

Exposición crónica a plaguicidas, su uso indiscriminado, y calidad seminal en agricultores del Chapare

Chronic exposure to pesticides, its indiscriminate use, and seminal quality in farmers of the Chapare

Angela del Callejo^{1,a}, Carlos Eróstegui^{1,b}, María Isabel García-Sejas^{1,c}, Sandra Pacheco^{2,d}, Karen Montaño^{3,e}

Resumen

Objetivos: el propósito del presente estudio es describir el uso y los efectos de plaguicidas en la calidad seminal de agricultores del Chapare. **Métodos:** participaron 62 agricultores varones de dos poblaciones del Chapare: Villa 14 y Villa Bolívar. Se realizaron encuestas a los participantes para determinar las condiciones con las que llevan a cabo las fumigaciones y cuáles son los plaguicidas más utilizados. Se realizó el análisis seminal de acuerdo a criterios de la OMS 2021, a agricultores de 18 a 45 años de edad. Además, se realizó una prueba de fragmentación de DNA espermático. **Resultados:** los resultados obtenidos fueron: el 55% de los participantes no utilizan ningún tipo de protección en el momento del preparado de los productos y el 45% no utilizan en el momento de la fumigación. El 97% de los agricultores encuestados utilizan el herbicida Paraquat; el 94% utilizan Glifosatos; Carbamatos (49%); diferentes tipos de Organofosforados (12,7%) y Organoclorados (4,8%); asimismo, utilizan productos combinados comercialmente como Caporal (84%) y Extermin (63%). Respecto a los parámetros seminales, se determinó que el 38% de los participantes tienen por lo menos un parámetro seminal alterado. **Conclusiones:** Podemos decir que los agricultores se encuentran expuestos de forma crónica a plaguicidas altamente tóxicos y prohibidos. No utilizan la protección adecuada para realizar las fumigaciones, presentan algunos síntomas que indican alteración de la y, presentan alteración de la calidad seminal.

Palabras claves: plaguicidas, agricultores, exposición crónica, calidad seminal, fragmentación del DNA espermático.

Abstract

Objectives: the purpose of this study is to characterize chronic exposure to pesticides, their indiscriminate use, and seminal quality in Chapare farmers. **Methods:** 66 male farmers from two towns in Chapare participated: Villa 14 and Villa Bolívar. Surveys were conducted to the participants to determine the conditions with which they carry out the fumigations that are the most used pesticides. Seminal analysis was performed according to WHO 2010 criteria, a farmer between 18 and 45 years of age. In addition, a sperm DNA fragmentation test was performed. **Results:** the results obtained were: 55% of the participants do not use any type of protection at the time of product preparation and 45% do not use it at the time of fumigation. 97% of the farmers surveyed use the herbicide Paraquat; 94% use Glyphosates; Carbamates (49%); different types of Organophosphates (12.7%) and Organochlorides (4.8%); they use commercially combined products such as Caporal (84%) and Extermin (63%). Regarding the seminal parameters, it was determined that 38% of the participants have at least one altered parameter. **Conclusions:** in conclusion, we can say that farmers are exposed to toxic, highly toxic and prohibited pesticides. They do not use adequate protection to carry out fumigations. They present symptoms that indicate effects on their health. In addition, at least one of the seminal parameters is present, which means that the seminal quality is diminished.

Keywords: pesticides, grower, chronic exposures, seminal quality, sperm DNA fragmentation.

Recibido el
06 de enero de 2025
Aceptado
20 de junio de 2025

¹Laboratorio de Genética y Salud Reproductiva de la Unidad de Investigación Clínica del Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIBISMED), Facultad de Medicina-Universidad Mayor de San Simón(UMSS), Cochabamba, Bolivia.

²Unidad de Apoyo procesamiento de datos y análisis de información del Instituto de Investigaciones Biomédicas IIBISMED, Facultad de Medicina-UMSS,

³LABIMED, Facultad de Medicina-UMSS.

^a<http://orcid.org/0000-0001-9415-0197>

^b<http://orcid.org/0000-0002-5071-2992>

carerostegui@gmail.com

^c<http://orcid.org/0000-0002-6092-2644>

misabgs@gmail.com

^d<http://orcid.org/0000-0002-2940-9833>

e.pacheco@umss.edu

^e<http://orcid.org/0009-0005-8734-3579>

karenenydenisovando@gmail.com

*Correspondencia:

Angela del Callejo Veracc

Correo electrónico:

angeladelcallejo@gmail.com

DOI:

<https://doi.org/10.47993/gmb.v48i1.998>

Los plaguicidas o pesticidas son sustancias químicas que, a nivel mundial son ampliamente utilizados para el control de plagas como los insectos, roedores, hierbas, hongos, etc.; los cuales son considerados dañinos para el ser humano por el perjuicio que causan a la producción agrícola y el impacto económico negativo que implica. La amplia utilización de los plaguicidas se debe a que favorecen la producción en gran medida y, por lo tanto, incrementan significativamente el beneficio económico de los agricultores¹.

Por otra parte, los plaguicidas son sustancias nocivas que repercuten en la salud humana. Presentan diferentes grados de toxicidad, desde ligeramente peligrosos hasta altamente peligrosos². Los agricultores se exponen a este riesgo especialmente al ponerse en contacto directo con estas sustancias durante períodos prolongados de tiempo a bajas concentraciones (dosis inferiores al umbral que origina síntomas agudos), generando una exposición crónica que tendrá efectos crónicos en la salud³.

