). A cada tratamiento se le hizo una aplicación de Furadan con la misma concentración, pero en diferentes periodos de tiempo, comenzando a partir del día 85 de haber sembrado y posteriormente cada siete días a los tratamientos siguientes.



Fuente: Fotografías propias. Siembra

Posterior a haber hecho los surcos y colocado las semillas, lo siguiente fue abonar las papas y aplicar algunos productos químicos para su desarrollo, entre ellos se aplicó furadan para desinfectar la semilla y prevenir plagas y enfermedades. Los productos aplicados fueron los siguientes:

- ✓ Gentamicina
- ✓ Tiofanato
- ✓ Benzimidazol sistémico
- ✓ Proroot enraizador
- ✓ Carbofuran
- ✓ Abono (urea y potasio)



Fuente: Fotografías propias. Preparación y aplicación de furadan a la semilla

Cómo abono, se aplicó urea y potasio. La urea se aplica al suelo y provee nitrógeno a la planta. También se utiliza la urea de bajo contenido de biuret (menor al 0.03 %) como fertilizante de uso foliar. El potasio (K) es el tercero de tres nutrientes primarios requeridos por las plantas, junto al nitrógeno (N) y el fósforo (P). Cumple un rol en la formación correcta de estomas (células usualmente ubicadas en el envés de la hoja, que se abren y se cierran para permitir la salida de vapor de agua y de gases residuales) y actúa como un activador de enzimas.



Fuente: Fotografías propias. Aplicación de abono

7.1.1 Seguimiento del cultivo

En esta sección se desarrolla una descripción de las actividades que se realizaron durante el ciclo agrícola de la papa, el cual tuvo lugar del 21 de mayo (fecha de siembra) al 12 de octubre (día en que se recolectaron las muestras).

A estas actividades se les conoce como labores de cultivo, que son aquellos trabajos que se realizan después de la siembra, y tienen una gran importancia puesto que de ellas depende el futuro de las cosechas.

Entre estas actividades se encuentran: la labranza y abonado, las aplicaciones de carbofuran realizadas a cada tratamiento, así como la aplicación de nutrientes y otros agroquímicos. El monitoreo del cultivo, registro y control de plagas con agentes químicos, así como actividades propias de la agricultura.

7.1.2 Aplicaciones de carbofuran

Después de haber transcurrido 85 días desde la siembra, se prosiguió con las aplicaciones de carbofuran a los tratamientos. Como se ha señalado en el desarrollo del trabajo, el ciclo agrícola de la papa es de 120 días, en la ficha técnica de Furadan el periodo de carencia es de 60 días, por lo que ésta fecha es el límite para aplicar el producto sin que rebase los límites máximos permisibles establecidos.

El periodo de carencia corresponde al tiempo necesario para que el residuo de un plaguicida en un fruto o producto comestible, alcance una concentración por debajo del Límite Máximo de Residuo (LMR) permitido por el país o mercado en que será consumido (Alister, et al., 2017).

Además, carbofuran también se utilizaron potasio (K), calcio (Ca), fósforo (P) entre otros elementos para el crecimiento y cuidado del cultivo.

Tabla VI Aplicaciones de carbofuran a los tratamientos

Número de aplicación	Fecha de aplicación	Días transcurridos a partir del día de siembra	Cantidad de Furadan aplicada
Primera	13 de Agosto	85	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Segunda	20 de Agosto	92	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Tercera	27 de Agosto	99	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Cuarta	03 de Septiembre	106	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Quinta	10 de Septiembre	113	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Sexta	17 de Septiembre	120	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua
Séptima	22 de Septiembre	125	90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua

Fuente: Elaboración propia

En la tabla VI se encuentran las fechas de aplicación de Furadan a cada uno de los tratamientos y los días transcurridos desde la fecha de siembra. Para cada tratamiento se siguió el mismo procedimiento para la aplicación de Furadan, el cual se explica en la figura 6.

La forma en que se llevó a cabo la aplicación de furadan a todos los tratamientos fue la siguiente:



Fig. 6 Procedimiento para la aplicación de Furadan a los tratamientos

Fuente: Elaboración propia

Se exponen a continuación las fotografías de las aplicaciones de furadan y las fechas para cada tratamiento.

