







## Risco de contaminação do solo e da água por substâncias ativas de pesticidas associadas aos cultivos agrícolas de Calimaya, México Central

Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro<sup>1\*</sup> , Luis Miguel Espinosa Rodríguez<sup>2</sup> ,  
José Isabel Juan Pérez<sup>3</sup>  e Miguel Ángel Balderas Plata<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), Toluca de Lerdo, Estado de México, México; gahal.85@gmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Geografía de la UAEMéx, Toluca de Lerdo, Estado de México, México; lmespinosar@uaemex.mx; mabalderasp@uaemex.mx;

<sup>3</sup> Centro de Investigación Multidisciplinaria en Educación de la UAEMéx, Toluca de Lerdo, Estado de México, México; jijuanp@uaemex.mx.

\*Autor Correspondente: gahal.85@gmail.com

Recebido: 22/03/2021; Aceito: 30/08/2021.

**Resumo:** O manejo de pesticidas nos cultivos de milho, aveia, feijão e batata em Calimaya em sistemas semi-intensivo e intensivo de produção é uma fonte potencial de impactos ambientais pela contaminação do solo e da água. Baseando-se em atributos químicos e físicos de substâncias ativas de pesticidas, identificadas em trabalho de campo na zona agrícola deste município, um índice foi criado para estimar o risco de contaminação dos sistemas edáfico e hidrográfico como destino ambiental destas substâncias. Solubilidade em água, logaritmo (base 10) do coeficiente de partição entre n-octanol e água, pressão de vapor, degradação em água, solo e sedimentos, fotólise e hidrólise em água com um DT50, coeficiente de sorção na fração mineral do solo corrigido para o teor de carbono orgânico e índice de lixiviação GUS foram os indicadores utilizados para o índice. O risco de contaminação dos destinos ambientais solo e água por substâncias ativas de pesticidas utilizadas nos cultivos de Calimaya é baixo. Entretanto, os limites de segurança previstos pela química ambiental podem ser ultrapassados pela concomitância de fatores que aumentam o risco de contaminação do solo e da água no município como a presença de pesticidas altamente perigosos restritos ou proibidos em outros países, o uso excessivo e o manejo incorreto destas substâncias na zona agrícola

**Palavras-chave:** Agricultura; Agroquímicos; Química ambiental; Ciências ambientais.

## Risk of soil and water contamination by active pesticide substances associated with crops in Calimaya, Central Mexico

**Abstract:** The management of pesticides in maize, oat, faba bean and potato crops in Calimaya in semi-intensive and intensive production systems is a potential source of environmental impacts due to soil and water contamination. Based on chemical and physical attributes of active pesticide substances, identified in field work in the agricultural zone of this municipality, an index was created to estimate the risk of contamination of the edaphic and hydrographic systems as an environmental destination for these substances. Solubility in water, the logarithm with base 10 of the partition coefficients between n-octanol and water, vapor pressure, degradation in water, soil and sediments, photolysis, and hydrolysis in water with a DT50, sorption coefficient in the mineral fraction of the soil corrected for the organic carbon content and GUS leaching index were the indicators used for the index. The risk of contamination of the soil and water environmental destinations by active pesticide substances from used in Calimaya crops is low. However, the safety limits foreseen by the environmental chemistry can be exceeded by the concomitance of factors that increase the risk of soil and water contamination in the municipality, such as the presence of highly dangerous pesticides restricted or prohibited in other countries, the excessive use and the incorrect handling of these substances in the agricultural zone.

**Key-words:** Agriculture; Agrochemicals; Environmental chemistry; Environmental sciences.

## 1. INTRODUÇÃO

O benefício agroalimentar das substâncias ativas de pesticidas (SAPs) pode ser afetado pelos potenciais danos causados à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente quando não existe um plano de manejo técnico de agroquímicos nas zonas agrícolas (PHILP, 2013; TOUMI et al., 2019). Os processos de produção agrícola são a chave principal para entender os riscos associados à exposição direta e indireta dos seres humanos e do ambiente às SAPs (SINGH et al., 2018; VAN DEN BERG et al., 2020).

No município de Calimaya, Estado do México, a agricultura é uma importante atividade econômica (Gaceta Municipal de Calimaya 2019). Em 2019, a área de plantio e colheita dos cultivos convencionais de milho (*Zea mays* L.), aveia (*Avena sativa* L.), fava (*Vicia faba* L.) e batata (*Solanum tuberosum* L.) correspondeu a um total de 6407,98 ha em Calimaya (SIAP, 2019). O manejo fitotécnico destes cultivos e nível de tecnologia empregado nesta região é semi-intensivo e intensivo (DELGADO MENDOZA, 2016; SEMARNAT, 2016). Por tanto, é alta a demanda por agroquímicos, principalmente pesticidas (DELGADO MENDOZA, 2016). Além da pesquisa direta com questionários aplicados aos agricultores, a identificação de embalagens vazias nos centros rurais de coleta de agroquímicos se mostrou eficaz para conhecer as SAPs predominantes no cultivo da batata em Calimaya (DELGADO MENDOZA, 2016). Também a coleta de embalagens de agroquímicos vazias abandonadas nas lavouras podem indicar as SAPs mais utilizadas no manejo fitotécnico. No México e em muitos outros países em desenvolvimento várias práticas de manejo incorretas de disposição final de agroquímicos são descritas como o abandono nos campos de cultivo, nos corpos de água e a queima de embalagens (GÓMEZ GONZÁLEZ, 2017; MAGAUZI et al., 2011; ZAPATA DIOMEDI & NAUGES, 2016).

No estudo de Delgado Mendoza (2016) foi avaliado o destino ambiental de SAPs encontrados no cultivo da batata por meio de modelagem de propriedades físicas e químicas destas substâncias e do sistema solo-água; entretanto, desconhece-se a relação entre uso e manejo de pesticidas nos outros cultivos predominantes em Calimaya, como o cultivo da variedade crioula de milho Cacahuacintle que ocupa quase toda a extensão do território agrícola (GONZÁLEZ HUERTA et al., 2008; SIAP, 2019).

O risco de contaminação do solo e da água (destino ambiental) por SAPs comumente é estimado a partir de seus indicadores físico e químicos (UH, 2020c, 2020a). A alta solubilidade de uma SAP em água está associada a problemas como a contaminação de corpos de água e lençóis freáticos. O logaritmo (base 10) do coeficiente de partição entre n-octanol e água indica o potencial de bioacumulação de uma SAP. A pressão na qual um líquido está em equilíbrio com seu vapor a 20 °C, é uma medida da tendência de uma SAP a vaporizar, sendo um indicador potencial de contaminação ambiental, principalmente atmosférica. A degradação de SAPs são comumente estudadas em água, solo e sedimentos com um DT50 (Dose Letal 50), que é o tempo necessário para que a concentração da substância química em condições definidas diminua para 50% da quantidade na aplicação. Em muitos casos, as SAPs mostram um comportamento de “meia-vida”, no qual as concentrações subsequentes continuam a diminuir em 50% no mesmo período. Em tais casos, várias ou mais quatro meias-vidas, nas quais a concentração diminui para 1/8 ou 1/16, por exemplo, são uma medida da persistência desta SAP. A fotólise aquosa de uma SAP é a taxa de decomposição química no ambiente aquático induzida pela luz ou outra energia radiante expressa como um DT50. A hidrólise aquosa é a taxa de decomposição química induzida pela água em pH 7 expressa como um DT50. Os dados do coeficiente de sorção (Koc) são uma medida da tendência de uma SAP se ligar à fase mineral do solo, corrigido para o teor de carbono orgânico. Os valores de Koc podem variar substancialmente, dependendo do tipo de solo, do pH do solo, das propriedades acidobásicas do pesticida e do tipo de matéria orgânica do solo. O índice GUS (*Groundwater Ubiquity Score*) é um indicador muito simples de um potencial químico de lixiviação para as águas subterrâneas, que se baseia nas propriedades ambientais do destino da SAP e não leva em consideração as condições ambientais. As informações técnicas e científicas sobre SAPs encontradas em bases de dados nacionais e internacionais (EUROPEAN COMMISSION, 2020; PAN, 2019; PUBCHEM, 2020; UH, 2020d, 2020b, 2020e) facilita o processo de revisão de questões de riscos ambientais associados a essas substâncias (KIMBROUGH et al., 2020; LEWIS et al., 2016).

