

USO DE PLAGUICIDAS EN UN VALLE AGRÍCOLA TECNIFICADO EN EL NOROESTE DE MÉXICO

José Belisario LEYVA MORALES¹, Luz María GARCÍA DE LA PARRA¹,
Pedro de Jesús BASTIDAS BASTIDAS¹, Jesús Efrén ASTORGA RODRÍGUEZ¹,
Jorge BEJARANO TRUJILLO², Alejandro CRUZ HERNÁNDEZ²,
Irma Eugenia MARTÍNEZ RODRÍGUEZ¹ y Miguel BETANCOURT LOZANO^{1*}

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Unidad Mazatlán, Av. Sábalo-Cerritos S/N, Mazatlán, Sinaloa, México, C.P. 82100

² Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agronomía Culiacán, Carretera Culiacán-Eldorado Km. 17.5, Apdo. Postal 25, Culiacán, Sinaloa, México

*Autor de correspondencia; mbl@ciad.mx

(Recibido marzo 2014; aceptado junio 2014)

Palabras clave: agroquímicos, ciclo agrícola, Culiacán

RESUMEN

En el presente estudio se comparan dos procedimientos para conocer el uso de plaguicidas durante los ciclos otoño-invierno (O-I) 2011-2012 y primavera-verano (P-V) 2012 en el Valle de Culiacán, Sinaloa. A nivel nacional, este valle es una importante región agrícola tecnificada, productora de hortalizas y granos. Se analizaron las diferencias existentes en cuanto a cantidad total de ingrediente activo, según los registros del programa “Campo Limpio” y bitácoras de aplicación de varias empresas agrícolas. Los resultados mostraron que existe una correspondencia entre el número de envases registrados en el inventario con la cantidad total de ingrediente activo (t), estimada por ambos procedimientos. En general, los plaguicidas empleados con más frecuencia fueron los fungicidas, seguidos de herbicidas e insecticidas, aunque la proporción de uso varía dependiendo del ciclo agrícola. Las clases químicas dominantes fueron ditiocarbamatos, bipiridilos, organofosforados, organoclorados, compuestos inorgánicos, carbamatos y piretroides. Los plaguicidas más usados están clasificados dentro de las categorías de menor peligro según el criterio de clasificación de la Organización Mundial de la Salud. El ciclo O-I presentó una mayor extensión agrícola, mayor diversidad de cultivos y un mayor uso y diversidad de plaguicidas respecto al ciclo P-V. El presente trabajo muestra el uso actual de plaguicidas en la región, lo que puede ayudar a predecir su destino ambiental considerando algunas de sus características fisicoquímicas. Adicionalmente, permitiría diseñar esquemas de monitoreo ambiental dirigidos a compartimentos ambientales específicos, medir el impacto de programas de reducción de uso de plaguicidas y realizar evaluaciones de riesgo tanto al ambiente como a la salud humana.

Key words: agrochemicals, agricultural cycle, Culiacán

ABSTRACT

The present study compares two procedures for assessing pesticide use during the fall/winter (O-I) 2011-2012 and spring/summer (P-V) 2012 cycles in the Culiacán Valley, Sinaloa. This region has national importance due to its agricultural production of vegetables and grain crops. Differences between the two procedures were analyzed in terms of the total amount of active ingredient as recorded in an inventory of pesticide containers from the “Campo Limpio” program and application logbooks of several agricultural companies. There was a correspondence between the number of pesticide containers from the inventory and the total amount of active ingredient (*t*) estimated by the two procedures. In general, fungicides were the most frequently used pesticides, followed by herbicides and insecticides, although the proportion of their use varies according to the agricultural cycle. The dominant chemical classes were dithiocarbamates, bipyridyls, organophosphates, organochlorines, inorganic compounds, carbamates and pyrethroids. The most used pesticides are classified as low hazard threats according to the World Health Organization criteria. The O-I cycle had greater cultivated area, crop diversity and use, as well as, wider variety of pesticides than the P-V cycle. The record of the current use of pesticides in the region can help us predict their fate in the environment, once we know their physicochemical characteristics. This would allow the design of environmental monitoring schemes targeted at specific environmental compartments, the measurement of the impact of programs to reduce pesticide use, and the assessment of risk to the environment and human health.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades económicas más relevantes en el estado de Sinaloa, México. Una de las regiones agrícolas más importantes en cuanto a superficie y producción es el Valle de Culiacán, ubicado en la parte central del estado ($20^{\circ}40'$ latitud norte y $107^{\circ}30'$ longitud oeste) (Karam Quiñones 2002). Cuenta con aproximadamente 333 000 ha de tierra agrícola, de las cuales, 217 000 están altamente mecanizadas (INEGI 2010a). En este valle se cultivan dos ciclos agrícolas: otoño-invierno (O-I), donde predomina el cultivo de hortalizas de exportación y primavera-verano (P-V), dedicado al cultivo de algunos granos como maíz y sorgo (INIFAP 2010, SIAP 2010).

En el Valle de Culiacán se practica principalmente una agricultura tecnificada y que una de sus características es la dependencia del uso de agroquímicos para evitar pérdidas por el ataque de plagas (Richardson 1998, Abhilash y Nandita 2009). El volumen de producción de plaguicidas en México para 2009 fue de 50 964 t (INEGI 2010b) y se estima que en Sinaloa se aplica cerca del 30 % del total de plaguicidas utilizados en la zona noroeste de México (Albert 2005). Lo anterior indica la necesidad de cuantificar su uso (no existen registros ni tampoco un sistema regulador en este aspecto) y evaluar los posibles impactos tanto ecológicos como a la salud humana, que sirva como base para desarrollar prácticas agrícolas sostenibles.

Los objetivos del presente trabajo fueron estimar la cantidad de plaguicidas utilizada en el Valle de Culiacán, por medio de la comparación de dos procedimientos de obtención de información (inventario de envases vacíos y bitácoras de aplicación) e identificar los plaguicidas más utilizados en la región.

MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS

Área de estudio

El área agrícola conocida como Valle de Culiacán comprende los municipios de Salvador Alvarado, Angostura, Mocorito, Badiraguato, Navolato, Culiacán, Elota y Cosalá, incluye superficies tanto de riego como de temporal (INIFAP 2010). De acuerdo con las delimitaciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2011), en este valle se encuentran los distritos de riego números 10, 74, 108 y 109 (**Fig. 1**). El presente trabajo se enfocó específicamente en el distrito de riego 10, por su importancia en volúmenes de producción y por la disponibilidad de información referente al uso de plaguicidas.

Estimación del uso de plaguicidas

Inventario de envases usados de plaguicidas

Se solicitó permiso al personal encargado del centro de acopio del programa “Campo Limpio” del Valle de Culiacán (AARC 2012), para realizar un

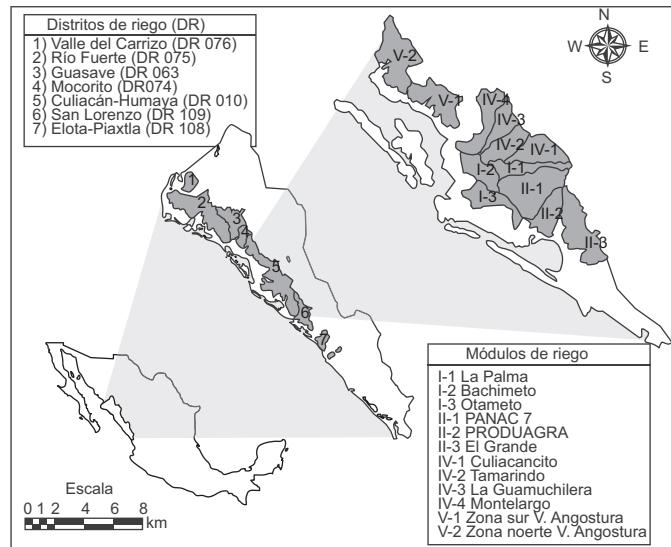


Fig. 1. Ubicación del área de estudio

registro semanal de la totalidad de los envases vacíos de plaguicidas que se recibieron durante los ciclos agrícolas O-I 2011-2012 y P-V 2012.

Para cada registro los envases fueron separados y contabilizados por fecha, tipo de producto y presentación. Los registros fueron incorporados en una base de datos que contenía el nombre comercial y el contenido del ingrediente activo. Con esta información fue posible determinar la cantidad total de plaguicidas (estandarizada con base en el ingrediente activo). Las concentraciones de ingredientes activos en los productos comerciales fueron obtenidas directamente de las etiquetas de los envases, del Diccionario de Especialidades Agroquímicas (DEAQ 2012) y de las fichas técnicas de los productos comerciales reportadas en Internet.