La primera aplicación de carbofuran se hizo el día 13 de agosto del 2017 transcurridos 85 días a partir del día de siembra (21 de mayo) se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran al primer tratamiento

La segunda aplicación se realizó el día 20 de agosto del 2017 a los 92 días transcurridos a partir del día de siembra, se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran al segundo tratamiento

La tercera aplicación se realizó el día 27 de agosto del 2017 a los 99 días de la siembra, se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran al tercer tratamiento

La cuarta aplicación se realizó a los 106 días de haber sembrado el día 03 de septiembre del 2017. Se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran al cuarto tratamiento

La quinta aplicación se realizó a los 113 días de haber sembrado el día 10 de septiembre del 2017. Se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran quinto tratamiento

La sexta aplicación se realizó a los 120 días de haber sembrado, terminando el ciclo agrícola de la papa el día 17 de septiembre del 2017. Se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua.



Aplicación de carbofuran al sexto tratamiento

Posterior a la sexta aplicación se realizó una última aplicación de carbofuran cinco días después, el 22 de septiembre de 2017, se utilizaron 90 mL de Furadan disueltos en 7 L de agua. Esta aplicación se hizo en día de la quema de la papa.



Aplicación el día de la quema

Se determinó realizar esta aplicación ya que es la forma tradicional en la que se siembra papa en la comunidad de Zaragoza de Guadalupe y localidades aledañas, quedando únicamente 20 días entre ésta aplicación y el día de cosecha, por lo que se infiere el carbofuran puede estar aún presente al momento de comercializar y consumir la papa.



Fin del ciclo agrícola del cultivo

7.1.3 Control de plagas

La papa es uno de los cultivos con mayor presencia de plagas y enfermedades, es considerada el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo. Sin embargo, la disponibilidad de este alimento se ve comprometida cuando las plagas y enfermedades que afectan este cultivo causan pérdidas en los rendimientos y en la calidad de los productos antes y después de la cosecha. Por lo que una oportuna gestión de las mismas es vital para una producción más eficiente (Pérez & Forbes, 2011).

Durante el ciclo agrícola del cultivo experimental que establecimos, se presentaron algunas plagas y enfermedades, entre ellas el Tizón tardío, el cual es causado por un parásito denominado *Phytophthora infestans*, entre los síntomas que presentan las plantas están los siguientes:

Hojas: Manchas Necróticas de color marrón claro a oscuro.

Tallos: Manchas alargadas que los hacen quebradizos.

Tubérculos: Manchas irregulares de color marrón rojizo y de apariencia húmeda en la superficie de los tubérculos. Al corte longitudinal se observan estrías necróticas que van de la superficie al centro del tubérculo.

Signo: Presencia de pelusilla blanquecina en el envés de las hojas.

Condiciones favorables para la plaga: Días templados (temperaturas entre 15 - 21°C) y alta humedad relativa (mayor de 90%), cultivo de variedad susceptible.

Fases del cultivo que afecta: desde la emergencia hasta después de la floración.

Transmisión: principalmente por semilla infectada, infecciones secundarias se producen a través de tejidos foliares infectados.

Manejo: adelanto de época de siembra, eliminación de rastrojos del cultivo anterior y malezas, uso de semilla sana, uso de variedad resistente, evitar exceso de fertilización nitrogenada, distanciamientos adecuados entre plantas y entre surcos, aporques altos, alternancia de fungicidas, (sistémico - contacto), corte de follaje antes de la cosecha, cosecha oportuna, selección de tubérculos, almacenamiento adecuado. Para el caso de nuestro cultivo, se aplicaron algunos fungicidas de contacto al principio de las lluvias (Pérez & Forbes, 2011).



Tizón tardío, plaga que se presentó en el cultivo experimental

Otra de las plagas que se presentó fue la aparición de caracoles en el cultivo. Los caracoles (*Helix spp*) tienen hábitos nocturnos, por lo que pocas veces se pueden ver en acción. Se pueden rastrear siguiendo la baba brillante que dejan en su movimiento. Los caracoles que afectan al cultivo de papa son usualmente de color marrón y se activan con humedad alta o lluvia.

