

## **ANEXO. 10.4. Cambios en los contenidos de Glifosato y AMPA en suelo y jugo de naranja. Y contenidos de carbono orgánico total (TOC) en suelo de plantaciones de naranja valencia con diferentes niveles de manejo agroecológicos en el norte de Veracruz**

### **Muestreo:**

El muestreo se realizó en 5 municipios del estado de Veracruz de la zona citrícola, Chicontepec, Álamo, Tihuatlán, Papantla, Ixhuatlán, en 3 parcelas diferentes, las cuales presentaron 1 (T1), 3 (T3), y 5 (T5) años sin la aplicación de glifosato.

Para la toma de muestras de suelo el muestreo se realizó al detalle de acuerdo a la NMX-AA-132-SCFI-2006 que indica tomar 12 puntos por hectárea sin embargo, se tomaron 20 muestras compuestas para robustecer el análisis. El muestreo se realizó como a continuación se menciona. Para suelo, en cada punto de muestreo se tomaron entre 500 y 1000 gramos de suelo a una profundidad de 20 cm y se depositaron en bolsas de plástico. Se almacenaron en hieleras y se transportaron al laboratorio con hielo. En el laboratorio las muestras se almacenaron a -20 °C hasta antes de su análisis. Las muestras se secaron al ambiente en charolas de aluminio con una profundidad inferior a 2.5 cm, manteniéndolas a la sombra a una temperatura no mayor a 35 °C. También se secaron en un horno a una temperatura de 30°C. Se retiraron las piedras y los restos de plantas que contenían las muestras, posteriormente se disgregaron manualmente y se cribaron en una malla de 2 mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable. Las muestras cribadas y homogenizadas obtenidas por cuarteo se almacenaron en congelación (-20°C) para evitar cambios en el contenido de glifosato ocasionado por la biodegradación de microorganismos (Todorovic y col. 2013).

De los mismos naranjos ubicados en las parcelas que se muestreo suelo, también se muestrearon las naranjas, tomado entre 3 y 5 naranjas por punto de muestreo. Las cuales se almacenaron en hieleras y se transportaron con hielo al laboratorio. Se extrajo el jugo de las naranjas y se congelo hasta su análisis de glifosato y AMPA.

### **Extracción de glifosato de suelo y jugo**

#### **1) Suelo, Extracción de Glifosato y AMPA**

Se utilizó el método descrito por De Gerónimo y col. (2018) con modificaciones. En un tubo falcón de 50 mL se depositaron 5 g de suelo seco. A los cuales se les adicionaron 25 mL de tetraborato de sodio (40mM), la mezcla se agito por 30 min, en una agitadora de placa a 240 rpm. Transcurridos los 30 min la mezcla se centrifugo a 4000 rpm durante 10 min. Se tomaron 2 mL, los cuales se pasaron por un cartucho OASIS HLB previamente acondicionado con Metanol y agua a pH 9. Los 2 mL de la solución se recuperaron en un tubo falcón de 15 mL. A los cuales se les adiciono 80 µL de EDTA 0.2 M pH 9 y 200 µL de FMOC-Cl (10 mg/mL) para llevar acabo la derivatización de los compuestos. La reacción de derivatización se llevó acabo durante 1 hora a temperatura ambiente. Después a la mezcla se le adicionaron 5 mL de diclorometano para eliminar el exceso de FMOC-Cl. La mezcla se centrifugo a 4000 rpm durante 5 min para que se separen las fases (orgánica y acuosa) recuperando la fase acuosa. La cual se filtro con una membrana de 0.22µm y se depositó en un vial de plástico para inyectarse en el UPLC-MS/MS. En la figura 1 se presenta el diagrama de flujo con este protocolo.