Alguns estudos relatam diferentes impactos ambientais causados principalmente pela atividade mineradora e imobiliária em Calimaya (GARCÍA GONZÁLEZ & CARREÑO MELÉNDEZ, 2018; JUAN PÉREZ et al., 2015; VALENCIA GARCÍA et al., 2016), entretanto, os impactos ambientais causados pelos processos agrícolas semi-intensivos e intensivos não são descritos nestes estudos. Calimaya se encontra entre 2580 a 4100 mamsl e existem dois tipos de clima de acordo com a classificação de Köppen (INEGI, 2008), o C(w2)(w), temperado subúmido com 57,86 % da superfície territorial, e o C(E)(w2)(w), semi-frio subúmido com 44,14 % do território. O município está localizado na bacia hidrográfica “Rio Lerma 1”, que tem uma extensão territorial de 2058,31 km<sup>2</sup> com um

volume médio anual de escoamento natural de 224348 hm<sup>3</sup>, volume anual de extração de água superficial de 72880 hm<sup>3</sup>, déficit de disponibilidade anual médio de 0,193 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2018b). Calimaya pertence à zona do Aquífero do Vale de Toluca, superexplorado, que cobre uma área total de aproximadamente 2811,16 km<sup>2</sup>, recarga de 336,80 hm<sup>3</sup> e extração de 422,40 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2018a). Seis unidades edáficas, com suas respectivas coberturas relativas no território, são identificadas em Calimaya: Phaeozem Háptico (53,06%), Andossolo (Húmico, 22,29 %; Mólico, 3,47%; Ócrico, 1,42 %), Regossolo Êutrico (10,72 %), Cambissolo Êutrico (7,50 %), Leptossolos (1,31 %), Vertissolo Pélico (0,23 %) (INEGI, 1976b, 1976c, 1976a, 1976d). Calimaya é um dos 10 municípios do Estado do México que fazem parte da Área de Proteção de Flora e Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) (CONANP, 2013; REGIL-GARCÍA & FRANCO-MAASS, 2009; SEMARNAT, 2016). Os cultivos predominantes em Calimaya são pré-existent à delimitação da APFFNT (CONANP, 2013; REGIL-GARCÍA & FRANCO-MAASS, 2009; SEMARNAT, 2016). Apesar da adaptação dos cultivos à altitude e ao clima, de acordo com Regil-García & Franco-Maass (2009), a aptidão territorial das espécies agrícolas (batata, aveia, milho e fava) no APFFNT é baixa e nunca acima da aptidão florestal. A forte pressão antrópica exercida sobre os componentes edáficos e hidrográficos do sistema ambiental em Calimaya é inquestionável, sendo a agricultura uma das principais atividades com potencial de causar impactos negativos.

O manejo de agroquímicos é um dos processos de produção agrícola mais importantes, portanto, faz-se necessário identificar e descrever quais são as principais SAPs usadas nos cultivos predominantes e analisar o risco de exposição dos destinos ambientais solo e água em Calimaya. Por esta razão, o objetivo deste trabalho foi criar um Índice de Risco de Contaminação do Solo e da Água baseando-se em atributos químicos e físicos das SAPs que são frequentemente utilizadas nos cultivos agrícolas de Calimaya.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para identificar as SAPs, realizou-se a amostragem e coleta de embalagens vazias de pesticidas nos campos de cultivo da zona agrícola de Calimaya, município localizado entre as coordenadas geográficas 19°06'57,56 e 19°13'15,92" Norte e 99°44'04,97 e 99°31'49,26" Oeste (IGECEM, 2013), pertencente à Zona Metropolitana do Vale de Toluca, Estado do México (SCIGA-INEGI, 2018).

Sete viagens de campo com 77 observações amostrais de coleta de embalagens vazias de pesticidas (Figura 1) na zona agrícola de Calimaya, no final do ciclo das culturas predominantes, foram realizadas entre os meses de agosto e novembro de 2019.

As observações de campo baseadas em pontos do Sistema de Posicionamento Global (GPS) (Garmin 64s GPS) foram processadas no ArcMap (versão 10.4), digitalizando um centroide por polígono (representando uma área de cultivo agrícola) e outras informações relevantes por meio de imagens de satélite.

Os metadados de SAPs da meta-análise concisa realizada neste trabalho foram pesquisados nas seguintes fontes primárias, secundárias e terciárias de informação.

- 1) Fontes primárias (trabalho de campo):
  - a) Campos de cultivos e respectivos pontos GPS;
  - b) Etiqueta de pesticida na embalagem vazia.
- 2) Fontes secundárias da marca registrada de pesticida obtidas na internet (*Uniform Resource Locator - URL*):
  - a) Etiqueta de pesticida;
  - b) Ficha de dados de segurança;
  - c) Ficha de dados técnicos;
  - d) Consulta dos registros sanitários de pesticidas no México (COFEPRIS, 2020), acessado em 11 de julho de 2020.
- 3) Fontes terciárias de SAPs na internet:
  - a) Base de dados desenvolvidos pela Unidade de Pesquisa em Agricultura e Meio Ambiente (AERU) da Universidade de Hertfordshire:
    - i) Base de dados de propriedades de pesticidas (UH, 2020d);
    - ii) Base de dados de bio-pesticidas (UH, 2020b);
  - iii) Base de dados de substâncias veterinárias (UH, 2020e).

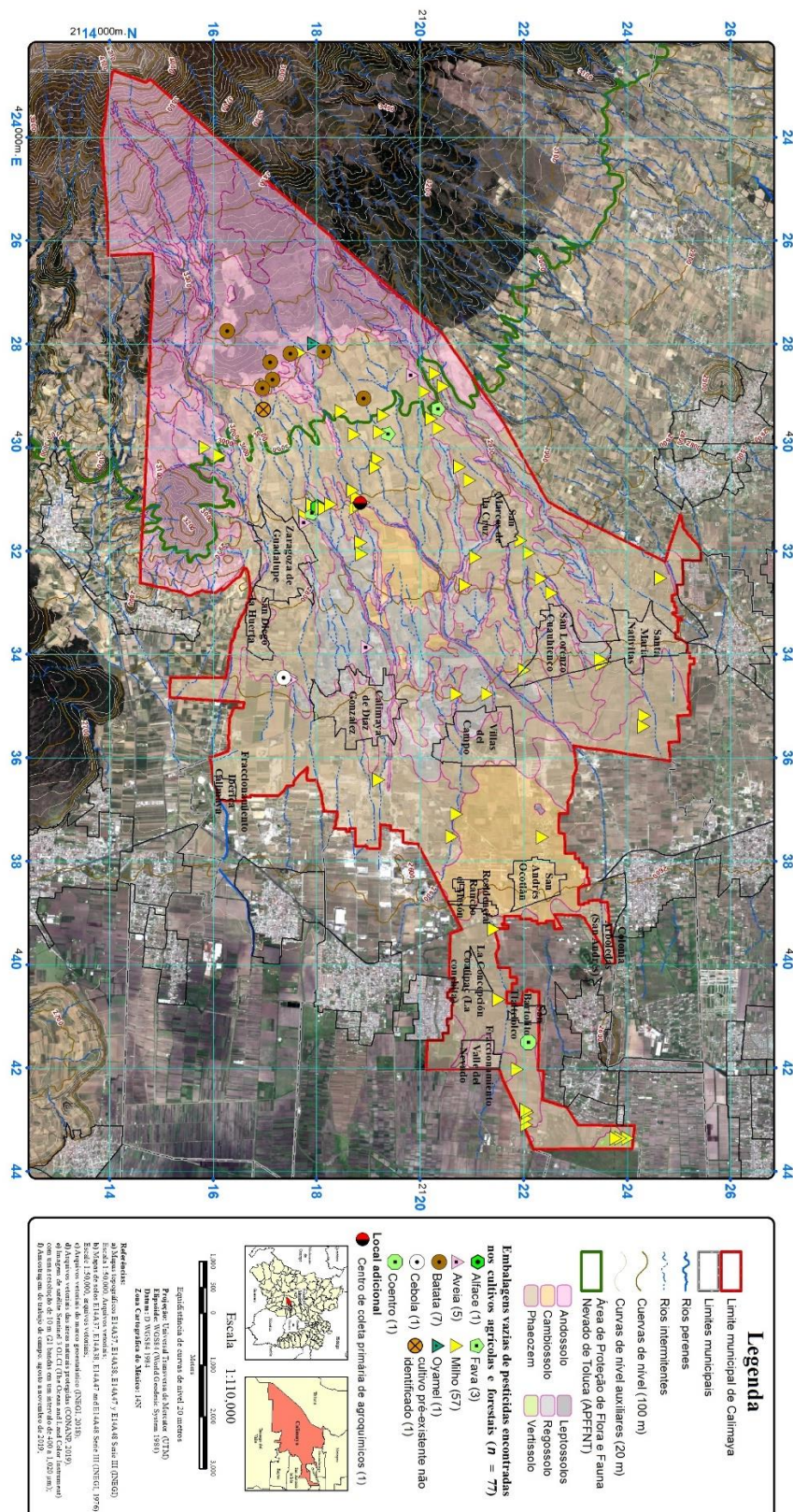


Figura 1. Amostragem de embalagens vazias de pesticidas na zona agrícola do Município de Calimaya, Estado de México, México (2019).

b) Base de dados de pesticidas da União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2020);



- d) Base de dados de riscos químicos da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (*European Food Safety Authority* - EFSA) (KOVARICH, S. et al., 2020);
- f) Base de dados da Rede de Ação de Pesticidas (*Pesticide Action Network* - PAN) (2019);
- g) Base de dados PubChem® da Biblioteca Nacional de Medicina (*National Library of Medicine*) (2020).