Este riesgo se incrementa con el uso indiscriminado y con hábitos que no son adecuados para el uso de estos plaguicidas, como el no utilizar la vestimenta de protección adecuada durante la preparación de los plaguicidas, o durante las fumigaciones, lo cual puede dar lugar a la acumulación de estas sustancias tóxicas en el organismo y tener efectos en diferentes órganos incluyendo el endocrino y reproductivo⁴.

De este modo, la fertilidad masculina podría verse afectada por la interferencia que pueden tener algunos plaguicidas en la regulación hormonal, ya sea por imitación de hormonas o por acción anti-hormonal (disruptores endócrinos), o también por trastornos que pueden producirse en las células de Sertoli, de Leydig o en las células germinales, afectando así el proceso de síntesis y la maduración de los espermatozoides^{5,6}. Lo cual, puede conducir a la alteración de los principales parámetros seminales, como ser: volumen, concentración, motilidad, vitalidad y morfología; e incluso pueden producir daño del DNA espermático y la consiguiente disminución de la capacidad reproductiva masculina^{7,8,9}.

La región que se denomina Chapare es una zona del departamento de Cochabamba, conformada por parte de las provincias Carrasco y Chapare situadas entre los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz. Es una zona de clima tropical húmedo, con mucha actividad agrícola, donde se cultiva una gran variedad de plantas frutales, arroz, coca y otros. La mayor parte de estos cultivos son realizados en parcelas pequeñas; en las que se hace uso intenso e indiscriminado de plaguicidas por parte de estos agricultores.

El objetivo del presente trabajo es describir la exposición crónica de los agricultores a los plaguicidas y su efecto sobre la calidad seminal en agricultores de la zona del Chapare.

Material y métodos

Este es un estudio transversal y descriptivo. Se llevó a cabo en dos poblaciones del Chapare: Villa 14 y Villa Bolívar. Para su ejecución, previamente, se realizaron reuniones de coordinación con el personal de los Centros de Salud, con los dirigentes y agricultores de estas zonas. A partir de ello, fueron citados 300 agricultores varones expuestos constantemente a plaguicidas por lo menos por un año antes del inicio del presente trabajo; pero sólo 62 accedieron a participar en este estudio.

Aplicación de encuestas

Previa firma de un acta de consentimiento informado, donde se les dio a conocer el propósito de la investigación; se realizó una encuesta con el fin de recabar información respecto a la exposición, la frecuencia de fumigación, tipo de plaguicidas utilizados, protección, "dosis", síntomas, y otros datos.

Índice de Exposición (IE)

El nivel de exposición de los agricultores ante la toxicidad de los plaguicidas fue determinado, mediante un análisis en base a 4 parámetros:

- frecuencia de fumigación
- tiempo de fumigación
- dosis utilizada
- protección durante la fumigación

Donde el índice tuvo un rango de 0 a 1, siendo 0 la exposición mínima y, 1 la exposición máxima. El IE fue la suma de cada uno de los cuatro parámetros mencionados arriba, estos estaban multiplicados por coeficientes de ponderación, lo que determinó la siguiente ecuación:

$$\text{IE} = 0.15(a) + 0.25(b) + 0.20(c) + 0.40(d)$$

donde (a) fue la frecuencia de fumigación, (b) el tiempo de exposición, (c) la dosis y (d) la protección (elaboración propia).

Establecimos una escala para la frecuencia de fumigación, siendo 1 la fumigación diaria, 0,3 la fumigación semanal y 0,1 la fumigación mensual. Para el tiempo de fumigación establecimos 0,1 cuando el tiempo era 2 a 3 horas, 0,3 si eran 5 horas o 0,6 en el caso de 10 horas y 1 más de 10 horas. La dosis utilizada se clasificó en: recomendada o mayor a ésta, siendo 0,3 la recomendada y 0,7 si es mayor. El cuarto parámetro fue la protección durante la fumigación, y esta fue medida con una escala de 1 a 10, donde 10 es la máxima protección y 1 la mínima. Para la ecuación del índice de exposición, esta última variable se la invirtió, ya que la máxima protección implica menor exposición. La ecuación final de índice de exposición fue la suma de cada uno de los parámetros multiplicado por un coeficiente de ponderación 0,15(a)+0,25 (b)+0,2(c)+0,4 (d), donde (a) es la frecuencia de fumigación, (b) el tiempo de exposición, (c) la dosis y (d) la protección.

Calidad seminal

La calidad seminal fue determinada mediante una evaluación de los parámetros seminales: volumen, concentración, motilidad, vitalidad y morfología espermáticos, según criterios y recomendaciones de la OMS/202110. Para el análisis seminal, sólo 34 agricultores participantes cumplieron con los criterios de inclusión: edad (18 a 45 años), días de abstinencia (entre 2 a 7 días), y que no tengan enfermedades de transmisión sexual (ETS), tales como HIV, Sífilis, Clamidias, Mycoplasmas, Ureaplasmas.

Tanto las encuestas como la toma de muestras seminal y su respectiva evaluación en fresco, fueron realizadas en los Centros de Salud correspondientes a las zonas de estudio.