La aparición de caracoles puede resultar dañina para la producción ya que son herbívoros y por lo tanto consumen la planta. Los caracoles comen alimentos con grandes cantidades de calcio, necesario para mantener su cascarón duro como protección (Agromática, 2015).



Plaga de caracoles en el cultivo experimental

7.1.4 Preparación de Muestras

Las muestras se obtuvieron y entregaron el día 12 de octubre de 2017, Fueron recolectadas en esa fecha al cumplir con el periodo de residualidad de 60 días para que el carbofuran estuviera dentro de los límites máximos permisibles en la papa en el primer tratamiento, al cual se le aplicó furadan el 13 de agosto de 2017 a los 85 días de haber sembrado. Por lo que en este primer tratamiento la cantidad detectada de carbofuran debería ser nula o baja.

Por cada muestra (tratamiento) se entregó una repetición –R. Del mismo modo se recolectó una muestra de suelo de aproximadamente ½ kg por cada tratamiento; las muestras de suelo se tomaron del horizonte superficial en una profundidad de 0-20 cm.

En total se entregaron al laboratorio 16 muestras de papa en viales de aproximadamente 10 mL cada uno y 7 muestras de suelo de ½ kg cada una, en bolsas de plástico rotuladas.

Se recolectaron dos papas por cada tratamiento, se limpiaron un poco de residuos de suelo, posteriormente se cortó una papa por muestra ya que eran de gran tamaño y se colocó en un extractor, con la otra papa recolectada se realizó la repetición de cada muestra.

Se determinó utilizar un extractor de jugos debido a que el procedimiento fue hecho en casa, de esta manera se podía hacer lo más líquida posible la muestra para colocarla en los viales y almacenarla hasta su análisis.

Después de moler las papas de cada tratamiento se quitaron los residuos de cáscaras y se limpió el extractor para moler la siguiente muestra. Esta técnica pudo haber mermado un poco los resultados debido a que una gran cantidad del tubérculo se quedó en el filtro del extractor por lo que el análisis fue en su mayoría de la pulpa de la papa.

Una vez obtenidas las muestras con sus respectivas repeticiones se refrigeraron, se rotularon y se entregaron al laboratorio en conjunto con las muestras de suelo.



Se recolectaron dos papas de cada tratamiento.



Por cada tratamiento se recolectó una muestra de suelo de 1/2 kg.



Se trituró una papa por cada tratamiento en un extractor.



Las muestras se colocaron en el refrigerador en frascos de vidrio (vial).



Una vez recolectadas todas las muestras se entregaron los viales al laboratorio para su análisis.



Fig. 7 Procedimiento para la obtención de muestras

Fuente: Elaboración propia



Recolección de muestras de papa



Recolección de muestras de suelo

7.2 Datos generales del análisis químico

Una vez recolectadas las muestras fueron entregadas al laboratorio para su análisis el 12 de octubre de 2017. El análisis se realizó en un cromatógrafo de líquidos UPLC-MS marca waters clase H, en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Posteriormente se determinó realizar el análisis por medio de cromatografía de líquidos. A diferencia de la cromatografía de gases, la cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC, de high-performance liquid chromatography) no está limitada por la volatilidad o la estabilidad térmica de la muestra.

La HPLC es capaz de separar macromoléculas y especies iónicas, productos naturales lábiles, materiales poliméricos y una gran variedad de otros grupos polifuncionales de alto peso molecular. Con una fase móvil líquida interactiva, otro parámetro se encuentra disponible para la selectividad, en adición a una fase estacionaria activa (Ozores Belmonte, 2016).

La HPLC ofrece una mayor variedad de fases estacionarias, lo que permite una mayor gama de estas interacciones selectivas y más posibilidades para la separación (Ozores Belmonte, 2016).



Equipo de cromatógrafo de líquidos del ININ

7.3 Resultados

En la siguiente tabla se presenta de manera general en cuales de las muestras se detectó por medio de cromatografía de líquidos la presencia de carbofuran, tanto en las muestras de papa como en las de suelo. En el caso de las muestras de papa, se enviaron dos muestras por cada tratamiento.