Os indicadores físicos e químicos das SAPs meta-analisados neste estudo são descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Indicadores risco de contaminação do solo e da água para substâncias ativas de pesticidas

| Grupo                         | Indicador (unidade) - Abreviatura  | Ponderação de classes <sup>1,2</sup>   |
|-------------------------------|--|--|
| Propriedades físico-químicas  | Solubilidade da SAP em água a 20 °C (mg/L)<br>Solub  | Baixo = 1;<br>Moderado = 3;<br>Alto = 6  |
|                               | Coefficiente de partição octanol-água a pH 7, 20 °C (Adimensional) - LogP                                | Baixo = 1;<br>Moderado = 2;<br>Alto = 3  |
|                               | Pressão de vapor a 20 °C (mPa) - PVap  | Baixo = 1;<br>Moderado = 2;<br>Alto = 3  |
| Índice de destino ambiental   | Índice de potencial de lixiviação (Adimensional) - IGUS  | Baixo = 4;<br>Estado de transição = 8;<br>Alta lixiviação = 16   |
|                               | Degradação no solo (aeróbia) em estudos de campo com DT <sub>50</sub> (dias) - DSDT <sub>50</sub>        | Não persistente = 2;<br>Moderadamente persistente = 4;<br>Persistente = 8;<br>Muito persistente = 16           |
| Degradação no ambiente        | Fotólise aquosa, DT <sub>50</sub> em pH 7 (dias) - FADT <sub>50</sub>                                    | Estável = 4;<br>Lento = 3;<br>Moderadamente rápido = 2;<br>Rápido = 1;   |
|                               | Hidrólise aquosa, DT <sub>50</sub> a 20 °C e pH 7 (dias) - HADT <sub>50</sub>                            | Não persistente = 1;<br>Moderadamente persistente = 2;<br>Estável ou persistente = 3;<br>Muito persistente = 4 |
|                               | -Degradação em água-sedimento, DT <sub>50</sub> (dias) - ASDT <sub>50</sub>                              | Estável = 16;<br>Lento = 8;<br>Moderadamente rápido = 4;<br>Rápido = 2   |
|                               | - Degradação em fase aquosa única, DT <sub>50</sub> (dias) - AUDT <sub>50</sub> .                        | Estável = 16;<br>Lento = 8;<br>Moderadamente rápido = 4;<br>Rápido = 2   |
| Adsorção e mobilidade do solo | Coefficiente de adsorção normalizado em relação ao teor de carbono orgânico do solo (Adimensional) - Koc | Não móvel = 1;<br>Ligeiramente móvel = 2;<br>Moderadamente móvel = 4;<br>Móvel = 8;<br>Muito móvel = 16.       |

<sup>1</sup> Antecedentes e informações de apoio às bases de dados de substâncias agrícolas desenvolvido pela Unidade de Pesquisa em Agricultura e Meio Ambiente (AERU) da Universidade de Hertfordshire (Reino Unido), como parte do projeto FOOTPRINT financiado pela União Europeia (UH, 2020a). <sup>2</sup> A ponderação de escores da classificação dos indicadores físicos e químicos foi estabelecida com base na literatura técnica e indicação dos especialistas.

A equação 1 a seguir é o modelo aditivo do Índice de Risco de Contaminação do Solo e da Água por SAP (IRCSA<sub>SAP</sub>) que considera os indicadores da Tabela 1:

$$IRCSA_{SAP} = Solub + LogP + PVap + DSDT_{50} + FADT_{50} + HADT_{50} + ASDT_{50} + AUDT_{50} + Koc + IGUS$$

A Tabela 2 contém as classes de interpretação de escores do IRCSA<sub>SAP</sub>.

**Tabela 2.** Classes de interpretação dos escores do Índice de Risco de Contaminação do Solo e da Água por substâncias ativas de pesticidas (IRCSASAP)

| Classes     | Intervalo de Escores do IRCSA <sub>SAP</sub> |
|-------------|--|
| Muito baixo | 1 a 20                                       |
| Baixo       | 21 a 40                                      |
| Moderado    | 41 a 60                                      |
| Alto        | 61 a 80                                      |
| Muito Alto  | 81 a 100                                     |

A análise estatística dos dados foi processada e calculada em Excel (Microsoft Office 2019).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os 77 pontos de coleta das embalagens vazias de pesticidas (355) encontradas nas áreas de cultivo de alface, aveia, batata, cebola, coentro, fava, milho, oyamel, e um cultivo pré-existente não identificado. Os cultivos nos quais foi coletado um maior número de embalagens vazias de pesticidas foram, respectivamente, milho (57; 74,03%), aveia (5; 6,49%), fava (3; 3,90%) e batata (7; 9,09%) (Figura 1). O número de amostras de embalagens vazias de pesticidas reflete a ordem da superfície de plantio e colheita das safras dos cultivos de milho, aveia, fava e batata de Calimaya (SIAP, 2019). O cultivo da batata em Calimaya predomina dentro dos limites da APFFNT, mesmo com as restrições ambientais indicadas por fontes governamentais e acadêmicas (CONANP, 2013; REGIL-GARCÍA & FRANCO-MAASS, 2009; SEMARNAT, 2016).

Devido a extensão da atividade agrícola no território de Calimaya (Figura 1), os recursos solo e água estão expostos aos impactos ambientais negativos causados por processos de produção vegetal como o manejo do solo e manejo fitotécnico representados em etapas de plantio, manejo de agroquímicos e colheita. Os fungicidas, acaricidas e inseticidas, inseticidas e herbicidas foram os tipos de pesticidas mais frequentes na coleta de embalagens vazias nas lavouras de Calimaya (Tabela 3). No México, o consumo total de agrotóxicos atingiu 47127,77 toneladas em 2016, com o uso predominante de fungicidas e bactericidas com 29100 t (61,75%), herbicidas com 9539,04 t (20,24%) e inseticidas com 8488,73 t (18,01%) (FAO, 2016). O predomínio do consumo de fungicidas, inseticidas e herbicidas em sistemas agrícolas está diretamente relacionado ao tipo de cultivo e à incidência de problemas fitossanitários (GONZÁLEZ, 1976; LEYVA MORALES et al., 2014; RIDGWAY et al., 1978).

A imidacloprida foi a única SAP que apresentou um IRCSA<sub>SAP</sub> alto (61) (Tabela 4). 23.53% das SAPs encontradas nos cultivos de Calimaya foram classificadas com um IRCSA<sub>SAP</sub> moderado, 47.06% com baixo e 27.94% com muito baixo (Tabela 4). Um IRCSA<sub>SAP</sub> baixo corresponde à média para o total de SAPs encontradas nas lavouras de Calimaya (Tabela 4).

Os valores e interpretações do IRCSA<sub>SAP</sub>, respectivamente, para os principais cultivos de Calimaya (Figura 1) foram: milho (34, baixo), aveia (39, baixo), fava (43, moderado) e batata (28, baixo) (Tabela 5). A média geral obtida para SAPs (Tabela 4) e a média geral obtida para os cultivos recomendados pelas fichas técnicas de pesticidas (Tabela 5) foram classificadas com um IRCSA<sub>SAP</sub> baixo.

É importante ressaltar que o IRCSA<sub>SAP</sub> é um índice desenhado com a finalidade de indicar o risco potencial de contaminação do solo e água como destinos ambientais das SAPs. Outros indicadores ambientais, toxicológicos e ecotoxicológicas que caracterizam as SAPs e justificam a eliminação ou restrição de uso em países desenvolvidos não compuseram o IRCSA<sub>SAP</sub>. Entretanto, na Tabela 4 foram incluídos dados que sinalizam o caráter de risco de contaminação das SAPs e suas respectivas restrições de uso.