La evaluación de la morfología espermática (criterio estricto de Krüger) fue determinada con la tinción de panóptico rápido.

Tabla 2. Implementos de protección personal utilizados por los agricultores

	Preparación		Fumigación	
	Nº	%	Nº	%
Guantes	6	9,5	3	4,8
Botas	19	30,2	29	46
Pañoleta	4	6,3	5	7,9
Máscara	15	23,8	14	22,2
Gafas	1	1,6	4	6,3
Traje de protección (Overol)	2	3,2	3	4,8
Mangas largas	12	19	16	25,4
Sombrero	1	1,6	2	3,2
Equipo de protección completo	1	1,6	1	1,6
Sin protección	31	49,2	22	34,9

La fragmentación del DNA espermático de estas muestras, fue evaluada mediante la prueba de SCD (Sperm Chromatin Dispersion), con el Kit Halosperm⁹. Estas pruebas fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Genética y Salud Reproductiva del IIBISMED-Facultad de Medicina de la UMSS.

El análisis de los resultados de los parámetros seminales se realizó en función a los criterios establecidos por la OMS/2021.

Los datos fueron procesados en excel y SPSS, para lo cual se realizó un análisis descriptivo.

Resultados

Exposición

Los resultados obtenidos mediante las encuestas realizadas a los agricultores del Chapare fueron los siguientes: De los 62 participantes el 31,7 % estuvieron expuestos a plaguicidas durante 6-10 años y el 38,1 % estuvieron expuestos entre 11-15 años. El promedio de exposición fue de 14,7 años ± 8,8 años, el tiempo mínimo 1 año y el máximo 34 años.

La frecuencia de fumigación de una vez por semana fue de 66,1 %; de una vez por mes el 32,3% y, de una vez por día sólo el 1,6%. Las horas de exposición por día fueron: toda la jornada (50 %), medio día (50 %).

Protección

En la Tabla 1, mostramos algunas vestimentas de protección utilizadas por los agricultores de la zona. Las botas son el implemento de protección de mayor uso tanto para la preparación (30,2%) como para la fumigación (46%) y sólo un agricultor utiliza equipo de protección adecuado.

El 49% de los agricultores no utilizan ningún tipo de protección durante la preparación y el 35 % durante la fumigación (Gráfica 1).

Por otra parte, el índice de exposición calculado para la población estudiada fue de 0,59 sobre 1, es decir que, presentan un índice elevado.

En la Tabla 2, se observan los síntomas de intoxicación. Después de fumigar, el 95,2% de los participantes presentaron por lo menos uno de los síntomas de intoxicación, como cefalea (84%) y mareo (55,6%). Estos síntomas fueron producidos principalmente por Carbamatos (31,7 %) y por Caporal (20,6%).

Tipos de plaguicidas

Los principales plaguicidas utilizados en las zonas de estudio fueron los herbicidas como el Paraquat (97%) y diferentes tipos

Tabla 2. Síntomas de intoxicación que presentaron los participantes

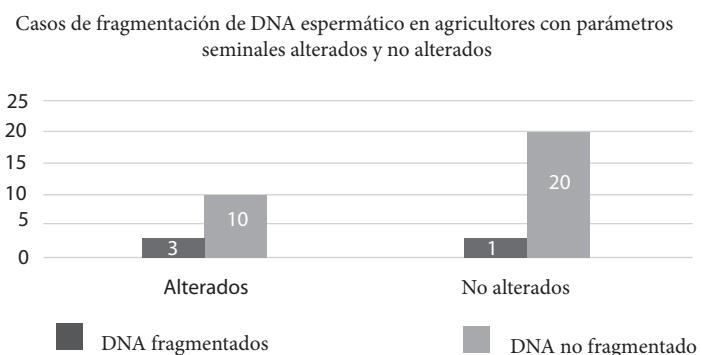
Síntomas	N=63	%
Cefalea	53	84,1
Irritación de la piel	15	23,8
Mareo	35	55,6
Irritación respiratoria	23	36,5
Irritación digestiva	23	36,5
Visión borrosa	19	30,2
Vómito	9	14,3
Tos	1	1,6
Ninguno	2	3,2

Gráfica 1. Protección de los agricultores durante la preparación y fumigación

Tabla 3. Lista de plaguicidas más utilizados en las zonas de Villa Bolívar y Villa 14 (Chapare)