Tabla VII. Resultados de las muestras de papa y suelo

Número de muestra	Días transcurridos a partir del día de siembra (21 de mayo 2017)	Día en que se hizo la aplicación de carbofuran	Fecha de entrega de la muestra	Detección de Carbofuran
Blanco	N/A	N/A	12 de Octubre de 2017	S/N
Blanco-R	N/A	N/A	12 de Octubre de 2017	S/N
1er tratamiento	85 días	13 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
1er tratamiento-R	85 días	13 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
Muestra de suelo	85 días	13 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
2do tratamiento	92 días	20 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
2do tratamiento-R	92 días	20 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
Muestra de suelo	92 días	20 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
3er tratamiento	99 días	27 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
3er tratamiento-R	99 días	27 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
Muestra de suelo	99 días	27 de Agosto de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
4to tratamiento	106 días	03 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
4to tratamiento-R	106 días	03 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
Muestra de suelo	106 días	03 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
5to tratamiento	113 días	10 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD
5to tratamiento-R	113 días	10 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	PLD

Muestra de suelo	113 días	10 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
6to tratamiento	120 días	17 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
6to tratamiento-R	120 días	17 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
Muestra de suelo	120 días	17 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
7 tratamiento	125 días (día de la quema)	22 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
7 tratamiento-R	125 días (día de la quema)	22 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran
Muestra de suelo	125 días (día de la quema)	22 de Septiembre de 2017	12 de Octubre de 2017	Se detectó la presencia de carbofuran

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados de laboratorio
*PLD (por debajo del límite de detección)

En la tabla anterior se encuentra el registro de las fechas en que se hizo la aplicación de carbofuran a cada tratamiento, así como los días transcurridos a partir de la fecha de siembra y el día en el que fueron entregadas las muestras a laboratorio. Se puede observar en cuáles de las muestras se detectó la presencia de carbofuran y cuales están por debajo del límite de detección (PLD).

El límite de detección (LDD) se define habitualmente como la cantidad o concentración mínima de una sustancia que puede ser detectada con fiabilidad por un método analítico determinado (Boqué , 2005). Para el caso de éste análisis la cromatografía de líquidos.

Con base en los resultados, carbofuran comienza a detectarse a partir del cuarto tratamiento en las muestras de papa, aunque en el quinto tratamiento no se detectó, pero si en el sexto y séptimo tratamiento.

Es importante resaltar que a partir del cuarto tratamiento se detectó la presencia de carbofuran en todas las muestras de suelo, así mismo, la concentración de

carbofuran en el suelo es mayor con respecto a las muestras de papa en todos los casos.

7.3.1 Evaluación de carbofuran en muestras de papa

Tabla VIII Presencia de carbofuran en muestras de papa

Primer Tratamiento	Segundo Tratamiento	Tercer Tratamiento	Cuarto Tratamiento	Quinto Tratamiento	Sexto Tratamiento	Séptimo Tratamiento
						

Fuente: Elaboración propia

En la hipótesis se infería que se detectaría carbofuran a partir del segundo tratamiento y con mayor presencia en los tratamientos siguientes, tomando en cuenta el tiempo de carencia del producto.

En la tabla VIII se puede observar, que la detección de carbofuran comienza a partir del cuarto tratamiento, en el quinto tratamiento se observó un comportamiento peculiar al no detectarse la presencia de carbofuran. Por lo cual se rechaza la hipótesis planteada.

La razón de este comportamiento puede ser a causa de que la temporada de lluvias se registró en los meses de junio a septiembre, las aplicaciones se realizaron cada siete días en domingo a partir del 13 de agosto, por lo que en el quinto tratamiento al cual se le aplicó carbofuran el día 10 de septiembre, se registró una lluvia posterior a la aplicación del plaguicida, lo que pudo haber lavado el producto y por lo tanto no se detectó la presencia de carbofuran.

En cuanto al sexto y séptimo tratamiento se detectó la presencia de carbofuran, como se esperaba la concentración aumentó con respecto al tiempo de aplicación. Siendo el séptimo tratamiento el que mayor concentración de carbofuran presentó.