Vinte e duas SAPs (32,35%) encontradas em Calimaya (Tabela 4) são pesticidas altamente perigosos com o maior número de registros em todos os usos no México (BEJARANO GONZÁLEZ, 2017). Treze dos pesticidas (19,12%) encontrados em Calimaya (Tabela 4), que são autorizados no México, são proibidos em outros países (BEJARANO GONZÁLEZ, 2017). México se insere em um contexto de países em desenvolvimento que ainda autorizam pesticidas já proibidos em países desenvolvidos (BEJARANO GONZÁLEZ, 2017). Por exemplo, 44,12% das SAPs utilizadas pelos agricultores em Calimaya (Tabela 4) não são aprovadas pelo Regulamento (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2009): amitraz, atrazina, benomil, bifentrin, carbendazim, carbofurano, carbosulfano, clorotalonil, clorpirifos etil, diclorvos, dimetoato, endosulfan, fenamidona, fenpropratrina, fipronil, casugamicina, kasugamicina, metamidofosfato, naled, ometoato, oxitetraciclina, paraquat, permetrina, profenofos, propinebe, estreptomina, terbufos, tiametoxam, e zinebe. As substâncias ativas com registro vencido no ano de 2020 (EUROPEAN COMMISSION, 2020) foram

beta-ciflutrina, captana, cipermetrina, deltametrina, diuron, famoxadona, fluoxastrobina, metribuzina, picloram, propamocarbe, enxofre e tiofanato-metil (Tabela 3). As demais substâncias ativas aprovadas (Tabela 4) têm suas datas de validade de registro entre 31 de janeiro de 2021 e 31 de maio de 2035 (EUROPEAN COMMISSION, 2020). 44,12% das SAPs utilizadas pelos agricultores em Calimaya (Tabela 4) não são aprovadas pelo Regulamento (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

**Tabela 3.** Tipos de pesticidas das substâncias ativas de pesticidas (SAPs), identificados por meio da coleta de embalagens vazias na zona agrícola de Calimaya, Estado do México (agosto-novembro de 2019)

| Tipo de pesticida  | Frequência Absoluta | Frequência Relativa (%) |
|--|---------------------|-------------------------|
| Acaricida e fungicida                                    | 1                   | 1,47                    |
| Acaricida e inseticida                                   | 12                  | 17,65                   |
| Acaricida, fungicida e repelente                         | 1                   | 1,47                    |
| Acaricida, inseticida e metabolito                       | 2                   | 2,94                    |
| Acaricida, inseticida e nematocida                       | 1                   | 1,47                    |
| Antibiótico, bactericida e droga medicinal               | 1                   | 1,47                    |
| Antimicrobiano, antisséptico e bactericida               | 1                   | 1,47                    |
| Bactericida e fungicida                                  | 2                   | 2,94                    |
| Bactericida, fungicida e substância veterinária          | 1                   | 1,47                    |
| Fungicida  | 19                  | 27,94                   |
| Fungicida e mitocida                                     | 1                   | 1,47                    |
| Fungicida e regulador de crescimento vegetal             | 1                   | 1,47                    |
| Fungicida e repelente                                    | 1                   | 1,47                    |
| Herbicida  | 9                   | 13,24                   |
| Herbicida, metabolito e regulador de crescimento vegetal | 1                   | 1,47                    |
| Inseticida   | 9                   | 13,24                   |
| Inseticida e nematocida                                  | 2                   | 2,94                    |
| Inseticida e substância veterinária                      | 3                   | 4,41                    |
| SAPs (n)   | 68                  | 100                     |

<sup>1</sup> Metadados obtidos da Base de Dados de Pesticidas da União Europeia (Comissão Europeia 2020) e da Base de Dados de Propriedades de Pesticidas desenvolvida pela Unidade de Pesquisa de Agricultura e Meio Ambiente (AERU) da Universidade de Hertfordshire (UH, 2020d, 2020b, 2020e).

Benomil, monocrotofos, carbofurano e metamidofos (Tabela 4) estão classificados como “químico de consentimento prévio informado” para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (PAN, 2019). Captan, diclorvos, 2,4-D e mancozeb (Tabela 3) são classificados como poluentes perigosos do ar pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA) (PAN, 2019). Atrazina, diuron e picloram são classificados pela Rede de Ação de Pesticidas (PAN 2019) como contaminantes da água subterrânea, além de outros 25 SAPs (36,76%) que são classificadas como contaminantes potenciais (Tabela 4).

**Tabela 4.** Indicadores de risco de contaminação do solo e da água por substâncias ativas de pesticidas (SAP) aplicados nos cultivos da zona agrícola de Calimaya, Estado de México (2019) e Índice de Risco de Contaminação do Solo e da Água por SAP (IRCSASAP)

| SAP                                   | Valores ponderados para classes de indicadores |                   |                   |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |                  |                    | IRCSASAP | Classe      |
|---------------------------------------|--|-------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|----------|-------------|
|                                       | Solub <sup>1</sup>                             | LogP <sup>2</sup> | PVap <sup>3</sup> | DSDT <sub>50</sub> <sup>4</sup> | FADT <sub>50</sub> <sup>5</sup> | HADT <sub>50</sub> <sup>6</sup> | ASDT <sub>50</sub> <sup>7</sup> | AUDT <sub>50</sub> <sup>8</sup> | Koc <sup>9</sup> | IGUS <sup>10</sup> |          |             |
| 2,4-D <sup>12,14</sup>                | 3  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 3                               | 2                               | 4                               | 8                | 16                 | 44       | Moderado    |
| Abamectina                            | 1  | 3                 | 1                 | 2                               | 2                               | 3                               | 4                               | 4                               | 1                | N.E.               | 21       | Baixo       |
| Acetamiprida <sup>14</sup>            | 3  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 4                               | N.E.                            | 4                               | 4                | 4                  | 27       | Baixo       |
| Alfa-cipermetrina <sup>15</sup>       | 1  | 3                 | 1                 | 4                               | 2                               | 2                               | 2                               | 4                               | 1                | 4                  | 24       | Baixo       |
| Amitraz <sup>16,17</sup>              | 1  | 3                 | 1                 | 2                               | 4                               | 1                               | N.E.                            | N.E.                            | 2                | 4                  | 18       | Muito baixo |
| Atrazina <sup>13,15,16,17</sup>       | 1  | 2                 | 1                 | 2                               | 2                               | 2                               | 4                               | N.E.                            | 4                | 8                  | 26       | Baixo       |
| Azoxistrobina <sup>14</sup>           | 1  | 1                 | 1                 | 8                               | 2                               | 3                               | 8                               | 4                               | 2                | 16                 | 46       | Moderado    |
| Benomyl <sup>11,16,17</sup>           | 1  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 1                               | N.E.                            | N.E.                            | 2                | 4                  | 16       | Muito baixo |
| Bentazone                             | 3  | 1                 | 1                 | 2                               | 2                               | 3                               | 16                              | 16                              | 8                | 8                  | 60       | Moderado    |
| Beta-ciflutrina                       | 1  | 3                 | 1                 | 4                               | 2                               | 3                               | 2                               | 2                               | 1                | 4                  | 23       | Baixo       |
| Bifentrina <sup>15,17</sup>           | 1  | 3                 | 1                 | 4                               | 2                               | 3                               | 8                               | 4                               | 1                | 4                  | 31       | Baixo       |
| Captans <sup>12</sup>                 | 1  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 1                               | 2                               | 2                               | 4                | 4                  | 22       | Baixo       |
| Carbendazim <sup>17</sup>             | 1  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 3                               | 4                               | 4                               | 4                | 8                  | 32       | Baixo       |
| Carbofurano <sup>14,11,15,16,17</sup> | 2  | 1                 | 1                 | 2                               | 4                               | 2                               | 2                               | 4                               | 8                | 8                  | 34       | Baixo       |
| Carbosulfano <sup>16,17</sup>         | 1  | 3                 | 1                 | 2                               | 1                               | 1                               | 2                               | 4                               | 1                | 4                  | 20       | Muito baixo |
| Carfentazone-etil                     | 1  | 3                 | 1                 | 2                               | 2                               | 1                               | 2                               | 2                               | 2                | 4                  | 20       | Muito baixo |
| Chlorothalonil <sup>14,15,17</sup>    | 1  | 2                 | 1                 | 2                               | 1                               | 1                               | 2                               | 2                               | 2                | 4                  | 18       | Muito baixo |

CONTINUA...