Registro de uso de plaguicidas en bitácoras de aplicación

Se obtuvieron bitácoras de aplicación de plaguicidas de varias empresas agrícolas del Valle de Culiacán (los nombres de las empresas no se mencionan, por razones de confidencialidad), con información correspondiente a los mismos ciclos agrícolas considerados en el inventario de envases.

La información contenida en las bitácoras incluía el tipo y cantidad de producto comercial aplicado, el cultivo, la superficie sembrada (ha) y la fecha de aplicación. Los registros fueron incluidos en la base de datos de manera similar a lo anteriormente descrito con la finalidad de estandarizar las dosis y calcular la cantidad total de plaguicida por ingrediente activo.

Información complementaria sobre ingredientes activos

Para estimar la cantidad total de ingrediente activo por clase química y tipo de uso, se consultaron bases de datos en Internet como: de las propiedades de plaguicidas (University of Hertfordshire 2007), de la Red de Acción de Plaguicidas (Kegley *et al.* 2011) y de la Red de Extensión Toxicológica (Oregon State University 1998). Para definir la categoría toxicológica de los ingredientes activos, se consideraron los criterios de clasificación de peligrosidad de la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad total de plaguicidas químicos usados en el Valle de Culiacán durante los ciclos agrícolas O-I 2011-2012 y P-V 2012

De acuerdo con el inventario de envases de plaguicidas del programa “Campo Limpio”, de noviembre 2011 a octubre 2012 se identificaron 263 productos comerciales, correspondientes al registro de 40 486 envases, que representan un total de 246 t de plaguicidas aplicados. De este total se estimó que 78.6 t (32 %) corresponden a 97 ingredientes activos (**Cuadro I**). En contraste, las bitácoras de aplicación indican que, en las empresas agrícolas analizadas de julio 2011 a junio 2012, se aplicaron 223.2 t de ingrediente activo, correspondientes a 204 productos comerciales y 94 ingredientes activos. Del total de ingredientes activos registrados en el

CUADRO I. INGREDIENTES ACTIVOS IDENTIFICADOS EN CADA CICLO AGRÍCOLA (O-I 2011-2012 Y P-V 2012)

ID Clase química	Ingrediente activo (i.a.)	Cantidad total de i.a. (kg)					
		Ciclo O-I *	Ciclo P-V *	Anual*	Ciclo O-I **	Ciclo P-V **	Anual**
1 Ác. benzoico, organoclorado	Dicamba	131.04	—	131.04	68.64	18	86.64
2 Ácido tetrámico	Espirotetramat	13.8	7.95	21.75	46.2	27.45	73.65
3 Ácido tetrónico	Espiromesifen	93.84	28.56	122.4	76.08	55.68	131.76
4 Alquil clorofenoxi	2,4-D	—	—	—	—	32.64	32.64
5 Anilida	Boscalid	591.79	96.07	687.86	331.84	227.18	559.02
6 Anilinopirimidina	Pirimetanil	258.12	1.2	259.32	345	—	345
7 Antibiótico	Kasugamicina	0.6	—	0.6	8.7	0.44	9.14
8	Oxitetraciclina	341.79	28.58	370.37	1.71	1.13	2.84
9	Sulfato de gentamicina	79.82	8.29	88.11	—	—	—
10	Sulfato de estreptomicina	891.43	4.95	896.38	17.1	11.25	28.35
11 Ariloxifenoxipropionato	Fluazifop-p-butil	37.25	—	37.25	30.12	—	30.12
12 Benceno-Dicarboxamida	Flubendiamida	—	—	—	3.6	—	3.6
13 Benzimidazol	Carbendazim	116.94	0.1	117.04	31.89	50.08	81.97
14	Tiofanato metílico	149.8	—	149.8	—	—	—
15 Benzonil-pirazol	Topramezona	1.01	—	1.01	—	—	—
16 Benzoilurea	Diflubenzurón	0.25	0.5	0.75	—	—	—
17 Benzotiadiazol	Acibenzolar-S-metil	7	—	7	0.21	—	0.21
18 Bipiridilo	Diquat	1053.30	119.3	1172.60	36.35	264.8	301.15
19	Paraquat	3 121.42	6 665.38	9 786.80	17 338.91	1 864.10	19 203.01
20 Carbamato	Aldicarb	—	—	—	75	—	75
21	Carbarilo	1 601.95	112.8	1 714.75	93.92	—	93.92
22	Carbofurán	294.42	198.75	493.17	122.07	6.3	128.37
23	Clorhidrato de formetanato	—	—	—	1.16	—	1.16
24	Metomilo	2 834.78	463.5	3 298.28	101.25	13.98	115.23
25	Oxamil	5 092.29	693.22	5 785.51	1358.26	423.84	1782.1
26	Propamocarb	376.88	—	376.88	634.65	20.14	654.79
27	Propoxur	—	—	—	—	1.05	1.05
28	Tiodicarb	—	—	—	0.7	—	0.7
29 Carboxamida	Carboxin	0.4	—	0.4	—	—	—
30	Hexitiazox	—	—	—	5.5	—	5.5
31 Cianoacetamida oxima	Cimoxanil	163.83	9.11	172.94	6.37	—	6.37
32 Cianoimidazol	Ciazofamida	265.6	8.08	273.68	4.4	37.2	41.6
33 Ciclohexadiona	Setoxidim	—	—	—	2.76	—	2.76
34 Ciclohexanediona	Cletodim	—	—	—	3.01	9.85	12.86
35 Cloronitrilo	Clorotalonil	13 821.01	2 600.14	16 421.15	4 049.60	2 623.59	6 673.19
36 Compuesto inorgánico	Azufre elemental	—	—	—	1 373.68	2 154.25	3 527.93
37	Hidróxido cúprico	10 889.99	1 940.05	12 830.04	937.82	301.8	1 239.62
38	Oxicloruro de cobre	—	—	—	121.15	186.71	307.86
39	Sulfato de cobre	—	—	—	2.78	21.6	24.38
40 Compuesto piridínico	Flonicamid	117.84	2.32	120.16	157.46	31.02	188.48
41	Picloram	—	—	—	—	2.08	2.08
42	Pimetrozina	76.5	—	76.5	329.5	153.5	483
43 Cumaria	Flocumafen	0.06	0.01	0.07	—	—	—
44 Derivado de ciclohexanocarboxilato	Trinexapac-etil	—	—	—	1.92	7.08	9
45 Diacilhidrazina	Metoxifenocida	73	11.62	84.62	45.84	19.44	65.28
46	Tebufenocida	5.91	0.48	6.39	—	—	—