7.3.2 Evaluación de carbofuran en muestras de suelo

Tabla IX Presencia de carbofuran en muestras de suelo

Primer Tratamiento	Segundo Tratamiento	Tercer Tratamiento	Cuarto Tratamiento	Quinto Tratamiento	Sexto Tratamiento	Séptimo Tratamiento
						

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las muestras de suelo, el carbofuran se detectó a partir del tratamiento número cuatro y en los tratamientos siguientes con una mayor concentración.

Es importante resaltar que en todos los casos a partir de la muestra número cuatro de suelo, se detectó mayor presencia de carbofuran con respecto a la concentración detectada en las muestras de papa.

Esto se debe a que la mayoría de los plaguicidas tienen efectos sobre los demás elementos del medio que rodea al cultivo (suelo, agua, aire) y puede tener mayor impacto en ellos. Se estima que menos del 0.1% de los plaguicidas que se aplican llegan al organismo objetivo, por lo que el 99.9% de los plaguicidas se mueve en el entorno en el cual se da la contaminación inmediata del ambiente: el suelo, aguas superficiales y subterráneas y la atmósfera. Además, afectan negativamente a la salud pública y la biota benéfica, al afectar el equilibrio fisiológico de todos los organismos expuestos (Albert & Benítez, 2005).

Los coeficientes de adsorción y de desorción de los plaguicidas describen el comportamiento de éstos en el suelo y representan una expresión de la movilidad inherente del compuesto en el mismo, además permiten establecer si un compuesto es reversible o irreversiblemente adsorbido lo cual influye en su disponibilidad biológica, su toxicidad a los organismos (terrestres y acuáticos) y su potencial de bioacumulación (Valencia, et al., 2008).

Conclusiones y Perspectivas

Conclusiones

Una vez desarrolladas las metodologías correspondientes, se puede concluir que permitieron cumplir con los objetivos establecidos al inicio de esta investigación. Se obtuvieron muestras de suelo y papa del cultivo experimental, lo que permitió evaluar la persistencia de carbofuran en las mismas y a su vez inferir un posible riesgo de rebasar los límites máximos residuales para el caso de la papa y un posible riesgo de contaminación del recurso suelo.

De manera general se puede concluir lo siguiente:

-Las fuentes oficiales de información sobre plaguicidas carecen de un sistema único de consulta debido a los diferentes objetivos que tiene cada una. En muchos casos la información difiere de fuente a fuente y no todas se encuentran actualizadas.

-El uso excesivo e inadecuado de carbofuran puede generar daños en el medio ambiente y la salud humana por medio de su incorporación en las cadenas tróficas.

-La población que hace uso de furadan, en su mayoría desconoce o ignora los efectos nocivos que pueden ocasionar, ya que no existe una cultura de protección y prevención.

-México cuenta con un marco legal para el uso y registro de plaguicidas, pero carece de instrumentos de vigilancia sobre su uso, de certificaciones para los aplicadores y normas que regulen los límites máximos permisibles de plaguicidas en el suelo.

-Uno de los grandes daños provocados al ambiente por plaguicidas es la resistencia de las plagas a los químicos utilizados, lo cual provoca que cada vez se utilicen cantidades mayores de químicos en el ambiente, así como la aparición de nuevas

plagas debido a que los tóxicos destruyen gran parte de las especies parásitas de las plagas o a sus depredadores naturales.

-Se detectó carbofuran en las muestras de suelo y papa a partir del cuarto tratamiento, esto se debió a que la aplicación fue extemporánea con respecto al tiempo recomendado. Sin embargo, no se detectó desde el segundo tratamiento como se plantea en la hipótesis. Con lo cual se puede concluir que si se aplica carbofuran con las medidas correctas no existe riesgo de rebasar los LMR.

-La concentración detectada de carbofuran en las muestras de suelo fue mayor que en las muestras de papa, esto puede afectar adversamente la capacidad de los microorganismos y otros organismos del suelo encargados de reintegrar los elementos a los diferentes ciclos biológicos.

-Debido a que se trata de un análisis semicuantitativo, no se pueden comparar los resultados de las muestras con los Límites Máximos Residuales (LMR) ya que no se contaba con patrones certificados para el análisis. Sin embargo, al detectarse la presencia del plaguicida tanto en la papa y con mayor presencia en el suelo, se puede hablar de un riesgo potencial de rebasar los LMR y por consiguiente generar daños en la salud humana y en el ambiente. Para precisar estas deducciones es fundamental realizar estudios con métodos de análisis cuantitativos.