| ...CONTINUAÇÃO                              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |             |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|-------------|
| Clorpirifos-etil <sup>15</sup>              | 1    | 3    | 1    | 2    | 3    | 2    | 4    | 4    | 1    | 4    | 25 | Baixo       |
| Cimoxanil                                   | 3    | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 2    | N.E. | 4    | 18 | Muito baixo |
| Cipermetrina <sup>15</sup>                  | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 3    | 2    | 4    | 1    | 4    | 23 | Baixo       |
| Deltametrina <sup>15</sup>                  | 1    | 3    | 1    | 2    | N.E. | 3    | 4    | 8    | 1    | 4    | 27 | Baixo       |
| Dichlorvos <sup>12,15,16,17</sup>           | 3    | 1    | 3    | 2    | N.E. | 1    | 2    | N.E. | 8    | 4    | 24 | Baixo       |
| Dimetoato <sup>14,15,17</sup>               | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 2    | 2    | 4    | 16   | 8    | 43 | Moderado    |
| Diuron <sup>13,15</sup>                     | 1    | 2    | 1    | 8    | 4    | 3    | 4    | 4    | 4    | 8    | 39 | Baixo       |
| Endosulfan <sup>15,16,17</sup>              | 1    | 3    | 1    | 4    | N.E. | 1    | N.E. | N.E. | 1    | 16   | 27 | Baixo       |
| Famoxadone                                  | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 2    | 2    | 4    | 20 | Muito baixo |
| Fenamidona <sup>14,17</sup>                 | 1    | 2    | 1    | 2    | 2    | 4    | 4    | 8    | 4    | 4    | 32 | Baixo       |
| Fenpropatrina <sup>17</sup>                 | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 4    | 2    | 4    | 1    | 4    | 24 | Baixo       |
| Fipronil <sup>14,17</sup>                   | 1    | 3    | 1    | 4    | 1    | 3    | 4    | 16   | 2    | 8    | 43 | Moderado    |
| Fluazinam                                   | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 1    | 2    | 4    | 1    | 4    | 21 | Baixo       |
| Fluoxastrobin                               | 1    | 2    | 1    | 4    | 4    | 3    | 8    | 8    | 2    | 8    | 41 | Moderado    |
| Flutolanil <sup>14</sup>                    | 1    | 3    | 1    | 8    | 4    | 3    | 8    | 16   | 2    | 8    | 54 | Moderado    |
| Fluxaproxad                                 | 1    | 3    | 1    | 8    | N.E. | N.E. | 16   | 4    | N.E. | 8    | 41 | Moderado    |
| Fostil Alumínio <sup>14</sup>               | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 2    | 4    | 4    | N.E. | 24 | Baixo       |
| Gentamicina                                 | N.E. | 1    | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 1  | Muito baixo |
| Glifosato <sup>14, 15</sup>                 | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 4    | 4    | 1    | 4    | 27 | Baixo       |
| Imidacloprida <sup>14,15</sup>              | 3    | 1    | 1    | 8    | 1    | 3    | 8    | 16   | 4    | 16   | 61 | Alto        |
| Kasugamicina <sup>17</sup>                  | N.E. | N.E. | N.E. | 2    | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 2  | Muito baixo |
| Lambda-cihalotrina <sup>15</sup>            | 1    | 3    | 1    | 2    | 4    | 3    | 2    | 2    | 1    | 4    | 23 | Baixo       |
| Mancozeb <sup>12,14,15</sup>                | 1    | 1    | 1    | 2    | 4    | 1    | 4    | 2    | 1    | 4    | 21 | Baixo       |
| Mandipropamid <sup>14</sup>                 | 1    | 3    | 1    | 2    | 2    | 3    | 2    | 2    | 2    | 4    | 22 | Baixo       |
| Metalaxil-M <sup>14</sup>                   | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 4    | 8    | 4    | 8    | 38 | Baixo       |
| Methamidofosfato <sup>14, 11,15,16,17</sup> | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 1    | 2    | 8    | 16   | 8    | 46 | Moderado    |
| Metomil <sup>14,15,17</sup>                 | 3    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 2    | 4    | 8    | 8    | 36 | Baixo       |
| Metribuzin <sup>14</sup>                    | 3    | 1    | 1    | 2    | 1    | 3    | 4    | 16   | 4    | 16   | 51 | Moderado    |
| Monocrotofos <sup>11,15,16,17</sup>         | 3    | 1    | 1    | 4    | 3    | 3    | N.E. | N.E. | 8    | 16   | 39 | Baixo       |
| Naled <sup>14,17</sup>                      | 3    | 1    | 3    | N.E. | 2    | 1    | N.E. | N.E. | 4    | 4    | 18 | Muito baixo |
| Ometoato <sup>16,17</sup>                   | 3    | 1    | 3    | 2    | 4    | 1    | 2    | N.E. | 8    | 8    | 32 | Baixo       |
| Oxitertraciclina <sup>17</sup>              | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 1    | N.E. | 1  | Muito baixo |
| Paraquat <sup>14,16,17</sup>                | 3    | 1    | 1    | 16   | 4    | 3    | 16   | 4    | N.E. | 4    | 52 | Moderado    |
| Permetrina <sup>15,17</sup>                 | 1    | 3    | 1    | 4    | 1    | 2    | 4    | 8    | 1    | 4    | 29 | Baixo       |
| Picloram <sup>13</sup>                      | 3    | 1    | 1    | 4    | 2    | 3    | 8    | 16   | N.E. | 16   | 54 | Moderado    |
| Profenofos <sup>14,17</sup>                 | 1    | 1    | 1    | 2    | N.E. | 3    | N.E. | N.E. | 2    | 4    | 14 | Muito baixo |
| Propamocarb                                 | 3    | 1    | 3    | 2    | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 9  | Muito baixo |
| Propineb <sup>17</sup>                      | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 4    | 4    | N.E. | N.E. | 15 | Muito baixo |
| Piraclostrobin <sup>14</sup>                | 1    | 3    | 1    | 4    | 1    | 3    | 2    | 4    | 1    | 4    | 24 | Baixo       |
| Espirotramatato                             | 1    | 1    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 2    | 4    | 4    | 21 | Baixo       |
| Sulfato de estreptomicina <sup>17</sup>     | 3    | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 1    | N.E. | 4  | Muito baixo |
| Sulfoxaflor                                 | 3    | 1    | 1    | 2    | N.E. | N.E. | N.E. | N.E. | 1    | 4    | 12 | Muito baixo |
| Enxofre                                     | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    | 3    | 16   | 16   | 2    | 4    | 47 | Moderado    |
| Terbufos <sup>16,17</sup>                   | 1    | 3    | 3    | 2    | 2    | 1    | N.E. | N.E. | 2    | 4    | 18 | Muito baixo |
| Tiabendazol                                 | 1    | 1    | 1    | 16   | 2    | 3    | 2    | 4    | 2    | 8    | 40 | Baixo       |
| Tiametoxame <sup>14,17</sup>                | 3    | 1    | 1    | 4    | 2    | 3    | 4    | 16   | 8    | 16   | 58 | Moderado    |
| Tifensulfuron-metil <sup>14</sup>           | 2    | 1    | 1    | 2    | 4    | 3    | 2    | 8    | 8    | 16   | 47 | Moderado    |
| Tifluzamida                                 | 1    | 3    | 1    | 16   | 2    | 3    | N.E. | N.E. | 2    | 16   | 44 | Moderado    |
| Tiofanato-metil <sup>14</sup>               | 1    | 1    | 1    | 2    | 2    | 2    | 2    | 4    | 4    | 4    | 23 | Baixo       |
| Zinebe <sup>16,17</sup>                     | 1    | 1    | 1    | 2    | 4    | 1    | 4    | N.E. | 2    | 4    | 20 | Muito baixo |
| Ziram                                       | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    | 2    | 4    | 4    | 19 | Muito baixo |

Média ± Desvio Padrão 29 +14 Baixo

<sup>1</sup> Solubilidade da SAP em água a 20 °C (mg/L). <sup>2</sup> Coeficiente de partição octanol-água a pH 7, 20 °C. <sup>3</sup> Pressão de vapor a 20 °C (mPa). <sup>4</sup> Degradação no solo (aeróbia) - estudos de campo com DT<sub>50</sub>. <sup>5</sup> Fotólise aquosa, DT<sub>50</sub> em pH 7. <sup>6</sup> Hidrólise aquosa, DT<sub>50</sub> a 20 °C e pH 7. <sup>7</sup> Degradação em água-sedimento, DT<sub>50</sub>. <sup>8</sup> Degradação em fase aquosa única, DT<sub>50</sub>. <sup>9</sup> Coeficiente de adsorção normalizado em relação ao teor de carbono orgânico do solo. <sup>10</sup> Índice de potencial de lixiviação GUS (GUSTAFSON, 1989). N.E. = dado não encontrado. De acordo com Rede de Ação de Pesticidas (PAN, 2019) e PubChem (PUBCHEM, 2020): <sup>11</sup> Químico de consentimento prévio informado do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP), <sup>12</sup> Poluente atmosférico perigoso de acordo com Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. EPA), <sup>13</sup> Contaminante da água subterrânea, <sup>14</sup> Potencial contaminante da água subterrânea, <sup>15</sup> Pesticidas altamente perigosos com o maior número de registros em todos os usos no México (BEJARANO GONZÁLEZ, 2017): <sup>16</sup> Principais pesticidas autorizados no México que são proibidos em outros países (BEJARANO GONZÁLEZ, 2017). <sup>17</sup> Substâncias pesticidas ativas não aprovadas pelo Regulamento (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