Plaguicida	Compuesto activo	Uso	Toxicidad	Porcentaje plaguicidas utilizados Nº = 63*
Organoclorados: Sulfanex, Fenix	. Endosulfan	Insecticidas	Extremadamente tóxico (Ia y Ib) Etiqueta ROJA	4,8
Organofosforados: . Azodrin . Lorsban . Methamidofos, Thodoron, Tamaron . Novaclor	. Monocrotofos . Clorpirifós etil . Metamidofos . Triclorfon	Insecticidas	“Extremada o Altamente tóxico” (Ia, Ib y II), Etiqueta ROJA o AMARILLA	12,7
Carbamatos: . Metomyl (Carbamato tipo Oxima): Guapo, Rambo, Militar, Sinotomil, Red Devil . Carbosulfan (Carbamato tipo N-metil): Carbofan, Carbosulfan, Ferax	. Metomil . Benzofuranil metil carbamato	Insecticidas	Alta o Moderadamente tóxico” (Ia, Ib, II y III), Etiqueta ROJA o AMARILLA	49
Piretroide: Piretroide, Karate, Rayo	. Lambdacialotrin	Insecticida	“Alta, Modera o Ligeramente tóxico”. (II, III y IV), etiqueta AMARILLA o AZUL	33
Cipermetrina (Todotrin, Cyperdin, Cepertrine, Nurelle)	Piretroide tipo II Cipermetrina	Insecticida		
Cloronicotinilico (Neonicotenoïdes): Imidacloprid (Pridcontrol, Impacto, Tiametoxam)	Imidacloprid	Insecticida	Ligeramente tóxico (III), Etiqueta AZUL	3,2
Abamectina (Arrazador, Facili, fast)	Avemectina	Insecticida, Acaricida, Antihelmíntico	Moderadamente tóxico” (II), etiqueta AMARILLA	4,8
Bipiridilos: Gramoxone	Paraquat	Herbicida	“Altamente tóxico”, Etiqueta ROJA	97
Glifosatos: Roundup, Bazuka, Terrano, Fuego, Glifamax, Panzer, Glifo,	N-(fosfonometil) glicina	Herbicida	“Categoria IV, Etiqueta VERDE	94
Aril Oxifenoxipropionatos: Galant	haloxyfop-r-metil éster	Herbicida	Ligeramente tóxico (III), Etiqueta AZUL	1,6
Acidos fenoxicarboxílicos: 2,4 D, DMA 6, Fernimine	2,4-D-dimetilamonio	Herbicida	Moderadamente tóxico” (II), Etiqueta AMARILLA	16
Productos Combinados: Randon	2,4-D + Picloram	Herbicida	Moderadamente tóxico” (II), Etiqueta AMARILLA	24
Caporal	Metamidofos + Cipermetrina	Insecticida	Altamente tóxico” (Ib), Etiqueta ROJA	84
Extermin	Imidacloprid + Lambdacialotrin	Insecticida	Moderadamente tóxico” (II), Etiqueta AMARILLA	63
Engeo	LAMBDA�IALOTRI N + Tiametoxam	Insecticida	Moderadamente tóxico” (II), Etiqueta AMARILLA	1,6
Cloronitrilos: Bravo, Cloronitriilo	Chlorotalonil	Fungicida	“Moderadamente o Ligeramente tóxico” (II y III), Etiqueta AMARILLA o AZUL	1,6
Bencimedasólico: Carbezim, Callicarb	Carbendazim	Fungicida	“Categoria IV”, Etiqueta VERDE	1,6
Dithane	Mancozeb+Lignosulfonato+metenamina+s al de sodio,ácido diisopropilnaftalen o sulfónico	Fungicida	“Categoria IV”, Etiqueta VERDE	1,6
Ridomil Metaman:	Mancozeb +			.
Alquilenbis ditiocarbamatos: Polyram® DF	Metalaxil – M Metiram	Fungicida	Ligeramente tóxico III y IV, Etiqueta AZUL o VERDE . “Categoria IV”, Etiqueta VERDE .	6,3

* Grado de toxicidad de acuerdo a la OMS

Gráfica 2. Fragmentación del DNA espermático de agricultores expuestos a plaguicidas

de glifosatos (94%); seguidos por el uso frecuente de insecticidas, principalmente como productos combinados comercialmente como Caporal (84%), que es la combinación de un organofosforado y un piretroide; y Extermin (63%) combinación de cloronicotinilico y un piretroide. Asimismo, encontramos el uso de carbamatos (49%), diferentes tipos de Organofosforados (12,7%) e incluso organoclorados (4,8%), entre otros. Además, aparte de utilizar dichos productos combinados comercialmente como los ya mencionados, el 82,5% de estos agricultores preparan una diversidad de sus propias mezclas, como Paraquat con glifosatos (11,1%) o mezclan dos productos combinados como Caporal con Extermin (19%). Por otra parte, cabe mencionar que sólo el 50,8% de agricultores usan las dosis recomendadas para cada producto (Tabla 3).

Calidad seminal

Del total de 62 agricultores encuestados, sólo 34 cumplían con los criterios de inclusión para realizarles el respectivo estudio seminal, presentando una edad promedio de $31,6 \pm 6,7$ años.

La evaluación de las muestras seminales de los 34 agricultores, mostró que el 38% tenían al menos un parámetro seminal alterado y el 62 % tenían parámetros seminales normales.

En la tabla 4, se muestran los resultados de las características de los parámetros seminales diferenciados en dos grupos: los parámetros alterados que se encuentran debajo del límite inferior de referencia (LIR) y, los parámetros normales se encuentran por encima del mismo límite (OMS 2021).

Este análisis nos mostró diferencias altamente significativas para todos los parámetros seminales analizados, entre los parámetros alterados y normales.

El volumen del grupo con parámetros alterados tuvo un promedio 1,1 ml y el grupo con parámetros por encima del LIR fue de 2,7 ml. La concentración alterada tuvo un promedio de $3 \times 10^6/\text{ml}$ y el normal $80,9 \times 10^6/\text{ml}$. El porcentaje de motilidad alterado fue 30 y el normal 65,8 %. El porcentaje de vitalidad anormal fue de 44 y del normal 77,8 %. El porcentaje de morfología alterada fue de 2 y del normal de 10,1 %.