- En el caso del séptimo tratamiento donde se detectó la concentración mayor de carbofuran, y debido a que es la forma de producción de los agricultores de la zona, existe un riesgo potencial de que las papas que se consumen en los mercados locales contengan concentraciones de carbofuran por encima de los LMR establecidos.

-La exposición a plaguicidas plantea retos adaptativos nuevos a los seres vivos que, muchas veces, no pueden ser superados adecuadamente. Es necesario incorporar prácticas como el manejo integral de plagas y la agroecología.

Perspectivas

Aun cuando los agroquímicos tienen un gran potencial benéfico para la productividad agrícola, su uso debe ser evaluado cuidadosamente, considerando los beneficios y perjuicios que pueden resultar en cada caso.

Se deben promover otras técnicas para el manejo de plagas y enfermedades dentro de las prácticas agrícolas para disminuir la dependencia de agroquímicos. Entre estas alternativas se encuentra el control biológico, el cual se vale de la introducción de microorganismos antagonistas cuya eficacia ha sido mostrada en diferentes cultivos en diversos estudios. También es esencial el conocimiento de cada cultivo: las diferentes variedades, las etapas de desarrollo más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, el manejo de la fertilidad y humedad del suelo, etc. (Gutiérrez Núñez , 2017).

Es importante llevar a cabo un alineamiento de los programas gubernamentales que buscan impulsar al campo con aquellos que resguardan la protección del ambiente y la salud humana.

Los resultados de la evaluación de carbofuran arrojaron presencia del plaguicida en algunos tratamientos, se considera a este compuesto moderadamente tóxico. La presencia de carbofuran puede afectar las corrientes de agua, afectar especies benéficas y el medio ambiente por posibles escurrimientos del plaguicida, mal manejo de los aplicadores o negligencia de los mismos, por lo que es de suma importancia la concientización por parte de las autoridades en la legislación de venta y capacitación para la aplicación de plaguicidas, y por parte de los aplicadores en el uso del equipo de protección, un buen manejo y disposición de los residuos y envases (Mendoza Morales , 2017).

Referencias

FMC Agroquímica de México, s/f. *Hola de Seguridad Furadan*, Jalisco: s.n.

ABC Digital, 2006. *ABC Digital*. [En línea]

Available at: <http://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/toxicidad-de-plaguicidas-948757.html>

[Último acceso: 7 Junio 2017].

Acosta Vargas, A., 1976. *Determinación por cromatografía gas líquido de pesticidas residuales en papa*. Primera ed. México: UNAM.

Agilent Technologies, 2015. *Cromatografía de exclusión por tamaño para el análisis de biomoléculas*, Estados Unidos : Agilent Technologies.

Agromática, 2015. *Agromática*. [En línea]

Available at: <https://www.agromatica.es/plagas-y-enfermedades-de-la-patata/>

[Último acceso: 14 mayo 2019].

Albert & Benítez, 2005. *Efecto de los plaguicidas en el entorno*, s.l.: s.n.

Alister, C., Araya, M., Becerra, K. & Kogan, M., 2017. *Redagícola*. [En línea]

Available at: <http://www.redagricola.com/cl/periodos-carencia-factores-influyen-estimacion/>

[Último acceso: 03 Abril 2019].

América Albert, L., 2015. *Vía Orgánica*. [En línea]

Available at: <https://viaorganica.org/panorama-de-los-plaguicidas-en-mexico/>

[Último acceso: 1 Septiembre 2019].

Ardón Mejía, M., 1993. *Agricultura Prehispánica y Colonial*. Primera ed. Tegucigalpa: Guaymuras.

Badillo Velázquez, D. J., 2017. *Evaluación de daño genotóxico, causado por exposición a plaguicidas en una población rural*. México : Universidad Nacional Autónoma de México.

Benítez Díaz, P. y otros, 2015. Residuos de Plaguicidas en la cáscara e interior de la papa (*Solanum tuberosum* L.) proveniente de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela.