**Tabela 5.** Índice de Risco de Contaminação do Solo e da Água por substâncias ativas de pesticidas (IRCSASAP) para os cultivos recomendados pelas fichas técnicas de pesticidas encontrados na zona agrícola de Calimaya, Estado de México (2019)

| Tipo de pesticida                     | Marca registrada de pesticida (MRP)  | MRP (n) | SAP <sup>1</sup> (n) | IRCSASAP |
|---------------------------------------|--|---------|----------------------|----------|
| Alface<br>( <i>Lactuca sativa</i> L.) | AFIDOX 40 C.E., ANTORCHA®, Consento®, DERFOS® 600, DERRIBE 40, DRAGOCSON®, Equation® Pro, GRAMOXONE®, IXI, Kaizen® 600, LAFAM®, MATACU® 600 LM, METEORO 35 CE, MONITOR® 600, Muralla Max® 300 OD, NALED 90, OJIVA® 200 SL, Previcur® Energy, QUEMOXONE®, Rayoquat, Revus® 250 SC, RIVAL® 68 SG, Secaquat® 200, Warrior 600 | 24      | 14                   | 30       |
| Aveia<br>( <i>Avena sativa</i> L.)    | FOCUS®, Harmony® 50SX®, LAFAM®, Manzate <sup>MR</sup> 200, Muralla Max® 300 OD, RIVAL® 68 SG, Secaquat® 200, VELOZ® 2 CE.  | 8       | 7                    | 39       |

CONTINUA...



| ...CONTINUAÇÃO  |   |    |                       |      |
|---|---|----|-----------------------|------|
| Batata<br>( <i>Solanum tuberosum</i> L.)                      | Abamex 1.8 CE, AFIDOX 40 C.E., Agry-gent® Plus 800, ANTORCHA®, ANTRACOL® WP 70, Arquía® 18 CE, AXIONE M 70 PH, BANK®, Blissful®, CELESTE® 720 FW, CERCOBIN®-M, CONAN <sup>MR</sup> 720, Curacron® 8E, Curzate® M-8, Cyrizate, DERFOS® 600, DERRIBE 40, DRAGOCSON®, DRAGONIL® 720 F, Equation® Pro, Final Bacter®, FLONEX® MZ 400, FOLIMAT®, Furadan® 350L, GATILLO®, Hit <sup>MR</sup> 70 EC, IMIDACRON® 70 WG, IXI, Kaizen® 600, KASUMIN®, Krity MZ, LAFAM®, Lannate®, LEAL® Gold Mz, Loxton®, LUCAFLOW <sup>MR</sup> , Manzate Max, Manzate <sup>MR</sup> 200, MARSHAL® 250 CE, MATACU® 600 LM, Matador 90 PS, MERTECT® 340 F, METEORO 35 CE, MONCUT® 50 WP, MONITOR® 600, MONOCROTOFOS® 600 LS, Mospilan® 20 PS / Rescate® 20 PS, Muralla Max® 300 OD, New Leverage®, NOSTER® MZ (PHILZOFF WP), OJIVA® 200 SL, Orkestra®, PIREOS® 70, PITSTOP®, Previcur® Energy, PRONTIUS 70% PH, PULSOR®, QUEMOXONE®, Rayoquat, Revus® 250 SC, RIDOMIL® GOLD 480 SL, RIVAL® 68 SG, SAATHI 480 SC, Secaquat® 200, SENCOR® 480 SC, SHOGUN® 500 FW, Strike® 800 pH, SULTRON® 725, Talonil 75, Tokat® 240 CE, VIGOLD®, Warrior 600, Zierra <sup>TM</sup> , Ziram® Granuflo | 74 | 47                    | 28   |
| Bulbos ornamentais  | BENOMYL® 50, MERTECT® 340 F.  | 2  | 2                     | 28   |
| Cebola<br>( <i>Allium cepa</i> L.)                            | AMISTAR®, ANTORCHA®, ANTRACOL® WP 70, AXIONE M 70 PH, BANK®, CERCOBIN®-M, DRAGOCSON®, DRAGONIL® 720 F, Final Bacter®, FLONEX® MZ 400, Gallo® 200 CE, GRAMOXONE®, Hit <sup>MR</sup> 70 EC, IXI, LAFAM®, Lannate®, Manzate Max, Manzate <sup>MR</sup> 200, Matador 90 PS, New Leverage®, NUGOR® 40 EC, OJIVA® 200 SL, PIREOS® 70, PRONTIUS 70% PH, QUEMOXONE®, Rayoquat, Revus® 250 SC, RIDOMIL® GOLD 480 SL, RIVAL® 68 SG, Secaquat® 200, Talonil 75.  | 30 | 17                    | 29   |
| Cedro-branco<br>( <i>Cupressus lusitanica</i> Mill.)          | Decis® Forte, Movento® 150 OD, Muralla Max® 300 OD, New Leverage®   | 4  | 4                     | 33   |
| Cenoura<br>( <i>Lactuca sativa</i> L.)                        | AMISTAR®, ANTORCHA®, Captan® Ultra 50 WP, DRAGOCSON®, GRAMOXONE®, IXI, LAFAM®, Manzate <sup>MR</sup> 200, OJIVA® 200 SL, QUEMOXONE®, Rayoquat, RIVAL® 68 SG, Secaquat® 200, Talonil 75  | 14 | 6                     | 31   |
| Cevada<br>( <i>Hordeum vulgare</i> L.)                        | ANTORCHA®, Decis® Forte, DRAGOCSON®, Esteron <sup>TM</sup> 47 M, FOCUS®, Harmony® 50SX®, HIERBAMINA®, IXI, LAFAM®, Loxton®, LUCAMINA 4, METEORO 35 CE, OJIVA® 200 SL, QUEMOXONE®, Rayoquat, RIVAL® 68 SG, Silvester, VELOZ® 2 CE.   | 18 | 9                     | 37   |
| Cravo-de-defunto<br>( <i>Tagetes erecta</i> L.)               | DRAGONIL® 720 F, LUCAFLOW <sup>MR</sup> , SULTRON® 725, Talonil 75.   | 4  | 2                     | 33   |
| Ervilha<br>( <i>Pisum sativum</i> L.)                         | AFIDOX 40 C.E., Allectus® 150 TS, AMISTAR®, ANTORCHA®, Basagram® 480, DERRIBE 40, DRAGOCSON®, GRAMOXONE®, IXI, LAFAM®, Lannate®, LUCAFLOW <sup>MR</sup> , METEORO 35 CE, Muralla Max® 300 OD, OJIVA® 200 SL, QUEMOXONE®, Rayoquat, RIVAL® 68 SG, Secaquat® 200, SULTRON® 725  | 20 | 11                    | 41   |
| Fava<br>( <i>Vicia faba</i> L.)                               | Allectus® 150 TS  | 1  | 3                     | 43   |
| Feijão<br>( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)                     | AFIDOX 40 C.E., Allectus® 150 TS, AMISTAR®, ANTORCHA®, ANTRACOL® WP 70, AXIONE M 70 PH, BANK®, Basagram® 480, BENOMYL® 50, CERCOBIN®-M, Cipertoato 300® CE, DERRIBE 40, DRAGOCSON®, DRAGONIL® 720 F, FOLIMAT®, Gallo® 200 CE, GRAMOXONE®, IXI, LAFAM®, Lannate®, LUCAFLOW <sup>MR</sup> , Matador 90 PS, METEORO 35 CE, Methomex® 90 PS, Muralla Max® 300 OD, NALED 90, NUGOR® 40 EC, OJIVA® 200 SL, PIREOS® 70, PROMYL 50 PH, PRONTIUS 70% PH, PROZYCAR 50 PH, QUEMOXONE®, Rayoquat, RIVAL® 68 SG, ROGOR DRAGÓN®, Secaquat® 200, SHOGUN® 500 FW, SULTRON® 725, Talonil 75, Zierra <sup>TM</sup> , Zineb Micro 80   | 41 | 22                    | 30   |
| Feijão verde<br>( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)               | DERRIBE 40, DRAGONIL® 720 F   | 2  | 2                     | 31   |
| Hortalças folhosas  | Decis® Forte  | 1  | 1                     | 27   |
| Milho<br>( <i>Zea mays</i> L.)                                | AFIDOX 40 C.E., Allectus® 150 TS, AMISTAR®, ANTORCHA®, ATRAPLEX 90, Banzai®, Basagram® 480, CERILLO®, Cipertoato 300® CE, Counter FC-15%G, Cytrin® 200, DERRIBE 40, DRAGOCSON®, Esteron <sup>TM</sup> 47 M, FLONEX® MZ 400, FOCUS®, Foley Rey®, FOLIMAT®, Furadan® 350L, Gallo® 200 CE, Gesaprim® Calibre 90 G.D.A, Gramocil®, GRAMOXONE®, HIERBAMINA®, IXI, LAFAM®, Lorsban <sup>TM</sup> Advanced, Loxton®, LUCAMINA 4, Manzate <sup>MR</sup> 200, MARSHAL® 250 CE, Matador 90 PS, METEORO 35 CE, Methomex® 90 PS, Muralla Max® 300 OD, NUGOR® 40 EC, OJIVA® 200 SL, Polar 50, QUEMOXONE®, Rayoquat, RIVAL® 68 SG, ROGOR DRAGÓN®, SANAZINA CAL 90 WG, Secaquat® 200, SENCOR® 480 SC, Silvester, VELOZ® 2 CE   | 47 | 25                    | 34   |
| Palma-de-Santa-Rita<br>( <i>Gladiolus grandiflorus</i> Hort.) | RIDOMIL® GOLD 480 SL  | 1  | 1                     | 38   |
| Outros cultivos   | ABACITRIC, Cazador Agro 500, Faena Fuerte®, 360 con Transorb®, Karmex® XP, LUCAPHOS 50 CE, MACROTOPHOS 600 LM, MITAC 20 EC, MONOPELMR 60% SL, PLATINO® 375 CE, RUDO® 43% LS, Sagaquat, SOLVIGO®, TAKLE® 360, Terra CU 5%, TERRAMICINA® AGRÍCOLA 5%, Tordon® 101   | 16 | 12                    | 33   |
|   |   |    | Média ± Desvio Padrão | 33+5 |