De los 34 agricultores, 4 presentaron fragmentación de DNA espermático (3 pertenecían al grupo que tenían al menos un parámetro seminal alterado y 1 no tenía ningún parámetro alterado), los 30 restantes no presentaron fragmentación de DNA espermático (Gráfica 2).

Discusión

Los agricultores de las dos zonas en estudio del Chapare presentan exposición crónica a los plaguicidas, debido a que se encuentran expuestos a bajas dosis de una gran variedad de estos agroquímicos durante muchos años. Así, tenemos que el 70 % de ellos realizaron fumigaciones entre 6 a 15 años. Estos datos se asemejan a otro estudio, donde el 50 % de esa

Tabla 4. Características de los parámetros seminales de agricultores expuestos, sobre el LIR Vs. parámetros bajo el LIR de acuerdo a la OMS (2021)

	Volumen (ml)	Concentración $10^6/\text{ml}$	Motilidad (%)	Vitalidad (%)	Morfología (%)	N PA ¹	N PA (%)
Prom<LIR ²	1,1 (n=8)	3 (n=5)	30 (n=2)	44 (n=5)	2 (n=5)	13	38
Prom>LIR ³	2,7 (n=26)	80,9 (n=29)	65,8 (n=32)	77,8 (n=29)	10,1 (n=29)	21	62
Prom gral. ⁴	2,3 (n=34)	69,4 (n=34)	63,7 (n=34)	72,9 (n=34)	8,9 (n=34)	34	100

¹ N PA: Número de casos con al menos un parámetro seminal alterado.

² Prom < LIR: Promedio de los parámetros que se encuentran por debajo del Límite inferior de referencia.

³ Prom > LIR: Promedio de los parámetros que se encuentran por encima del Límite inferior de referencia de la población en estudio.

⁴ Prom gral: Promedio que incluye 2 y 3.

población refirió el uso de plaguicidas por un tiempo promedio de 7 años y 8 meses¹¹. Por otra parte, se sabe que este tipo de exposición a largo plazo puede ocasionar intoxicación crónica con el consecuente daño del organismo debido a la acumulación paulatina de estas sustancias en el cuerpo²; donde, el riesgo y severidad de sufrir intoxicación estaría en función a la toxicidad del producto utilizado, al tiempo de exposición e incluso a la vía de acceso, como ser inhalación, dérmica, ocular y oral⁵. Como se mencionó anteriormente, el Chapare es una región con clima tropical húmedo, presenta una vegetación exuberante, por tanto, el requerimiento de control de plagas es importante; lo que conlleva a que los agricultores utilicen una gran variedad de plaguicidas, principalmente herbicidas tales como paraquat y glifosatos, etc.; e insecticidas, como los organofosforados ya sea en su forma simple o en productos combinados comerciales, los piretroides también simples o combinados comerciales, los carbamatos y otros. Algunos autores confirman que, hasta hace algunos años, el paraquat con nombre comercial de Gramoxone, era uno de los herbicidas más utilizado a nivel mundial¹¹. En un estudio en Sonora, México determinaron que era el herbicida más utilizado². Actualmente el paraquat, por sus efectos en la salud humana, está prohibido en 40 países, incluidos los de la Unión Europea y Suiza. Su exposición crónica puede tener principalmente efectos en el sistema respiratorio, se acumula selectivamente en los pulmones humanos para causar lesiones oxidativas y fibrosis con alta mortalidad¹² y en el sistema nervioso, como posible factor de la enfermedad de Parkinson¹³. Se observó que el estrés oxidativo inducido por el paraquat en células SHSY-5Y diferenciadas, aumentó la producción de especies de oxígeno reactivo celular (ROS), con una consecuente apoptosis por la alteración celular y fragmentación del ADN que se produce¹⁴. Pero, a pesar de estos riesgos y prohibiciones, este plaguicida sigue siendo muy utilizado en nuestro país, así como en otros países en desarrollo¹⁵.

Otro herbicida de amplio espectro, muy utilizado en la zona de investigación es el Glifosato/Roundup, patentado por la casa Monsanto. A nivel mundial es uno de los plaguicidas más utilizados, su uso incluye manejo agrícola, industrial, de jardinería ornamental, también es empleado para la erradicación de los cultivos ilícitos. Se encuentra registrado en más de cien países¹¹. Su toxicidad aún es controversial y, su uso o prohibición se encuentran en discusión. Debido a la acción sobre la ruta del ácido shikímico e interferencia en la síntesis de aminoácidos en plantas; por ello, algunos autores consideran que tiene toxicidad moderada; no obstante, otras investigaciones muestran que ocasiona alteración en la estructura y reparación del ADN, produce cambios en la regulación del ciclo celular, cambios epigenéticos y mutaciones que podrían dar origen a tumorogénesis y otras afecciones^{16,17}.

Respecto a los insecticidas, encontramos un elevado uso de ellos, entre los cuales encontramos principalmente los organofosforados, que son agroquímicos altamente tóxicos y prohibidos, como menciona la resolución administrativa 24 y 25 de SENASAG en 2015¹⁸, entre ellos se encuentran el metamidofos (con efectos en sistema nervioso), monocrotofos (posible cancerígeno y abortivo) clorpirifos y sus mezclas en todas sus concentraciones¹⁹.