BIOAGRO, 27(1), pp. 27-36.

Biomodel, s.f. *Biomodel*. [En línea]

Available at: <http://biomodel.uah.es/tecnicas/crom/inicio.htm>

[Último acceso: 15 Junio 2018].

Bolaños, C., 2006. El cultivo de papa. *Revista de Riego, protección y nutrición de hortalizas y frutas*, pp. 12-14.

Boqué, R., 2005. *El límite de detección de un método analítico*, Tarragona: Grupo de Quimiometría y Cualimetría .

Briz López, E. M., 2014. *Determinación de plaguicidas organofosforados en frutas pomáceas por medio de extracción en fase sólida y cromatografía de líquidos*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Bustamante Pérez, G. I., 2007. *Los Plaguicidas y su Impacto en el Medio Ambiente*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Bustamante Pérez, G. I., 2007. *Los Plaguicidas y su Impacto en el Medio Ambiente*. Primera ed. Ciudad de México : UNAM Dirección General de Bibliotecas.

Casamitjana, N. y otros, 2000. *UB edu*. [En línea]

Available at: <http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/index.html#>

[Último acceso: 16 Junio 2018].

Castaños, E., 2015. *LIDIA CON LA QUÍMICA*. [En línea]

Available at: <https://lidiaconlaquimica.wordpress.com/2015/08/14/cromatografia-de-adsorcion/>

[Último acceso: 17 Junio 2018].

Cepeda, S. & Gallegos, G., 2003. *La papa el fruto de la tierra*. Primera ed. México: Trillas.

COESPO, 2010. *Consejo Estatal de Población*. [En línea]

Available at: <http://coespo.edomex.gob.mx/>

[Último acceso: 10 Abril 2019].

CONABIO, 2010. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. [En línea]

Available at: <https://www.gob.mx/conabio>

[Último acceso: 22 Abril 2019].

CSIC, s.f. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. [En línea]

Available at:

http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/cromatografia_de_gases.pdf

[Último acceso: 17 Junio 2018].

Del Puerto Rodríguez , A. M., Suárez Tamayo , S. & Palacio Estrada, D. E., 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* , 52(3).

Eijkemans, G., 2018. *Organización Panamericana de la Salud*. [En línea]

Available at:

https://www.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=1357:el-uso-sostenible-de-los-plaguicidas-es-fundamental-para-alcanzar-desarrollo-en-las-zonas-agricolas-del-pais&Itemid=499

[Último acceso: 01 Septiembre 2019].

EMA, 2015. *Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) Rancho Villa Verde Calimaya*. México: s.n.

FAO, 1990. *Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas*. s.l., Food and Agriculture Organization .

FAO, 2008. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea]

Available at: <http://www.fao.org/home/es/>

[Último acceso: 23 Mayo 2019].

FAOSTAT, 2005. *Base de Datos estadísticos de la FAO*. [En línea]

Available at: <http://faostat.fao.org>

[Último acceso: 24 Mayo 2019].

Ferrer, M., 2003. *Problemas ambientales por el uso de plaguicidas*, México: s.n.

García Rodríguez , Y. M., 2015. *Cromatografía* , Morelia : Saber Más .

Gutiérrez Núñez , M. S., 2017. *Impactos Colaterales del Uso de Plaguicidas a los Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal en Agroecosistemas*. Primera ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México .

Haro, L. F., 2019. Importancia de la Producción de Papa en México. *El Sol de México* , 28 Abril, pp. 10-12.

INEGI, 2007. *Uso de Suelo y Vegetación*. INEGI. [En línea]
Available at: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
[Último acceso: 22 Abril 2019].

INEGI, 2010. *INEGI. Marco Geoestadístico Municipal, versión 4.3*. [En línea]
Available at: <https://www.inegi.org.mx/>
[Último acceso: 22 Abril 2019].

Infoagro, 1997. *InfoAgro.com*. [En línea]
Available at: https://www.infoagro.com/abonos/aplicacion_plaguicidas.htm
[Último acceso: 23 Mayo 2019].

Instituto de Investigaciones Jurídicas , 2003. *Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM*. [En línea]
Available at: <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv>
[Último acceso: 21 Enero 2019].