* Bitácoras de aplicación; ** Inventario de envases

CUADRO I. CONTINUACIÓN

ID	Clase química	Ingrediente activo (i.a.)	Cantidad total de i.a. Ciclo O-I (kg)					
			Ciclo O-I *	Ciclo P-V *	Anual*	Ciclo O-I **	Ciclo P-V **	Anual**
47	Diamida antranílica	Clorantraniliprol	151.3	2.8	154.1	63.4	2.1	65.5
48	Difenil eter	Oxifluorfen	10.56	—	10.56	—	—	—
49	Dinitroanilina	Pendimetalin	115.29	—	115.29	—	—	—
50	Ditiocarbamato	Mancozeb	14 911.53	3 070.66	17 982.19	24 997.80	554.4	25 552.20
51		Metam-sodio	91 784.70	13 943.80	105 728.50	—	—	—
52		Tiram	560.4	768	1 328.40	—	—	—
53		Zineb	9.6	—	9.6	—	—	—
54		Ziram	—	—	—	3.8	—	3.8
55	Fenilamida	Metalaxil	712.76	12.96	725.72	337.6	19.68	357.28
56	Fenilpirazol	Fipronil	—	2.6	2.6	2.48	3.48	5.96
57	Fosfonoglicina	Glifosato	1 600.29	117.28	1 717.57	527.45	404.91	932.36
58	Ftalamida	Captan	3 121.42	78	3 199.42	—	28.8	28.8
59		Folpet	1 357.69	483	1 840.69	506.69	—	506.69
60	Hidroxianilida	Fenhexamid	53.7	—	53.7	—	—	—
61	Imidazol	Procloraz	21.33	—	21.33	21.15	18	39.15
62		Triflumizole	1.5	—	1.5	—	3.5	3.5
63	Isoxazolidinona	Clomazone	—	—	—	187.2	20.52	207.72
64	Lactona macrocíclica	Abamectina	53.29	8.58	61.87	84.41	4.62	89.03
65		Benzoato de emamectina	0.81	0.56	1.37	3.27	0.45	3.72
66		Espinosa	139.61	34.64	174.25	73.44	—	73.44
67	Mandelamida	Mandipropamida	—	—	—	12	4.5	16.5
68	Mercaptobenzotiazol	TCMTB	186.26	20.46	206.72	—	—	—
69	Morfolina	Dimetomorf	231.37	27.7	259.07	99	18.46	117.46
70	Neonicotinoide	Acetamiprid	398.67	77.09	475.76	1.8	—	1.8
71		Clotianidin	80.1	52.6	132.7	0.75	—	0.75
72		Dinotefurán	—	—	—	83.1	—	83.1
73		Imidacloprid	374.13	7.4	381.53	467.93	107.13	575.06
74		Tiametoxam	597.55	94.71	692.26	70.95	35.05	106
75	No clasificado	Buprofezín	435.42	131.1	566.52	6.69	10.26	16.95
76		Piriproxifen	36.05	6.16	42.21	4.72	1.99	6.71
77	Organoclorado	Dicofol	55.32	—	55.32	51.8	—	51.8
78		Endosulfán	1 891.74	63.86	1 955.60	887.09	648.01	1 535.10
79	Organofosforado	Acefate	270.62	171.43	442.05	—	—	—
80		Azinfos metílico	1.4	—	1.4	—	—	—
81		Cadusafos	156	—	156	—	2.16	2.16
82		Clorpirimfos etil	1 634.08	346.36	1 980.44	798.44	20.15	818.59
83		Diazinón	871.02	108.8	979.82	104.03	106.2	210.23
84		Diclorvos	718.83	104.86	823.69	915.3	360.47	1 275.77
85		Dimetoato	455.2	—	455.2	269.87	520.22	790.09
86		Fosetyl aluminio	150.4	—	150.4	348.75	59.78	408.53
87		Malatión	13 666.50	2 351.70	16 018.20	2 545.80	1 046	3 591.80
88		Metamidofos	1 640.10	81.9	1 722	131.04	75.01	206.05
89		Monocrotófatos	140.4	—	140.4	101.25	—	101.25
90		Naled	2 369.97	340.56	2 710.53	924	300	1 224
91		Oxidemetón metil	—	—	—	16.25	—	16.25
92		Paratón metílico	1 046.90	—	1 046.90	48.22	34.65	82.87
93	Organotin	Oxido de fenbutatin	—	—	—	0.55	—	0.55
94	Oxadiazina	Indoxacarb	32.91	0.9	33.81	—	—	—

* Bitácoras de aplicación; ** Inventario de envases

CUADRO I. CONTINUACIÓN

ID	Clase química	Ingrediente activo (i.a.)	Cantidad total de i.a. Ciclo O-I (kg)					
			Ciclo O-I *	Ciclo P-V *	Anual*	Ciclo O-I **	Ciclo P-V **	Anual**
95	Piretroide	Bifentrina	172.74	29.87	202.61	11.01	14.02	25.03
96		Cipermetrina	291.63	34.24	325.87	1170.52	938.72	2109.24
97		Deltametrina	17.15	8.8	25.95	18.82	8.77	27.59
98		Esbiotrina	—	—	—	—	0.022	0.022
99		Esfenvalerato	—	—	—	5.19	—	5.19
100		Fenpropatrin	14.63	—	14.63	13.1	—	13.1
101		Gamma cialotrina	7.96	0.18	8.14	1.85	—	1.85
102		Lambda cialotrina	27.58	2.41	29.99	28.7	12.84	41.54
103		Permetrina	1023.45	131.65	1155.10	175.3	131.88	307.18
104		Betaciflutrin	15.38	—	15.38	16.37	1.3	17.67
105	Pirazol	Halosulfurón metil	0.75	—	0.75	—	—	—
106	Pirrol	Clorfenapir	71.95	20.87	92.82	40.8	110.4	151.2
107	Quinolina	Quinoxifen	48.5	0.25	48.75	9.75	4	13.75
108	Spinosyn	Spinetoram	29.75	3.43	33.18	29.16	1.56	30.72
109	Estrobilurin	Azoxistrobin	169.82	47.4	217.22	47.18	1.5	48.68
110		Piraclostrobin	127.23	48.8	176.03	92.36	37.17	129.53
111		Trifloxiestrobin	47.27	21.29	68.56	43.75	64	107.75
112	Triaolinona	Carfentrazone etil	—	—	—	0.23	3.91	4.14
113	Triazina	Ciromazina	59.33	1.5	60.83	—	—	—
114		Prometrina	—	—	—	—	9.12	9.12
115	Triazinona	Metribuzin	35.52	—	35.52	51.44	—	51.44
116	Triazol	Difenoconazole	54.98	6.25	61.23	54.75	4	58.75
117		Miclobutanil	292.84	235.88	528.72	—	—	—
118		Propiconazol	14.13	—	14.13	—	—	—

* Bitácoras de aplicación; ** Inventario de envases

presente trabajo (118), 85 % se identificaron tanto en el inventario de envases como en las bitácoras de aplicación (**Cuadro I**).

Los cultivos agrícolas predominantes en el Valle de Culiacán durante el ciclo O-I (octubre a marzo) son tomate, chile, pepino y berenjena, mientras que en el ciclo P-V (abril a septiembre) son maíz y sorgo (Morales Zepeda 2007, SIAP 2010). Para el periodo 2009-2010, el ciclo O-I presentó una extensión de cultivo de 194 372 ha, mientras que en el ciclo P-V se tuvo una extensión aproximada de 137 ha (CONAGUA 2011).

El cultivo al cual se le aplicó la mayor cantidad de plaguicidas fue el de tomate, seguido de chile, pepino, berenjena y maíz. El número de aplicaciones presentó un comportamiento similar (tomate > chile > pepino > maíz > berenjena). En lo que respecta a la intensidad de aplicación, el cultivo de berenjena presentó la dosis promedio más elevada, seguido del de pepino, tomate, chile y maíz, aunque los ingredientes activos con dosis elevadas variaron de un cultivo a otro (**Cuadro II**). Algunas características

fisicoquímicas de los principales plaguicidas con base en las dosis de aplicación en los distintos cultivos y en la cantidad total aplicada se discuten más adelante (**Cuadro III**).

La dosis promedio de ingrediente activo (i.a.) aplicada por ha en el Valle de Culiacán, estimada mediante las bitácoras de aplicación, fue de 0.263 kg/ha al año, lo que indica una tendencia a la disminución en el uso de plaguicidas si comparamos con los 30 kg/ha, reportados como aplicados en el estado de Sinaloa (Hernández Moreno y Valenzuela Rivera 1995) y con los 3.3 y 54.5 kg/ha reportados en el Valle de Culiacán en 1995 y durante el ciclo 1997-1998, respectivamente (Carvalho *et al.* 1996, Karam Quiñones 2002).