Los organoclorados, aunque en bajo porcentaje (4,8 %), hallamos que, todavía son utilizados en estas zonas como es el caso del endosulfan, que es totalmente prohibido por convenios internacionales en todos los países²⁰. Al igual que toda su familia química, pertenece al grupo de plaguicidas altamente tóxicos, por ser disruptores endocrinos y por su persistencia; en general, producen malformaciones congénitas, hipotiroidismo, entre otros¹⁹. En Bolivia, a pesar que, estos productos también son prohibidos en otros países por ser altamente tóxicos¹⁸, todavía son comercializados y utilizados porque ingresan ilegalmente o por contrabando^{15,21}.

En resumen, en el Chapare son utilizados hasta un 97% de plaguicidas altamente peligrosos (PAPs), entre ellos se encuentran: paraquat, glifosato, metamidofos, metomil, monocrotofos, clorpirifos, endosulfan; 2,4-D, cipermetrina, lambdacialotrin. Información que se encuentra relacionada con un estudio realizado en los estados de Sonora y Sinaloa, donde se utilizan entre un 40 y 50% de PAPs, con mucha similitud a los plaguicidas del presente estudio²².

Además, el riesgo de usar estos plaguicidas altamente tóxicos se agrava debido a que la protección utilizada por los agricultores es muy precaria o no existe. Es así que, el 34,9% de ellos no utilizan ningún tipo de protección y el 63,5% utilizan sólo algunos implementos que no son adecuados para realizar fumigaciones, resultando muy precarios y deficientes, como son las pañoletas o camisas de manga larga. Lo cual concuerda con un estudio realizado en el estado de Sinaloa, donde se reporta que el 72% de los agricultores usa equipo de protección personal incompleto, 28% ningún tipo de equipo, el 29% usa equipo de protección personal rudimentario⁴. Como mencionan algunos autores, este problema se incrementa en zonas con climas cálidos y húmedos debido a la incomodidad que les produce el uso de vestimenta adicional¹⁵; como es el caso de los agricultores del Chapare. Esta situación se presenta por falta de capacitación y desconocimiento de los agricultores sobre la importancia que tiene el uso adecuado de los implementos de protección y cómo éstos pueden disminuir la exposición y los efectos adversos de los plaguicidas²³.

Al respecto, el índice de exposición que determinamos en este estudio se encuentra por encima del 50 % (0,59 sobre 1), lo cual significa que, aunque no es estadísticamente significativo, su exposición es elevada y, por tanto, el uso inadecuado de protección, es un factor de riesgo para la intoxicación por los plaguicidas. Esto es corroborado en un estudio donde se realizó el análisis de riesgo por el uso inadecuado de los elementos de protección²⁴. En cuanto a la frecuencia de fumigaciones; el 66,1 % de ellos reportaron que efectúan fumigaciones una vez por semana y, solo el 50 % las realiza durante toda la jornada. En comparación con otro estudio donde se reporta que el 45,6% fumiga dos veces por semana; y el 80% durante toda la jornada¹¹.

Es relevante mencionar la diversidad de síntomas que pueden presentar los agricultores al finalizar la fumigación, podría

decirse que, es consecuencia de lo señalado anteriormente, estos síntomas pueden ser: cefaleas, mareos, vómitos, fatiga, debilidad, náuseas, opresión en el pecho, dificultad para respirar, insomnio, calambres abdominales. Nuestros resultados (Tabla 3) son corroborados por otros estudios, donde las más mencionadas fueron: alteraciones neurológicas (82,2%), tales como cefalea (37,5%), mareos (9,8%) y sudoración profusa y visión borrosa (7,1%); manifestaciones de piel (71,5%)^{10,25,26}.

Respecto al efecto de los plaguicidas sobre la calidad seminal de los agricultores, encontramos que, por lo menos un parámetro seminal se encuentra alterado (38 % de los casos). Los hallazgos de este estudio fueron consistentes con reportes en los que se reporta el efecto negativo de los diferentes plaguicidas sobre los principales parámetros seminales como el volumen, concentración, morfología y motilidad^{27,28}.

Se compararon los resultados entre el grupo que presentó parámetros alterados con el grupo que tuvo parámetros normales; es decir, los que se encontraban bajo el límite inferior de referencia (LIR) respecto a los que se encontraban por encima del LIR. Esto con la finalidad de visualizar cuán afectados se hallaban los que presentaban alteración, porque si sólo se muestra el promedio general, aparentemente, ningún parámetro se encontraría afectado. Esta comparación fue efectuada ya que no se pudo tener un grupo control, debido a la complejidad que representa la toma de muestra y el estudio en sí en estas zonas.

En nuestro estudio, el volumen seminal fue el parámetro más frecuentemente afectado; pero se observó mayor severidad en la concentración y la morfología. En una investigación similar indican que la vitalidad y la integridad de la membrana espermática disminuyen de manera significativa, en relación dosis dependiente, como consecuencia de la acción de estas sustancias sobre el ADN y las proteínas, debido a sus propiedades alquilantes y electrofílicas. También encontraron que, al evaluar un grupo de trabajadores expuestos a plaguicidas, encontraron alteraciones en diferentes variables espermáticas, tales como la concentración espermática, la motilidad y la vitalidad²⁹. Estos hallazgos se corresponden con otro estudio en el cual un grupo de hombres jóvenes que vivían en una zona rural expuestos a plaguicidas tenían altos niveles de abortos y altas tasas de infertilidad, con parámetros seminales normales según la OMS, que no explicaban los problemas mencionados³⁰.