INTAGRI, 2017. Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. *Serie Hortalizas*, Issue 10, p. 3.

Jekel & Reemtsma, 2006. *Persistencia de plaguicidas*, s.l.: s.n.

Mendoza Morales , C. U., 2017. *Determinación del grado de peligrosidad por el uso de plaguicidas en los viveros de Jiutepec, Morelos*. primera ed. México : Universidad Nacional Autónoma de México .

Miranda, F. & Hernández-X, E., 1963. *Los tipos de vegetación de México y su clasificación*. Octava ed. México: Chief Salvador Arias.

Montelongo Buenavista, I., 2010. *La regulación jurídica de los plaguicidas en México* , Ciudad de México: UAM.

Navarro García , S. & Barba Navarro, A., 1996. *Comportamiento de los Plaguicidas en el Medio Ambiente* , Madrid: Ministerio de Pesca, Agricultura y Alimentación .

Orona, C. F., V, P. Q., Rocha, M. A. & Cadena, M. A., 1992. *Sistema de análisis de parámetros de estabilidad*, Tuxtla Gutiérrez: s.n.

Ortega Ceseña, J., 2004. *Instituto Nacional de Salud Pública*. [En línea]
Available at: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/5800/6460>
[Último acceso: 10 Septiembre 2019].

Ozores Belmonte, M. I., 2016. *Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA*. [En línea]
Available at: <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/cromatografia-de-liquidos-hplc>
[Último acceso: 27 Mayo 2019].

Pérez, W. & Forbes, G., 2011. *Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina* , Lima: FAO.

Plagas y Desinfección, 2005. *PLAGAS Y DESINFECCION*. [En línea]
Available at: <http://www.plagasydesinfeccion.com/plaguicidas/plaguicidas-sinteticos.html>
[Último acceso: 26 Abril 2018].

PROCCYT, 2015. *Protección de Cultivos, Ciencia y Tecnología A.C.*. [En línea]
Available at: <http://proccyt.org.mx/programas/buma/introduccion>
[Último acceso: 30 Mayo 2018].

Ramírez Muñoz, F., Fournier Leiva, M. L., Ruepert, C. & Hidalgo Ardón , C., 2014. Uso de Agroquímicos en el Cultivo de Papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* , II(25), pp. 337 - 345.

Ramírez, J. & Lacasaña, M., 2001. *Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición*, Cuernavaca: Instituto Nacional de Salud Pública..

Ramírez, L., 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, IV(2), pp. 67-75.

Rey Castro, J. H., 2013. *Diagnóstico general del uso de plaguicidas y análisis de su proceso de registro en México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México .

SAGARPA, 2007. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/agricultura>
[Último acceso: 23 Mayo 2019].

Scott, J. G., W, Rosegrant & C, Ringler, 2000. *Raíces y tubérculos para el siglo 21. Tendencias, Proyectos y opciones políticas*", España: International Food Policy Research Institute .

Secretaría de Fomento Agropecuario, 2009. *Producción de Semilla de Papa en Baja California*, Baja California: SAGARPA.

SEDESOL, 2010. *Unidad de Microrregiones Cédulas de Información Municipal (SCIM)*, México: SEDESOL.

SIAP, 2017. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. [En línea]
Available at: <https://www.gob.mx/siap>
[Último acceso: 21 Abril 2018].

SIATL, 2015. *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas*. [En línea]
Available at: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
[Último acceso: 22 Abril 2019].

Silbergeld, E., 2006. Toxicología. En: *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo , pp. 1-84.

Terralia, 2008. *Terralia*. [En línea]
Available at:
[https://www.terralia.com/agroquimicos de mexico/view_composition?book_id=3&composition_id=12830](https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_composition?book_id=3&composition_id=12830)
[Último acceso: 15 Junio 2018].

UNICOOP, 2015. *Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas* , Panamá: UNICOOP.

Valencia, E. M., Guerrero, J. A., de Yunda, A. & Martínez, M. J., 2008. Evaluación de la adsorción-desorción de carbofuran y Furadan 3SC en tres suelos de cundinamarca (Colombia). *Revista Colombiana de Química* , 37(1), pp. 79-91.