En general, los datos obtenidos de las bitácoras indican que la frecuencia de aplicación de plaguicidas fue mayor en el ciclo O-I (1426 aplicaciones/mes) respecto a P-V (494 aplicaciones/mes), debido a que la superficie sembrada fue mayor en ese periodo (84 % de la superficie total). Sin embargo, es importante notar que las dosis de aplicación en el ciclo P-V fueron en promedio 2.7 veces mayores (0.27 kg/ha) respecto

CUADRO II. DOSIS PROMEDIO, FRECUENCIA DE APLICACIÓN, CANTIDAD TOTAL APLICADA POR CULTIVO E INGREDIENTES ACTIVOS RELEVANTES POR CULTIVO EN FUNCIÓN DE LA DOSIS PROMEDIO SEGÚN BITÁCORAS DE APLICACIÓN (JULIO 2011 A JUNIO 2012)

Cultivo	Dosis promedio aplicada (kg i.a./ha)	Ingredientes activos con dosis promedio elevadas (kg i.a./ha) ^a	Frecuencia de aplicación por cultivo	Cantidad total de plaguicidas aplicados (t i.a.)
Berenjena	0.36860	Clorotalonil (1.89) Hidróxido cúprico (1.54) Malatión (1.44) Captán (1.29) Oxamil (1.23) Naled (1.19) Carbarilo (0.90) Glifosato (0.72) Metomilo (0.60)	267	3.017
Chile	0.11123	Metam sodio (80.96) Carbarilo (0.78) Clorotalonil (0.68) Naled (0.59)	3622	87.417
Maíz	0.01392	Metamidofos (1.44) Metomilo (1.36) Paraquat (0.77)	352	2.384
Pepino	0.21340	Fosetyl aluminio (0.64) Clorotalonil (0.51)	600	8.622
Tomate	0.11544	Metam sodio (31.17) Cadusafos (0.81)	6676	121.737

^a = No se presentan los ingredientes activos con dosis promedio de aplicación menores a 0.5 kg i.a./ha

CUADRO III. FRECUENCIA DE APLICACIÓN POR CICLO AGRÍCOLA Y CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES INGREDIENTES ACTIVOS EN FUNCIÓN DE LA DOSIS Y CANTIDAD APLICADA

Ingrediente activo	Frecuencia de aplicación (O-I/P-V)	Solubilidad en agua a 20°C (mg/L) ^a	Constante de la Ley de Henry (Pa m ³ /mol) ^a	^c K _{OC} (mL/g) ^a	^f K _{ow} (Log P) ^a	Vida media suelo/agua ^a (días)	Categoría toxicológica ^a
Azufre ^d		0.063	0.05	1950	0.23	30/0.2	III
Cadusafos	3/0	245	0.132	ND	3.85	38/174	Ib
Captán	246/14	5.2	3.00 × 10 ⁻⁰⁴	200	2.5	0.8/0.6	IV
Carbarilo	39/4	9.1	9.20 × 10 ⁻⁰⁵	300	2.36	16/12	II
Clorotalonil	477/108	0.81	2.50 × 10 ⁻⁰²	850	2.94	35/49 ^b	IV
Fosetyl aluminio	10/0	110 000	3.20 × 10 ⁻¹⁰	325 ^b	-2.1	1/30 ^b	IV
Glifosato	147/20	10 500	2.10 × 10 ⁻⁰⁷	1435	-3.2	96/35 ^b	III
Hidróxido cúprico	819/116	0.506	ND	12 000	0.44	10 000/ND	II
Malatión	359/62	148	1.00 × 10 ⁻⁰³	1 800	2.75	3/6 ^b	III
Mancozeb	618/106	6.2	5.90 × 10 ⁻⁰⁴	998	1.33	2/166 ^b	IV
Metam sodio	20/10	578 290	8.34 × 10 ⁻⁰⁶	17.8	-2.91	7/2.2	II
Metamidofos	222/7	200 000	1.60 × 10 ⁻⁰⁶	1	-1.74 ^g	3.5/90	Ib
Metomilo	134/15	55 000	2.13 × 10 ⁻⁰⁶	72	0.09	46/30 ^b	Ib
Naled	60/16	2 000	6.60	180	2.18	1/4.4	II
Oxamil	268/45	148 100	4.89 × 10 ⁻⁰⁸	16.6	-0.44	7/8	Ib
Paraquat	1561/199	620,000	4.00 × 10 ⁻¹²	1 000 000	-4.5	620/30 ^b	II

^aUniversity of Hertfordshire 2007; ^bKegley *et al.* 2011; ^cWHO 2010; ^dUso no reportado en bitácoras; ^eKoc= Coeficiente de carbono orgánico; ^fKow= Coeficiente de partición octanol-agua; ^gOregon State University 1998; ND= Información no disponible; O-I= Otoño-Invierno; P-V= Primavera-Verano; Ia= Sumamente peligroso; Ib= Muy peligroso; II= Moderadamente peligroso y III= Poco peligroso; IV= Normalmente no ofrecen peligro bajo un uso normal

a O-I (0.1 kg/ha), debido particularmente a que en los meses de agosto y septiembre se utilizaron dosis más elevadas (0.73 y 0.36 kg/ha, respectivamente).

Por otro lado, el inventario de envases nos mostró que los meses de mayor acopio fueron febrero y marzo (**Fig. 2A**), ubicados dentro del ciclo O-I, en el que se ha observado el pico más alto de aplicación de la temporada hortícola en el Valle de Culiacán según lo reportado por González Valdivia (2008), AMIFAC (2011) y García de la Parra *et al.* (2012). De acuerdo con la Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A.C. (AMIFAC 2011), el centro de acopio de Culiacán recolectó, de enero a septiembre de 2011, 92 t de envases de agroquímicos que representan el 17% del potencial de generación (540 t) en el estado de Sinaloa. En este sentido, nuestros datos indican que los meses de febrero y marzo representan el 39.14 % del número de envases durante el periodo analizado, lo cual es similar a este reporte, que para esos meses corresponde a una recolección del 37 %.

Con base en la información del inventario de envases, de manera general se observó una relación directa entre el número de envases y la cantidad de ingrediente activo estimado (**Fig. 2A**), con un mayor uso de plaguicidas en febrero y marzo. Sin embargo, la cantidad de plaguicidas registrados en las bitácoras de aplicación no muestra un uso de éstos particularmente elevado durante esos meses, pero sí durante agosto y septiembre (**Fig. 2B**). La relación positiva observada entre el número de envases y la cantidad de ingrediente activo se confirma con el hecho de que del total anual (40 486 envases equivalentes a 78.62 t de i.a.), el porcentaje de número de envases durante el ciclo O-I (80.76 %) es muy similar al porcentaje de ingrediente activo correspondiente

para ese mismo ciclo (83.68 % y 86.38 %, para inventario y bitácoras, respectivamente; **Cuadro IV**). Lo anterior indica que los contenidos de ingredientes activos en los productos utilizados son similares a lo largo del año (alrededor del 80 % de los productos contienen ≤ 50 % de ingrediente activo). Según los registros del inventario a lo largo de todo el año se identificaron 97 ingredientes activos, de los cuales 64 se emplearon en ambos ciclos agrícolas, mientras que en los registros de bitácoras, se identificaron 94 ingredientes activos, de los cuales 67 se utilizaron en ambos ciclos. Del total de ingredientes activos, 85 % fueron identificados en ambos registros.

En lo que respecta al tipo de plaguicidas identificados en este estudio se observó, de acuerdo con el inventario, que en el ciclo O-I los compuestos más utilizados según su actividad biológica fueron fungicidas y herbicidas, que en conjunto representaron 74.9 % del total (**Fig. 3A**). En contraparte, en el ciclo P-V los compuestos más utilizados fueron insecticidas y fungicidas, con un 75.9 % (**Fig. 3B**). Un comportamiento diferente se da en los datos obtenidos a partir de bitácoras, donde la proporción en el uso de plaguicidas es muy similar para ambos ciclos agrícolas (variaciones menores al 2 %; **Fig. 3C** y **3D**). Lo anterior podría deberse a que los datos de bitácoras corresponden principalmente al uso de plaguicidas en hortalizas, a diferencia de lo registrado en el inventario que refleja el uso de plaguicidas en un espectro más diverso de cultivos, tanto de hortalizas como de granos. Cabe notar que mientras en el inventario el porcentaje de nematicidas no rebasa el 1 % (**Fig. 3A** y **3B**), en el registro de bitácoras, para ambos ciclos, el porcentaje de nema-

CUADRO IV. COMPARACIÓN ENTRE TEMPORADAS AGRÍCOLAS (O-I Y P-V) RESPECTO AL NÚMERO DE PRODUCTOS COMERCIALES, ENVASES Y CANTIDAD DE INGREDIENTES ACTIVOS REGISTRADOS EN EL INVENTARIO DE ENVASES DEL PROGRAMA “CAMPO LIMPIO” (NOVIEMBRE 2011 A OCTUBRE 2012) Y BITÁCORAS DE APLICACIÓN (JULIO 2011 A JUNIO 2012)

	O-I (%)	P-V (%)
INVENTARIO		
Productos comerciales (número)	211	130
Envases (número)	32 700 (80.76 %)	7 786 (19.24 %)
Ingredientes activos (número)	89	72
Cantidad de ingrediente activo (t)	65.79 (83.68 %)	12.83 (16.32 %)
BITÁCORAS		
Productos comerciales (número)	190	121
Ingredientes activos (número)	94	67
Cantidad de ingrediente activo (t)	192.73 (86.38 %)	30.38 (13.62 %)