Los resultados de este estudio muestran alteraciones de los parámetros seminales, que han existido en personas que están expuestas a plaguicidas, entre estas alteraciones se observó fragmentación del DNA y también se observó alteraciones en el análisis seminal, se observa una clara tendencia de fragmentación en el grupo de los que tienen al menos un parámetro seminal alterado.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que existe uso indiscriminado de plaguicidas en la zona del Chapare y los agricultores se encuentran expuestos de forma crónica a plaguicidas altamente tóxicos y prohibidos

No utilizan la protección adecuada para realizar las fumigaciones, presentan algunos síntomas que indican alteración de la y, presentan alteración de la calidad seminal.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses para llevar a cabo esta publicación.

Uso de IA

Los autores declaran que no se utilizó IA para llevar a cabo esta publicación.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por la cooperación ASDI/DICYT, UMSA.

Agradecimientos:

Agradecemos a la Cooperación Sueca ASDI por el financiamiento del proyecto Concursable C-10. Agradecemos a Elías Morales por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.; A Roby Rojas, por su apoyo logístico en el Centro de Salud de Villa 14, así mismo, al Dr. Ernesto Rojas por colaborar con la coordinación con el personal del Centro de salud de Villa Bolívar del Chapare y a los Sindicatos correspondientes a estas zonas.

Referencias bibliográficas

- FAO and WHO. International code of conduct on pesticide management: guidelines on highly hazardous pesticides. Rome, 2016. Disponible en: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/205561/9789241510417_eng.pdf?sequence=1
- Silveira-Gramont M, Aldana-Madrid ML, Piri-Santana J, Valenzuela-Quintanar AI, Jasa-Silveira G y Rodríguez-Olibarria G. Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el Estado de Sonora, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 2018; 34 (1) 7-21. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37055963001>
- Gutiérrez W, Cerda P, Plaza-Plaza JC, Mieres JJ, Paris E, Ríos JC. Caracterización de las exposiciones a plaguicidas entre los años 2006 y 2013 reportadas al Centro de Información Toxicológica de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Rev Med Chile. 2015; 143: 1306-1313. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-9887201500100009
- Arciniega M. Riesgos a la salud por exposición a plaguicidas químicos en trabajadores agrícolas del Valle del Carrizo, Ahome, Sinaloa. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba. 2021; v.4, n.3, p. 4395-4407 jul./set.
- Disponible en: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/35637/27744> DOI:10.34188/bjaerv4n3-124