Os indicadores físicos e químicos do IRCSA<sub>SAP</sub> (Tabelas 1 e 4) foram obtidos pela revisão das bases de dados nacionais e internacionais (COFEPRIS, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2020; PAN, 2019; PUBCHEM, 2020; UH, 2020d, 2020b, 2020e). Estas bases de dados são importantes para os estudos de riscos ambientais associados às SAPs (KIMBROUGH et al., 2020; LEWIS et al., 2016). Os valores de IRCSA<sub>SAP</sub> refletem apenas as características físicas e químicas das SAPs e o risco potencial de contaminação dos destinos ambientais solo e água. Por isso, é importante ressaltar a discussão dos valores do IRCSA<sub>SAP</sub> nos contextos técnicos e socioambiental nos quais este índice pode ser utilizado. Em Calimaya, o uso excessivo de pesticidas foi observado no cultivo da batata (DELGADO MENDOZA, 2016), que é o cultivo com mais marcas registradas de pesticidas, como mostram os resultados da Tabela 5.

Grande parte dos agricultores de Calimaya não possuem um registro completo do uso e manejo de agroquímicos e a informação que pode ser obtida através de questionários não é satisfatória, por isso, fez-se

necessário buscar alternativas para conhecer a diversidade de SAPs utilizadas nos cultivos. Assim sendo, a etapa prévia à obtenção do IRCSA<sub>SAP</sub> foi o trabalho de campo realizado neste estudo, no qual se obteve de forma indireta a quantidade de marcas registradas de pesticidas por meio da coleta de embalagens vazias no campo (Tabela 5). O contexto socioambiental do manejo de pesticidas é sem dúvidas o ponto de partida para conhecer, evitar ou mitigar os efeitos negativos do uso das SAPs nos cultivos (GÓMEZ GONZÁLEZ, 2017; MAGAUZI et al., 2011; ZAPATA DIOMEDI & NAUGES, 2016). Além do abandono de embalagens vazias de pesticidas dentro e fora das áreas de cultivo caracterizadas neste estudo (Figura 1; Tabela 5), outras práticas incorretas de manejo de agroquímicos foram observadas no trabalho de campo, como a aplicação de produtos sem equipamentos de proteção individual, o abandono de embalagens dentro dos corpos de água e a queima de embalagens. O diagnóstico técnico realizado em campo indica que existe um risco de contaminação ambiental maior do que o obtido pelo IRCSA<sub>SAP</sub> (baixo) (Tabelas 4 e 5) devido a existência de práticas incorretas de manejo destas substâncias perigosas.

A disposição final dos agroquímicos é uma questão de gestão e saúde pública (VAN DEN BERG et al., 2020). Uma estratégia para direcionar as práticas de manejo fitotécnico e evitar que os recursos naturais e a sociedade sejam afetadas pelo impacto negativo de SAPs é a educação ambiental (PHILP, 2013; SINGH et al., 2018; TOUMI et al., 2019). Em cultivos de ciclo curto como os predominantes em Calimaya, principalmente milho (GONZÁLEZ HUERTA et al., 2008) e batata (PÉREZ LÓPEZ et al., 2010), a atenção sobre o manejo fitotécnico deve ser redobrada, porque são lavouras reconhecidas por sua alta demanda de insumos químicos, como evidenciado pela diversidade de pesticidas encontrados na zona agrícola (Tabela 5). A extensão da agricultura semi-intensiva e intensiva no território de Calimaya tem o potencial de causar impactos negativos, principalmente nos sistemas edáfico e hidrográfico (Figura 1). Além disso, Calimaya é um dos municípios do Estado do México que mais sofre com os impactos ambientais negativos causados por outras atividades antrópicas como a mineração e empreendimentos imobiliários (GARCÍA GONZÁLEZ & CARREÑO MELÉNDEZ, 2018; JUAN PÉREZ et al., 2015; VALENCIA GARCÍA et al., 2016). Deste modo, um constante monitoramento ambiental do território de Calimaya se faz necessário. As etapas do diagnóstico ambiental realizado no presente trabalho, que culminam na interpretação do IRCSA<sub>SAP</sub>, são fundamentos que integrarão uma avaliação de impactos ambientais causados pelo manejo de pesticidas na zona agrícola de Calimaya.

#### 4. CONCLUSÕES

Por seus atributos físicos e químicos, o risco de contaminação dos destinos ambientais solo e água por substâncias ativas de pesticidas utilizadas nos cultivos de Calimaya é baixo. Entretanto, a presença de pesticidas altamente perigosos restritos ou proibidos em outros países, o uso excessivo e o manejo incorreto destas substâncias na zona agrícola do município, são fatores que aumentam o risco de contaminação do solo e da água, porque podem ultrapassar os limites de segurança previstos pela química ambiental.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao governo do Município de Calimaya (Administração 2019-2021) por fornecer suporte de transporte e acesso às áreas de estudo. O primeiro autor agradece ao CONACYT (México) pela concessão da bolsa do programa de Doutorado e pelo apoio nesta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- BEJARANO GONZÁLEZ, F. Los plaguicidas altamente peligrosos: nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. In: BEJARANO GONZÁLEZ, F. (org.). **Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México. Texcoco, Estado de México**: Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM), 2017. p. 13–137.
- COFEPRIS. Consulta de Registros Sanitarios de Plaguicidas, Nutrientes Vegetales y LMR. COFEPRIS, 2020. Disponível em: <http://siipris03.cofepris.gob.mx/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. Acesso em: 2 maio 2020.
- CONAGUA. **Acuíferos (nacional). Detalle de los acuíferos en México. Clave 1501. Valle de Toluca**. CONAGUA, 2018a. Disponível em: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos&ver=reporte&o>. Acesso em: 14 ago. 2020.
- CONAGUA. **Cuencas (nacional). Detalle de las cuencas hidrológicas en México. Clave 1201. Río Lerma 1**. CONAGUA, 2018b. Disponível em: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=reporte&o>. Acesso em: 14 ago. 2020.
- CONANP. **Estudio Previo Justificativo para la Modificación de la Declaratoria del Parque Nacional Nevado de Toluca, ubicada en el Estado de México, México**. México: CONANP, 2013. 123p.