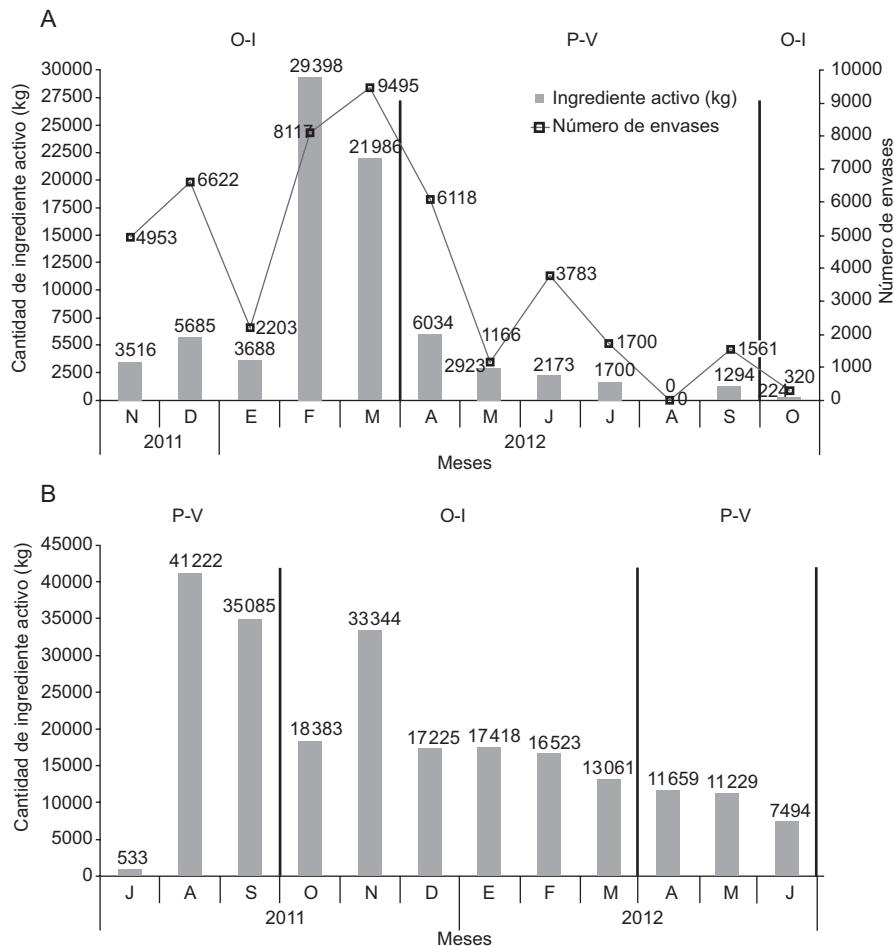


Fig. 2. Variación temporal de la cantidad de plaguicidas con base en: A) el inventario de envases del programa “Campo Limpio” y B) bitácoras de aplicación

ticidas es de 19 % (**Fig. 3C y 3D**). Esto es principalmente resultado del reporte de uso del metam sodio (ditiocarbamato; **Fig. 5B**), fumigante y desinfectante de suelo que se comercializa en contenedores especiales retornables, por lo que no se encontró registro en el inventario de envases.

Los plaguicidas más utilizados en México, en zonas específicas como el estado de Nayarit y en la zona costera del Golfo de México (Campeche, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz) corresponden principalmente a los compuestos de tipo insecticida, herbicida y fungicida (Benítez y Bárcenas 1996, González Farias 2003, Albert 2005, González Arias *et al.* 2010). Esto también se ha observado para el estado de Sinaloa, en el Distrito de Riego 063: Gua- save (DR 063; Hernández Antonio y Hansen 2011) y en una zona predominantemente hortícola (Astorga Rodríguez 2011).

En el presente trabajo, en ambos casos (inventarios de envases y bitácoras) se identificaron 59

clases químicas (**Cuadro I**) utilizadas en el Valle de Culiacán, con diferencias en la cantidad de ingrediente activo, dependiendo del sistema de registro y el ciclo agrícola. Por ejemplo, para el ciclo O-I, según inventario de envases (**Fig. 4A**), las clases químicas dominantes fueron ditiocarbamatos, bipiridilos, organofosforados y organoclorados (que representan el 83 % del total del ingrediente activo en ese ciclo). En bitácoras (**Fig. 4B**) la dominancia se dio en las clases ditiocarbamatos, organofosforados, organoclorados y compuestos inorgánicos (81 %). En contraste, para el ciclo P-V, según inventario, las clases dominantes fueron organoclorados, compuestos inorgánicos, organofosforados, bipiridilos y piretroides (85 %), mientras que en bitácoras se repitieron las mismas clases que en el ciclo O-I (83 %). El comportamiento de las clases químicas en los registros de bitácoras (**Fig. 4B**) fue similar al observado según el tipo de uso (**Fig. 3C y 3D**).

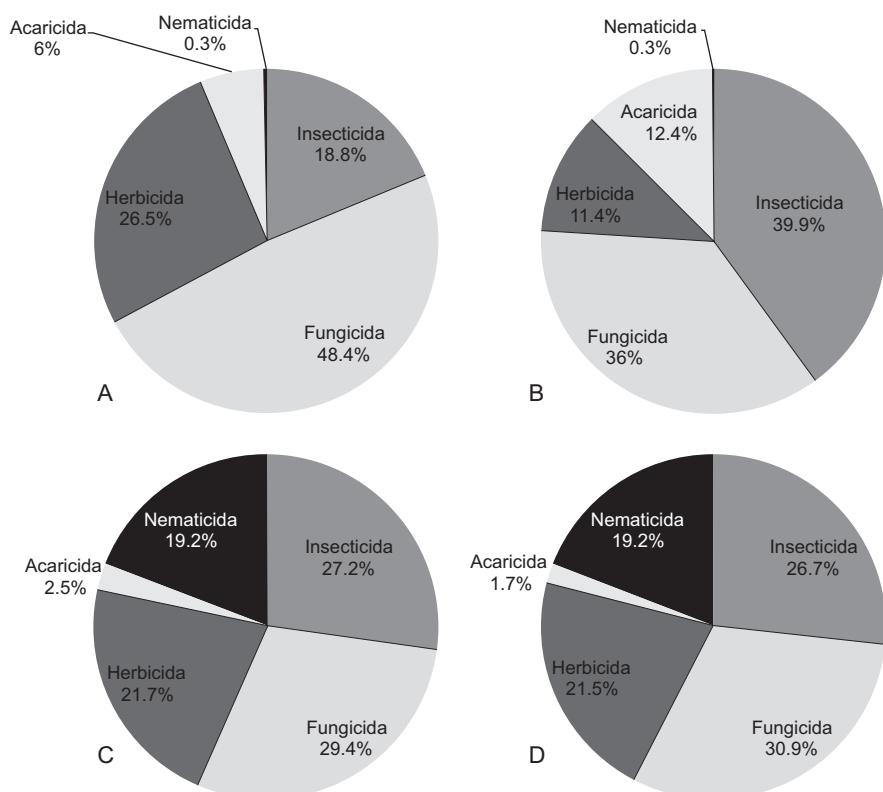


Fig. 3. Porcentaje del tipo de uso de los plaguicidas en el inventario de envases del programa “Campo Limpio”: A) ciclo O-I y B) ciclo P-V; y bitácoras de aplicación: C) ciclo O-I y D) ciclo P-V

En la región se han utilizado distintos procedimientos para estimar el uso de plaguicidas agrícolas. Por ejemplo, en lo reportado respecto a clases químicas, González-Arias *et al.* (2010) realizaron cuestionarios estructurados, con la finalidad de identificar los plaguicidas que más se comercializan, la frecuencia anual de su uso, el número de marcas comerciales manejadas por producto y la época del año de mayor venta. Los cuestionarios fueron aplicados a los responsables de 90 establecimientos en lo que respecta a la venta de plaguicidas en Nayarit. Posteriormente identificaron las principales clases químicas (organofosforados, piretroides, carbamatos y organoclorados) más usadas en función de los criterios establecidos por el catálogo de plaguicidas de la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST 2005). En el DR 063, Guasave, al norte del estado de Sinaloa, Hernández Antonio y Hansen (2011), basados en los mismos criterios establecidos en la CICOPLAFEST (2005), reportaron el uso de 25 clases químicas, siendo las predominantes los organofosforados, la sal de ácido benzoico y compuestos clorofenoxi. Estos autores reportan las

clases químicas en función de la información referente a la superficie de siembra obtenida por fuentes de carácter institucional como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de carácter gubernamental como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y su posterior relación con la información sobre cultivo, dosis y frecuencia de aplicación de los distintos ingredientes activos, obtenida mediante entrevistas al personal de distintas instituciones relacionadas con el gremio agrícola —CONAGUA, SAGARPA, Asociación de Agricultores, distribuidores de agroquímicos, etc.—, en las que reportaron las cantidades usadas anualmente. Asimismo, para el Valle de Culiacán, González Farias (2003) reporta, como comunicaciones personales, que las principales clases químicas de insecticidas empleadas en 1997 fueron: organofosforados (40 %), piretroides (26.7 %) y carbamatos (13.3 %), lo que coincide en gran medida con los compuestos reportados en el presente estudio. Sin embargo, hay algunas diferencias importantes debido a la utilización de nuevos compuestos, como metam sodio, naled, oxamil y metomilo. En el presente estudio se