5. Kalyabina V, Esimbekova E, Kopylova K, and Kratasuk V. Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. *Toxicology Reports*. 2021; 8: 1179–1192. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214750021001104>
6. Requena-Mullor M, Navarro-Mena A, Wei R, López-Guarnido O, Lozano-Paniagua D, Alarcon-Rodriguez R. Evaluation of Gonadal Alterations in a Population Environmentally Exposed to a Mixture of Endocrine Active Pesticides. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18, 2355. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052355>. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7957776/> doi.org/10.3390/ijerph18052355
7. Paparella CV, Pavesi AV, Feldman RN, Bouvet BR. El efecto de los agroquímicos en la espermatogénesis. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 2011; 1, 0(2)190-200. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v10n2/rhcm06211.pdf>
8. Minguez-Alarcón L, Mendiola J y Torres-Cantero AM. Calidad seminal y toxicidad de metales pesados y plaguicidas. *Rev salud ambient.* 2014; 14 (1):8-19. Disponible en: <https://ojs.difundit.com/index.php/rsa/article/view/583/529>
9. Fernandez JL, Muriel L, Goyanes V, Segrelles E, Gosálvez J, Enciso M, et al. Simple determination of human sperm DNA fragmentation with an improved sperm chromatin dispersion test. *Fertil Steril* 2005; 84:833-42. Disponible en: [https://www.fertstert.org/article/S0015-0282\(05\)02778-0/fulltext](https://www.fertstert.org/article/S0015-0282(05)02778-0/fulltext) doi:10.1016/j.fertnstert.2004.11.089
10. OMS. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. Sixth edition. 2021. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/343208/9789240030787-eng.pdf?sequence=1>
11. Varona M, Henao GL, Díaz S, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. 2009. *Biomédica* 29:456-75. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/16/17>
12. Xiaoqing JD; Yu Dale W. Porter LA. Battelli ML and Qiang K. Common and distinct mechanisms of induced pulmonary fibrosis by particulate and soluble chemical fibrogenic agents. 2016. *Archives of Toxicology*. Volume 90, Issue 2, pp 385–402. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4749430/> doi:10.1007/s00204-015-1589-3
13. Vaccari C; Dib and Lauro J; Camargo. V. Paraquat and Parkinson's disease: a systematic review protocol according to the OHAT approach for hazard identification. *Systematic Reviews*. 2017. 6:98 DOI: 10.1186/s13643-017-0491-x. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5433017/> doi: 10.1186/s13643-017-0491-x
14. McCarthy S; Somayajulu M; Sikorska H; Borowy-Borowski S. Paraquat induces oxidative stress and neuronal cell death; neuroprotection by water-soluble Coenzyme Q10. 2004. *Toxicology and Applied Pharmacology*. Volume 201, Issue 1, 15. 21-31. Disponible en:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041008X04002467?via%3Dihub> <https://doi.org/10.1016/j.taap.2004.04.019>
15. Cervantes MR. Plaguicidas en Bolivia. PLAGBOL. 2010. *Revista Virtual REDESMA*. Vol. 4(1). Disponible en: <http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rvr/v4n1/a04.pdf>
16. Monroy CM, Cortés AC, Sicard DM y Groot de Restrepo H. Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas in vitro a glifosato. 2005. *Biomédica* 25:335-45. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/843/84325309.pdf>
17. Lara-Rodríguez, A. M., Páez-Almanza, O. V., Guevara-Medina, C. J., Alarcón-Vargas A. F., Arenas N. E. y Cuervo-Soto L. I. Efectos del glifosato en la expresión de algunos genes y sus implicaciones en la salud humana. 2020. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 6(2) 71- 82. Disponible en: https://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/view/328/194 DOI: 10.36436/24223484.328
18. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia). Lista de plaguicidas prohibidos y restringidos en Bolivia. La Paz: Ministerio de Medio Ambiente y Agua; 2019. Disponible en: http://snia.mymaya.gob.bo/web/PDFs/Lista_Plaguicidas_Prohibidos_Restringidos.pdf
19. Ordoñez-Beltrán V; Frías-Moreno; M.N; Parra-Acosta H y Martínez-Tapia M.E. Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. Asociación Española de Toxicología. 2019. *Revista de Toxicología* Vol. 36, núm. 2, pp. 148-153. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/919/91967023011/html/>
20. Jayaraj R; Megha P y Sreedev P. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. 2016. *Interdisciplinary Toxicology*; Vol. 9(3-4): 90–100. Disponible en:<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5464684/> Doi:10.1515/intox-2016-0012
21. Bascopé ZR; Bickel U y Jacobi J. Plaguicidas químicos usados en el cultivo de soya en el Departamento de Santa Cruz, Bolivia: riesgos para la salud humana y toxicidad ambiental. 2019. ACTA NOVA; Vol. 9, N° 3: 386 -- 416. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n3/v9n3_a05.pdf
22. García Hernández J, Leyva Morales JB, Martínez Rodríguez IA, Hernández Ochoa MI, Aldana Madrid ML, Rojas García AE, Betancourt Lozano M, Pérez Herrera NE y Perera Ríos JH. Estado actual de la investigación sobre plaguicidas en México. 2018. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34: 29-60. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/1040>
23. Yáñez A y Camarena B. 2021. Sociedad y Ambiente. Año 7, núm. 19, marzo-junio 2019, ISSN: 2007-6576, pp. 55-82. Disponible: <https://revistas.ecosur.mx/sociedadyambiente/index.php/sya/article/view/1939/1769>
24. Yucra S, Gasco M, Rubio J y Gonzales GF. Exposición ocupacional a plomo y pesticidas organofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. 2008. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*. 25(4):394-402. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342008000400009&script=sci_abstract
25. Amaya E, Roa A, Camacho J, Meneses S. Valoración de factores de riesgo asociados a los hábitos de manejo y exposición a organofosforados y carbamatos en habitantes y trabajadores de la vereda de Bateas del municipio de Tibacuy, Cundinamarca, Colombia. 2008. NOVA - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas - ISSN:1794-2470 Vol.6:101-236. Disponible: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/405>
26. Alavanja M and Bonner M. Occupational Pesticide Exposures and Cancer Risk. 2004. *Annual Review of Public Health*. Volume 25, Pages 238-263. Published online: 09 May 2012. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6276799/> Doi:10.1080/10937404.2012.632358
27. Arciniegas-Galaviz MA. Riesgos a la salud por exposición a plaguicidas químicos en trabajadores agrícolas del Valle del Carrizo, Ahome, Sinaloa. 2021. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v.4, n.3, p.4395. Disponible en: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/35637/27744> DOI:10.34188/bjaerv4n3-124.
28. Perry MJ. Effects of environmental and occupational pesticide exposure on human sperm: a systematic review. 2008. *Hum Reprod Update* 14(3): 233-242. Disponible en: <https://academic.oup.com/humupd/article/14/3/233/682512?login=true> https://doi.org/10.1093/humupd/dmm039
29. Recio-Vega R, Ocampo-Gómez G, Borja-Aburto VH, Moran-Martínez J, Cebrian-García ME. Organophosphorus pesticide exposure decreases sperm quality: association between sperm parameters and urinary pesticide levels. 2008. *J Applied Toxicol* 28: 674-680. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18046699/> doi: 10.1002/jat.1321
30. Gómez-Pérez Roald, Rojas Gerardo, Miranda-Contreras Leticia, Cruz Ibis, Berrueta Lisbeth, Salmen Siham et al. Efectos de exposición ocupacional a plaguicidas sobre la integridad de la cromatina espermática. 2011. *Rev. Venez. Endocrinol. Metab.* [Internet]. Ago [citado 2024 Dic 21]; 9(2): 67-78. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-31102011000200005&lng=es