- DELGADO MENDOZA, M.C. **Modelaje del transporte y destino de los plaguicidas orgánicos persistentes identificados en el cultivo de la papa en Calimaya Estado de México**. 2016. 152p. Master's Thesis (Environmental Science), Faculty of Chemistry at the Autonomous University of the State of Mexico.
- EUROPEAN COMMISSION. **EU Pesticides database**. EC, 2020. Disponible em: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.selection&language=EN>. Acceso em: 8 jun. 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. **REGULATION (EC) No 1107/2009 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC**. Official Journal of the European Union, L 309, 50p, 2009. Disponible em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1107&from=EN>
- FAO. **FAOSTAT Pesticide Use**. FAO, 2016. Disponible em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. Acceso em: 2 jul. 2020.
- GACETA MUNICIPAL DE CALIMAYA. **Plan de Desarrollo Municipal. Calimaya. 2019-2021**. Calimaya, Estado de México: Gaceta Municipal de Calimaya. 305p.
- GARCÍA GONZÁLEZ, M.deL.; CARREÑO MELÉNDEZ, F. La urbanización de suelos productivos y la desruralización de las comunidades de Calimaya de Díaz Gómez y la Concepción Coatipác, Municipio de Calimaya, México de 1990-2013. In: HOYOS. CASTILLO, G.del C. et al. (org.). **Dinámicas urbanas y perspectivas regionales de los estudios culturales y de género**. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, 2018. p. 167–177.
- GÓMEZ GONZÁLEZ, I. El uso de plaguicidas altamente peligrosos en la Península de Yucatán. In: BEJARANO GONZÁLEZ, F. (org.). **Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México**. Texcoco, Estado de México: RAPAM, 2017. p. 279–308.
- GONZÁLEZ, R.H. **Plant Protection in Latin America**. PANS, v.22, n.1, p.26–34, 1976. <https://doi.org/10.1080/09670877609411452>
- GONZÁLEZ HUERTA, A.; PÉREZ LÓPEZ, D.deJ.; DOMÍNGUEZ LÓPEZ, A.; FRANCO MORA, O.; BALBUENA MELGAREJO, A.; RAMOS MALVÁEZ, A.; SAHAGÚN CASTELLANOS, J. Genetic variability, phenotypic diversity and identification of outstanding populations of Cacahuacintle maize. **CIENCIA Ergo Sum**, v.15, n.3, p.297–305, 2008.
- GUSTAFSON, D. I. Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, n.4, p.339–357, 1989. <https://doi.org/10.1002/etc.5620080411>
- IGECEM. **Estadística básica municipal. Calimaya**. México: Gobierno del Estado de México, 2013. Disponible em: <http://iiigecem.edomex.gob.mx/recursos/Estadistica/PRODUCTOS/AGENDAESTADISTICABASICA MUNICIPAL/ARCHIVOS/Calimaya.pdf>. Acceso em: 2 jul. 2020.
- INEGI. **Carta edafológica. Clave E14A37. San Miguel Zinacantepec. Escala 1:50 000**. INEGI, 1976a. Disponible em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658182>. Acceso em: 2 fev. 2020.
- INEGI. **Carta edafológica. Clave E14A38. Toluca. Escala 1:50 000**. INEGI, 1976b. Disponible em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658199>. Acceso em: 2 fev. 2020.
- INEGI. **Carta edafológica. Clave E14A47. Volcán Nevado de Toluca. Escala 1:50 000**. INEGI, 1976c. Disponible em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658274>. Acceso:2fev.2020.
- INEGI. **Carta edafológica. Clave E14A48. Tenango de Arista. Escala 1:50 000**. INEGI, 1976d. Disponible em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825658281>. Acceso em: 2 fev. 2020.
- INEGI. **Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000**. Unidades climáticas. INEGI, 2008. Disponible em: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>. Acceso em: 3 fev. 2020.
- JUAN PÉREZ, J.I.; MAGALLANES MÉNDEZ, M.delC.; JUÁREZ TOLEDO, R.; RAMÍREZ CARBAJAL, A.Á.; GUTIÉRREZ CEDILLO, J.G.; POZAS CÁRDENAS, J.G.; GARCÍA LÓPEZ, I.E.; BARÓ SUÁREZ, J.E.; LÓPEZ SUÁREZ, A.L.; VILCHIS ONOFRE, A.; OLVERA GARCÍA, J.L. **Responsabilidad e impacto ambiental en un territorio del Altiplano Mexicano. Análisis ambiental, sociodemográfico y económico**. España: Servicios Académicos Internacionales para eumed.net, 2015.
- KIMBROUGH, L.J.; OESTENSTAD, R.K.; BEASLEY, T.M. Evaluation of the exposure prediction component of Control of Substances Hazardous to Health Essentials. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v.17, n.2–3, p. 97–108, 2020. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1717501>
- KOVARICH, S.; CERIANI, L.; CIACCI, A.; BALDIN, R.; PEREZ MIGUEL, M.; GIBIN, D.; CARNESECCHI, E.; RONCAGLIONI, A.; MOSTRAG, A.; TARKHOV, A.; DI PIAZZA, G.; PASINATO, L.; SARTORI, L.; BENFENATI, E.; YANG, C.; LIVANIOU, A.; DORNE, J.L. **OpenFoodTox: EFSA's chemical hazards database**. In: KOVARICH, Simona et al. (org.). Zenodo, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3693783>.

- LEWIS, K.A.; TZILIVAKIS, J.; WARNER, D. J.; GREEN, A. An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v.22, n.4, p.1050–1064, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>.
- LEYVA MORALES, J.B.; GARCÍA DE LA PARRA, L.M.; BASTIDAS BASTIDAS, P.deJ.; ASTORGA RODRÍGUEZ, J.E.; BEJARANO TRUJILLO, J.; CRUZ HERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, I.E.; BETANCOURT LOZANO, M. Pesticide use in a technified agricultural valley in Northwest Mexico. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v.30, n.3, p.247–261, 2014.
- MAGAUZI, R.; MABAERA, B.; RUSAKANIKO, S.; CHIMUSORO, A.; NDLOVU, N.; TSHIMANGA, M.; SHAMBIRA, G.; CHADAMBUKA, A.; GOMBE, N. Health effects of agrochemicals among farm workers in commercial farms of Kwekwe district, Zimbabwe. **Pan African Medical Journal**, v.9, n.1, p.1–8, 2011. <https://doi.org/10.4314/pamj.v9i1.71201>.
- PAN. **PAN Pesticides Database - Chemicals (2000-2019)**. PAN, 2019. Disponível em: [http://www.pesticideinfo.org/Search\\_Chemicals.jsp](http://www.pesticideinfo.org/Search_Chemicals.jsp). Acesso em: 20 ago. 2020.
- PÉREZ LÓPEZ, D.deJ.; GONZÁLEZ HUERTA, A.; FRANCO MORA, O.; RIVERA PEÑA, A.; SAHAGÚN CASTELLANOS, J.; BALBUENA MELGAREJO, A.; RUBÍ ARRIAGA, M.; GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, F.. Genetic variability, phenotypic diversity and identification of outstanding potato genotypes. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v.1, n.4, p.579–592, 2010.
- PHILP, R. B. Pesticides. In: PHILP, R. B. (org.). **Ecosystems and Human Health. Toxicology and Environmental Hazards**. 3. ed. Boca Raton, L: CRC Press Inc., 2013. p.263–282.
- PUBCHEM. **Explore Chemistry. Quickly find chemical information from authoritative sources**. PubChem, 2020. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- REGIL-GARCÍA, H.H.; FRANCO-MAASS, S. Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies forestales y agrícolas en el Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT). **Economía, Sociedad y Territorio**, v.9, n.31, p.803–830, 2009.
- RIDGWAY, R.L.; TINNEY, J.C.; MACGREGOR, J.T.; STARLER, N.J. Pesticide use in agriculture. **Environmental Health Perspectives**, v.27, p.103–112, 1978. <https://doi.org/10.1289/ehp.7827103>.
- SCIGA-INEGI. **Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria. Censo agropecuario 2007**. INEGI, 2018. Disponível em: <http://gaia.inegi.org.mx/sciga/viewer.html>. Acesso em: 19 out. 2018.
- SEMARNAT. **Programa de Manejo. Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca**. Ciudad de México, México: SEMARNAT, CONANP, 2016. 311p.
- SIAP. **Anuario Estadístico de la Producción Agrícola**. SIAP, 2019. Disponível em: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Acesso em: 12 maio 2020.
- SINGH, M.; VASILEIADIS, V.P.; JUNGER, A. Practical implementation of the principles of the sustainable use of pesticides. In: CAPRI, E.; ALIX, A. (org.). **Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection**. Cambridge, MA: Academic Press, 2018. v.2, p.133–164.
- TOUMI, K.; JOLY, L.; VLEMINCKX, C.; SCHIFFERS, B. Exposure of workers to pesticide residues during re-entry activities: A review. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v.25, n.8, p.2193–2215, 2019. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1485092>.
- UH. 5.0. **Data Interpretation/5.1. Environmental fate**. UH, 2020a. Disponível em: [http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/5\\_1.pdf](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/5_1.pdf). Acesso em: 8 jun. 2020.
- UH. **BPDB: Bio-Pesticides Database**. UH, 2020b. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/bpdb/index.htm>. Acesso em: 8 jun. 2020.
- UH. **General chemical properties related to environmental fate**. UH, 2020c. Disponível em: [http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/2\\_3.pdf](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/2_3.pdf). Acesso em: 12 ago. 2020.
- UH. **PPDB: Pesticide Properties Database**. UH, 2020d. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. Acesso em: 8 jun. 2020.
- UH. **VSDb: Veterinary Substances Database**. UH, 2020e. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/vsdb/index.htm>. Acesso em: 8 jun. 2020.
- VALENCIA GARCÍA, E.A.; JUAN PÉREZ, J.I.; ESTRADA OLIVELLA, R. Recuperación ambiental y bienestar social en México: el caso de Calimaya, Estado de México. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, v.9, n.25, p.1:21, 2016. Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/delos/25/calimaya.zip>
- VAN DEN BERG, H.; GU, B.; GRENIER, B.; KOHLSCHMID, E.; AL-ERYANI, S.; BEZERRA, H.S. DA S.; NAGPAL, B.N.; CHANDA, E.; GASIMOV, E.; VELAYUDHAN, R.; YADAV, R. S. Pesticide lifecycle management in agriculture and public health: Where are the gaps? **Science of The Total Environment**, v.742, p.140598, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140598>.
- ZAPATA DIOMEDI, B.; NAUGES, C. Pesticide-handling practices: the case of coffee growers in Papua New Guinea. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.60, n.1, p.112–129, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12106>.