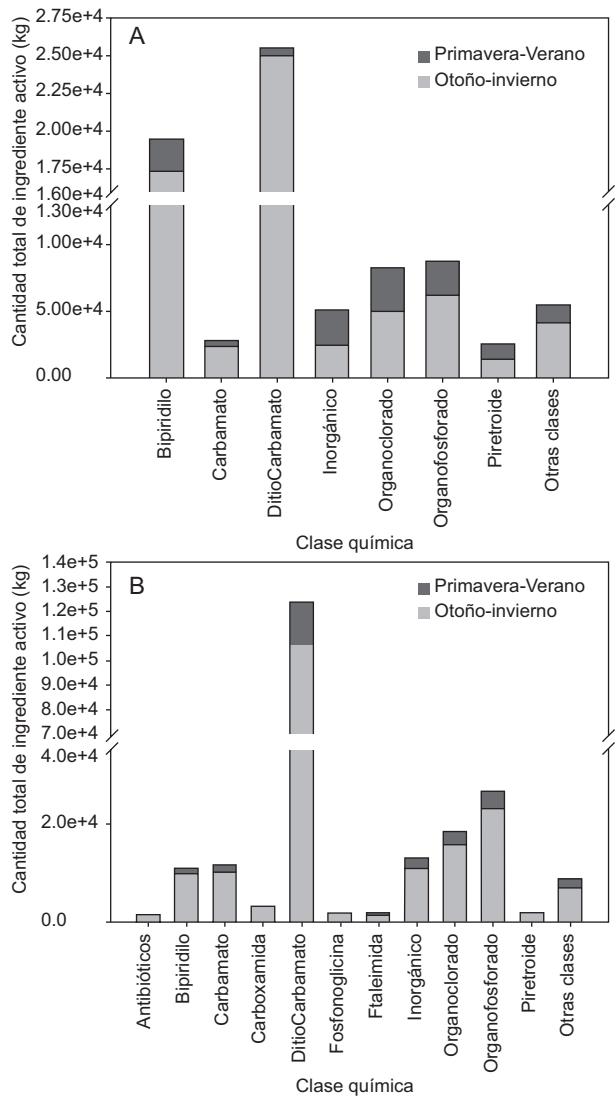
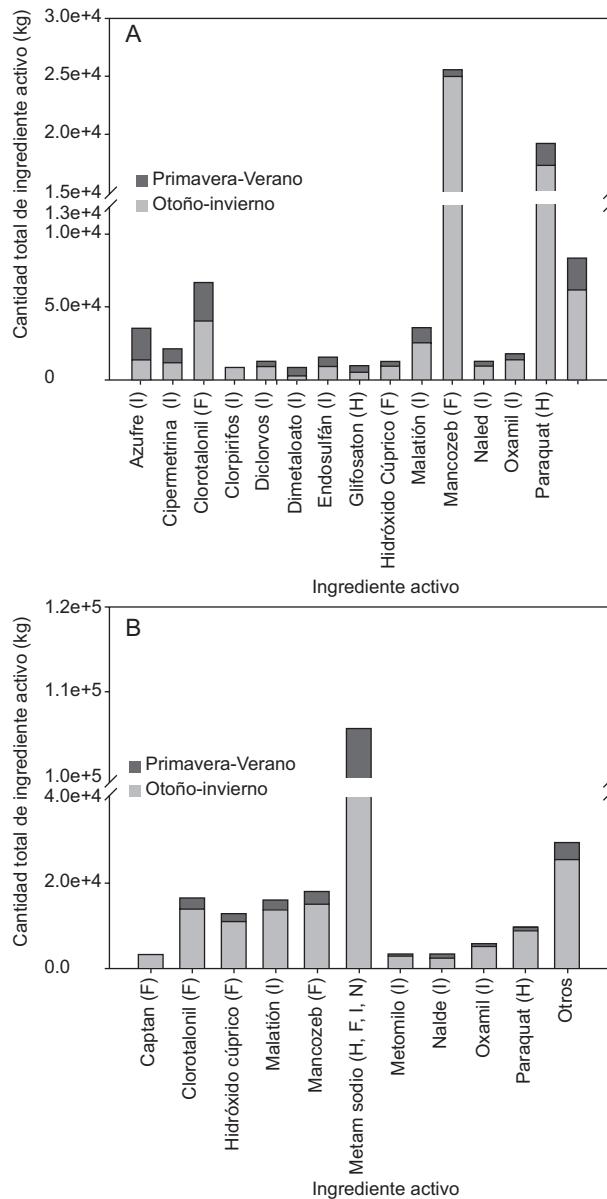


Fig. 4. Cantidad de plaguicidas por clase química con base en: A) el inventario de envases del programa “Campo Limpio” y B) bitácoras de aplicación

estimó el uso de plaguicidas mediante el inventario de envases e información obtenida de bitácoras de aplicación, aunque en esencia la información usada en la estimación (cultivo, superficie sembrada, dosis y frecuencia de aplicación de plaguicidas) es la misma que la reportada por otros autores (González Farias 2003, González-Arias *et al.* 2010, Hernández Antonio y Hansen 2011). La diferencia radica en que en este trabajo la relación de las concentraciones de ingredientes activos en los productos comerciales, se obtuvo directamente de las etiquetas de los envases, del Diccionario de Especialidades Agroquímicas (DEAQ 2012) y/o de las fichas técnicas de los productos comerciales reportadas en Internet. En tanto que, los trabajos con los que estamos comparando



F = Fungicida, H = Herbicida, I = Insecticida, N = Nematicida

Fig. 5. Principales ingredientes activos usados en el Valle de Culiacán con base en: A) inventario de envases del programa “Campo Limpio” y B) bitácoras de aplicación

nuestros resultados, basaron sus criterios de clasificación (clase química, tipo de uso, etc.) en función de lo reportado por la CICOPLAFEST (2005).

Los principales ingredientes activos identificados en el ciclo O-I, según inventario, fueron mancozeb, paraquat y clorotalonil (que representan el 71 % del total del ingrediente activo en ese ciclo), mientras que en P-V fueron azufre, clorotalonil, paraquat y malatión (59 % del total del ciclo; Fig. 5A). En lo que respecta a las bitácoras, en el ciclo O-I el ingrediente

activo más usado fue metam sodio, seguido de mancozeb, clorotalonil y malatión (70 % del total del ciclo), mientras que para P-V se observó que los compuestos dominantes fueron los mismos que en O-I (72 % del total del ciclo; **Fig. 5B**). Las cantidades de ingredientes activos están indicadas en el **cuadro I**.

La frecuencia de aplicación de los plaguicidas más relevantes con base en la dosis y cantidad de ingrediente activo (según inventario y bitácoras) puede ser observada en el **cuadro III**. A continuación se describen algunas de las características fisicoquímicas de estos compuestos y cómo repercutirían éstas en el comportamiento ambiental de los plaguicidas.

La solubilidad en agua de los ingredientes activos fue variable: baja (seis compuestos), moderada (dos) y alta (ocho). Los plaguicidas que presentan una solubilidad de moderada (50 - 500 mg/L) a alta (> 500 mg/L) se absorben con baja afinidad a los suelos y por lo tanto, son fácilmente transportados del lugar de aplicación mediante escurrimiento hasta los cuerpos de agua superficial. Por otro lado, los plaguicidas con baja solubilidad en agua (< 50 mg/L) pueden tener afinidad por el suelo y ya sea, acumularse en este compartimento o depositarse en el sedimento de los ecosistemas acuáticos (INECC 2007, University of Hertfordshire 2007).

La constante de la Ley de Henry permite identificar la volatilidad de un plaguicida (INECC 2007). En este sentido, la mayoría de los compuestos pertenecen, según los criterios establecidos por la Universidad de Hertfordshire (2007), a los que poseen carácter no volátil (13 compuestos), por lo que se retienen en el suelo y tienen un alto potencial de lixiviación hacia aguas subterráneas. Dos plaguicidas (naled y cadusafos) presentan un carácter moderadamente volátil, aquí la tendencia de estos compuestos sería la volatilización al aire. Para el hidróxido cúprico no se tiene reportada esta característica.

El coeficiente de carbono orgánico (Koc) es una estimación que nos permite identificar la movilidad de los plaguicidas en el ambiente (INECC 2007). En el presente trabajo, dentro de los plaguicidas más relevantes, se observó que los que tienen un Koc de ligero, entre 500 y 4000 mL/g (siete compuestos), a moderado, entre 75 y 500 mL/g (cuatro), pueden distribuirse en cuerpos de agua o en el aire, así como también, pueden no ser fijados a la materia orgánica del suelo, por lo que la principal vía de exposición sería por inhalación. Los considerados móviles, entre 15 y 75 mL/g (tres)

y el metamidofos, considerado muy móvil con un valor de Koc de 1, pueden fijarse en suelo, biota, sedimento y materia orgánica. Al igual que los compuestos que presentan un Koc alto, la principal vía de exposición sería a través de la cadena alimenticia. Para el caso del cadusafos no se cuenta con información del Koc que nos permita identificar su comportamiento en el ambiente (University of Hertfordshire 2007).

El coeficiente octanol-agua (Kow) nos indica la capacidad de bioacumulación de un compuesto orgánico (INECC 2007). De los ingredientes activos identificados como relevantes, 13 presentan una baja bioacumulación ($K_{ow} < 2.7$), solamente dos compuestos (malatión y clorotalonil), presentan una bioacumulación moderada ($2.7 < K_{ow} < 3$) y uno (cadusafos) alta. Por lo anterior el cadusafos podría fijarse con firmeza a la materia orgánica, al sedimento y a la biota, además de bioacumularse en tejidos grasos y su principal vía de exposición sería a través de la cadena alimenticia. El resto de los compuestos podrían no fijarse a la materia orgánica y su tendencia es desplazarse hacia acuíferos y aire (INECC 2007, University of Hertfordshire 2007).

En lo que respecta a la persistencia de los plaguicidas en el ambiente, ésta se determina a través de su vida media, es decir, el tiempo (días) que transcurre para que un compuesto sea degradado a un 50 % de su concentración original bajo condiciones normales (INECC 2007). En general, de los plaguicidas que se registraron como relevantes en el presente trabajo, nueve compuestos tienen una vida media en suelo menor a 30 días y se consideran no persistentes, seguido por los moderadamente persistentes con vida media entre 10 y 100 días (5 compuestos) y por último los muy persistentes, paraquat e hidróxido cúprico, con vida media de más de 365 días (University of Hertfordshire 2007). Para el caso de la persistencia de los plaguicidas relevantes en agua, siete compuestos se clasifican como no persistentes con vida media menor a 30 días, seis compuestos moderadamente persistentes con vida media entre 10 y 100 días, dos (mancozeb y cadusafos) persistentes con vida media entre 100 y 365 días y uno para el cuál no existe información (hidróxido cúprico; University of Hertfordshire 2007).

Los resultados del presente estudio sugieren que no ha habido cambios importantes en la variedad de plaguicidas utilizados tanto temporal como espacialmente. Por ejemplo, Ramírez (1999) reportó que los plaguicidas más comercializados en México en 1997 fueron Gramoxone® (paraquat), Faena® (glifosato), Daconil® (clorotalonil) y Manzate® (mancozeb).

Asimismo, varios de los principales insecticidas identificados en este trabajo fueron también registrados en el Valle de Culiacán en 1997, como endosulfán, clorpirifos, malatión, cipermetrina y dimetoato (González Farias 2003). Adicionalmente, se observa similitud con los principales ingredientes activos reportados para el norte de Sinaloa (Hernández Antonio y Hansen 2011). Sin embargo, cabe destacar que en este estudio se registraron aplicaciones importantes de plaguicidas de nueva generación como metam sodio, oxamil y metomilo. En contraste, algunos compuestos reportados en Nayarit, como benomilo, atrazina y fluoroxipir meptil (González Arias *et al.* 2010) no fueron identificados, posiblemente porque su uso está dirigido a cultivos, como algodón y arroz (CICOPLAFEST 2005), que no son representativos del Valle de Culiacán, o no tienen uso agrícola.

Plaguicidas biológicos empleados en el Valle de Culiacán

Entre las principales alternativas contra el uso de plaguicidas está el control biológico mediante bacterias y hongos antagonistas a las plagas presentes en los valles agrícolas (Nava Pérez *et al.* 2012). Se ha reportado que de los insecticidas usados en México, el 6.2 % corresponde a los de tipo biológico (Pérez Olvera *et al.* 2011). Así, por ejemplo, se han utilizado las siguientes especies en el cultivo de hortalizas: *Bacillus thuringiensis*, *Trichogramma* sp., *Paecilomyces fumoroseus* y *Bauveria bassiana* (Pérez Olvera *et al.* 2011).

En el presente trabajo se obtuvieron registros de aplicación de plaguicidas biológicos, representados por el 1.22 % del total de insecticidas, pero no se obtuvieron registros de estos plaguicidas en el inventario de envases. Sería conveniente dirigir futuros estudios en el uso actual de insecticidas biológicos en el Valle de Culiacán. Los plaguicidas biológicos que fueron identificados en esta investigación fueron bacterias del género *Bacillus* (*B. thuringiensis*, *B. pumilus* y *B. subtilis*) con 609.67 kg de i.a./año, mientras que en hongos el más aplicado fue *Paecilomyces lilacinus* (769.74 kg de i.a./año), seguido de *Beauveria bassiana* (289.2 kg de i.a./año), *Trichoderma harzianum* (162.12 kg de i.a./año), *Myrothecium verrucaria* (69.48 kg de i.a./año), *Paecilomyces fumosoroseus* (41.91 kg de i.a./año), *Verticillium lecanii* (12 kg de i.a./año) y *Gliocladium virens* (0.648 kg de i.a./año). De manera similar a lo observado con plaguicidas químicos, el ciclo dominante de uso de plaguicidas biológicos fue en el ciclo de O-I (95 % de i.a. aplicado), aunque la dosis promedio de aplicación fue 1.45 veces mayor durante el ciclo P-V (0.032 kg de i.a./ha).

Uso de plaguicidas con base en categorías toxicológicas

Con base en la clasificación de peligrosidad de la WHO (2010), en el inventario de envases del programa “Campo Limpio”, se aprecia que las mayores proporciones de plaguicidas corresponden a las clases IV (normalmente no ofrecen peligro bajo uso normal, a veces no clasificados o considerados obsoletos) y II (moderadamente peligrosos), con el 45.89 y 38.06 %, respectivamente (**Fig. 6A**). Para bitácoras de aplicación, las categorías toxicológicas predominantes fueron nuevamente la II (65.28 %) y la IV (20.08 %) (**Fig. 6B**). Esto concuerda con lo reportado por Cruz Hernández (2003) en el mismo centro de acopio, con dominancia de las categorías II y IV. Observando la contribución de las categorías Ia (sumamente peligrosos) y Ib (muy peligrosos), los resultados parecen indicar que se mantiene el uso de este tipo de compuestos en una proporción combinada entre el 5 y 7 %.

En lo que respecta a los principales ingredientes activos identificados, la peligrosidad, según los criterios de la WHO (2010) osciló desde la categoría IV (compuestos que normalmente no presentan un peligro bajo condiciones normales de uso) hasta la categoría Ib (compuestos muy peligrosos). Cabe mencionar que esta última categoría representó el 25 % de los compuestos identificados como relevantes en el presente estudio (cadusafos, metamidofos, metomilo y oxamil). Las categorías correspondientes a cada uno de los principales ingredientes activos se observan en el **cuadro III**.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En general, las estimaciones de uso de plaguicidas bajo los enfoques aquí descritos mostraron concordancia tanto en el tipo como en las proporciones de compuestos utilizados, con algunas diferencias que nos indican que son procedimientos complementarios para describir el uso de plaguicidas en la región. Sin embargo, para tener una mayor certeza sería recomendable implementar un programa de registro obligatorio de uso de plaguicidas en prácticas agrícolas.

Los resultados de este trabajo proporcionan información del uso de plaguicidas en el Valle de Culiacán, lo cual puede ayudar a predecir su destino ambiental considerando algunas de sus características fisicoquímicas. Esto permitiría diseñar esquemas de monitoreo ambiental dirigidos a comportamientos ambientales específicos, medir el impacto de programas de reducción de uso de plaguicidas y realizar evaluaciones de riesgo.

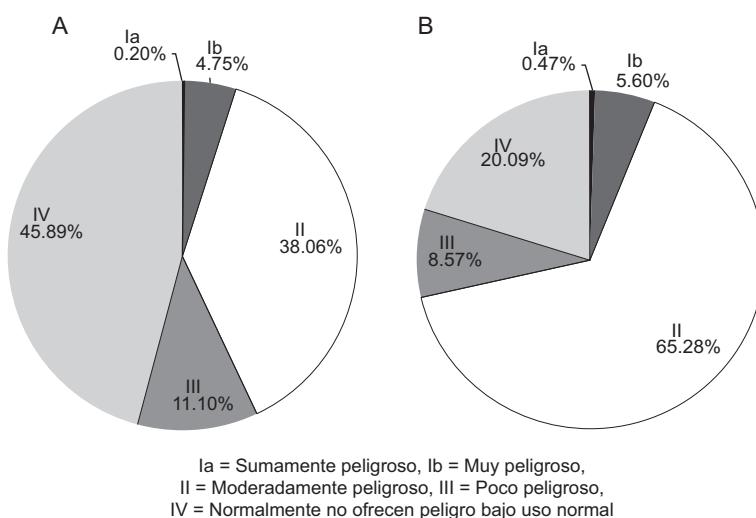


Fig. 6. Cantidad de plaguicidas por categoría toxicológica con base en: A) el inventario de envases del programa “Campo Limpio” y B) bitácoras de aplicación

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (SEMARNAT-CONACyT) por el financiamiento otorgado al proyecto “Caracterización de patrones de uso de plaguicidas y monitoreo ambiental en agroecosistemas de Sinaloa y Sonora”, que permitió llevar a cabo esta investigación, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico a través de beca de doctorado a JBLM. Se agradece también a la Dra. Jacqueline García Hernández del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Unidad Guaymas, por sus valiosas observaciones al manuscrito.

REFERENCIAS

- Abhilash P.C. y Nandita S. (2009). Pesticide use and application: an Indian scenario. *J. Hazard. Mater.* 165, 1-12.
- AARC (2012). Por un Campo Limpio. Asociación de Agricultores del Río Culiacán [en línea] <http://esh30.esoft.com.mx/Sistema/include/Archivos/58/69/Adjuntos/A1P586920121163347171.pdf>. 12/12/2012.
- Albert L.A. (2005). Panorama de los plaguicidas en México. *Rev. Toxicol.* 8, 1-17.
- AMIFAC. (2011). Reporte de Recolección-Septiembre 2011. Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria. Reporte Anual. México, D.F. 1 pp.
- Astorga-Rodríguez J.E. (2011). Evaluación preliminar de riesgo ecológico por el uso de plaguicidas en una zona agrícola de Sinaloa. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa, México. 148 pp.
- Benítez J. A. y Bárcenas C. (1996). Patrones de uso de los plaguicidas en la zona costera del Golfo de México. En: *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. (A.V. Botello, G.J.L. Rojas, J. Benítez y L.D. Zarate, Eds.). Epomex, Serie Científica 5, Campeche, México, pp. 155-167.
- Carvalho F.P., Fowler S.W., González-Farias F. y Mee L.D. (1996). Agrochemical residues in the Altata-Ensenada del Pabellón coastal lagoon (Sinaloa, Mexico): a need for integrated coastal zone management. *Int. J. Environ. Heal. R.* 6, 209-220.
- CICLOPLAFEST (2005). Catálogo oficial de plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México D.F. 483 pp.
- CONAGUA (2011). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año Agrícola 2009-2010. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 320 pp.
- Cruz-Hernández A. (2003). Estrategias para el manejo de envases de plaguicidas en el Valle de Culiacán. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agricultura y la Agroindustria Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México. 164 pp.
- DEAQ (2012). Diccionario de Especialidades Agroquímicas, PLM. [en línea]. <http://www.agroquimicosorganicosplm.com/> 15/01/2012.
- García de la Parra L.M., Cervantes-Mojica L.J., González-Valdivia C., Martínez-Cordero F.J., Aguilar-Zarate G., Bastidas-Bastidas P. y Betancourt-Lozano M. (2012). Distribution of pesticides and PCBs in sediments of

- agricultural drains in the Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. Arch. Environ. Con. Tox. 63, 323-336.
- González-Arias C.A., Robledo-Marencio M., Medina-Díaz I.M., Velázquez-Fernández J.B., Girón-Pérez M.I., Quintanilla-Vega B., Ostrosky-Wegman P., Pérez-Herrera N.E. y Rojas García A.E. (2010). Patrón de uso y venta de plaguicidas en Nayarit, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 26, 221-228.
- González-Farias F. (2003). Pesticides in the coastal zone of Mexico. En: Pesticide residues in coastal tropical ecosystems: Distribution, fate and effects (M.D.Taylor, S.J. Klaine, F.P. Carvalho, D. Barceló y J. Everaarts, Eds.). Taylor & Francis. Londres, Reino Unido, pp. 311-337.
- González-Valdivia C. (2008). Niveles de plaguicidas en sedimentos de granjas camaronícolas en Ensenada de Pábellón, Sinaloa, México. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Tepic. Tepic, Nayarit, México, 133 pp.
- Hernández-Antonio A. y Hansen A.M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. Rev. Int. Contam. Ambie. 27, 115-127.
- Hernández-Moreno M.R. y Valenzuela-Rivera M.L. (1995). La leucemia y su relación con los plaguicidas en Sinaloa. Memorias. Simposium Agroquímicos: Aplicación y Efectos. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México, 15 al 17 de febrero, 1995, pp. 134-135.
- INECC (2007). Características fisicoquímicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [en línea]. http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf 07/02/11.
- INEGI (2010a). México en cifras. Información nacional por entidad federativa y municipios. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [en línea]. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx> 10/10/2012.
- INEGI (2010b). El sector alimentario en México 2010. Serie estadísticas sectoriales. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México. 302 pp.
- INIFAP (2010). Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental del Valle de Culiacán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Guía Técnica. Culiacán, Sinaloa, México. 224 pp.
- Karam-Quiñones C. (2002). Los agroquímicos: una perspectiva jurídica-ambiental. Análisis del caso Sinaloa. Colegio de Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 404 pp.
- Kegley S.E., Hill B.R., Orme S. y Choi A.H. (2011). PAN Pesticide Database, Pesticide Action Network, North America San Francisco, CA [en línea]. <http://www.pesticideinfo.org> 09/09/2012.
- Morales-Zepeda F. (2007). El Impacto de la biotecnología en la formación de redes institucionales en el sector hortofrutícola de Sinaloa, México. Tesis de Doctorado. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 441 pp.
- Nava-Pérez E., García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J.R. y Vázquez-Montoya E.L. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Ra Ximhai 8, 17-29.
- Oregon State University (1998). The Extension Toxicology Network (EXTOXNET): Pesticide Information Profiles (PIPs) [en línea]. <http://extoxnet.orst.edu/25/03/2012>.
- Pérez-Olvera M.A., Navarro-Garza H. y Miranda-Cruz E. (2011). Use of pesticides for vegetable crops in Mexico. En: Pesticides in the Modern World—Pesticides Use and Management (M. Stoytcheva, Ed.). In Tech, Rijeka, Croacia, pp. 97-118.
- Ramírez E. (1999). Perspectiva del mercado mexicano de agroquímicos. Industria de Agroquímicos 7, 15-25.
- Richardson M. (1998). Pesticides-friend or foe?. Water Sci. Technol. 37, 19-25.
- SIAP (2010). Anuario Agropecuario. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. [en línea]. <http://www.siap.gob.mx> 09/09/2012.
- University of Hertfordshire (2007). Footprint. Base de datos de las propiedades de plaguicidas [en línea]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es> 09/09/2012.
- World Health Organization (2010). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009, World Health Organization. Ginebra, Suiza. 78 pp.