## Protocolo para determinación de Glifosato (Extracción con fosfato)

5 g de suelo seco (en tubo de 50 mL)

+

25 mL  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (40 mM) /  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (40 mM),  
ajustada a pH=9.2, agitar en vortex 30''

Agitar en Shaker 30 min,

Centrifugar a 4000 rpm 10'

2 mL del sobrenadante (en tubo 15 mL nuevo)

Limpiar con cartucho OasisHLB 3cc (60 mg)

Part No WAT094226

+

80  $\mu\text{L}$  EDTA 0.1M a pH=9

+

200  $\mu\text{L}$  de FMOC-Cl ([10 mg/mL en AcN])

Agitar  
vigorosamente en vortex 30''

Almacenar a Tamb 1 h

Adicionar 5 mL  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$

Agitar en vortex 30''

centrifugar a 4000 rpm 5'

Separar fase acuosa (arriba  $\text{H}_2\text{O}$ , abajo  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ )

Filtrar por 0.22  $\mu\text{m}$  1 mL y colocar en vial de UPLC

Analizar por UPLC-MS/MS

### Referencias:

- 1) Todorovic, G. R., Mentler, A., Popp, M., Hann, S., Köllensperger, G., Rampazzo, N. & Blum, E.H. (2013). Determination of Glyphosate and AMPA in Three Representative Agricultural Austrian Soils with a HPLC-MS/MS Method. *Soil and Sediment Contamination*, 22:332–350.
- 2) De Gerónimo, E., Lorenzón, C., Iwasita, B. and Costa, J. L. (2018). Evaluation of Two Extraction Methods to Determine Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Soil. *Soil Science*. 183: 34–40.

**Figura 1.** Diagrama de protocolo implementado para determinar glifosato en suelo modificado de De Gerónimo y col. (2018).

## 2) Jugo

Se trabajó con el método desarrollado por Ehling and Reddy en 2015 con modificaciones. El cual consiste en pesar 1 gramo de jugo en un tubo Falcón de 15 mL, adicionar 50  $\mu$ L de HCl concentrado y agitar en vórtex. Posteriormente, se le agregaron 2 mL de metanol HPLC y se vuelve a agitar en vórtex, se centrifugo a 4000 rpm durante 5 min a 4 °C. Del sobrenadante se tomaron 300  $\mu$ L y se depositaron en un tubo de 2 mL y se mezclaron con 600  $\mu$ L de tetraborato de sodio pH 10 más 75  $\mu$ L de FMOC-Cl (10mg/mL) para realizar la derivatización. La solución se agitó, y la derivatización se detuvo a los 30 min adicionando 50  $\mu$ L de ácido fórmico al 98%. 1 mL del extracto derivatizado se filtró con una membrana de 0.22  $\mu$ m y se depositó en viales de plástico para inyectarse en el UPLC-MS (Ehling and Reddy, 2015). En la figura 2 se encuentra un diagrama con el protocolo implementado para la determinación de glifosato en jugo de naranja.

## Protocolo para determinación de Glifosato en Jugo (Extracción con fosfato)

1 g de jugo (en tubo de 15 mL)  
+  
50  $\mu$ L HC concentrado, agitar en vortex 30''

2 mL MeOH, agitar en vortex 30''

Centrifugar a 4000 rpm 5 ' a 4 °C

Adicionar  
estándar  
Interno (SI)

0.3 mL del sobrenadante (en tubo 2 mL nuevo)  
+  
0.6  $\mu$ L Borato a pH=10  
+  
75  $\mu$ L de FMOC-Cl ([10 mg/mL en AcN])

Agitar  
vigorosamente en vortex 30''

Almacenar a Tamb 30'

Adicionar 60  $\mu$ L ácido fórmico 98%  
Agitar en vortex 30''

centrifugar a 4000 rpm 5'

Filtrar por 0.22  $\mu$ m 1 mL y colocar en vial de UPLC

Analizar por UPLC-MS/MS

### Referencias:

Stefan Ehling and Todime M. Reddy. Analysis of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Nutritional Ingredients and Milk by Derivatization with Fluorenylmethoxycarbonyl Chloride and Liquid Chromatography–Mass Spectrometry. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2015 63 (48), 10562-10568 DOI: 10.1021/acs.jafc.5b04453

**Figura 2.** Diagrama de protocolo implementado para determinar glifosato en jugo modificado de Ehling and Reddy (2015).

## Resultados

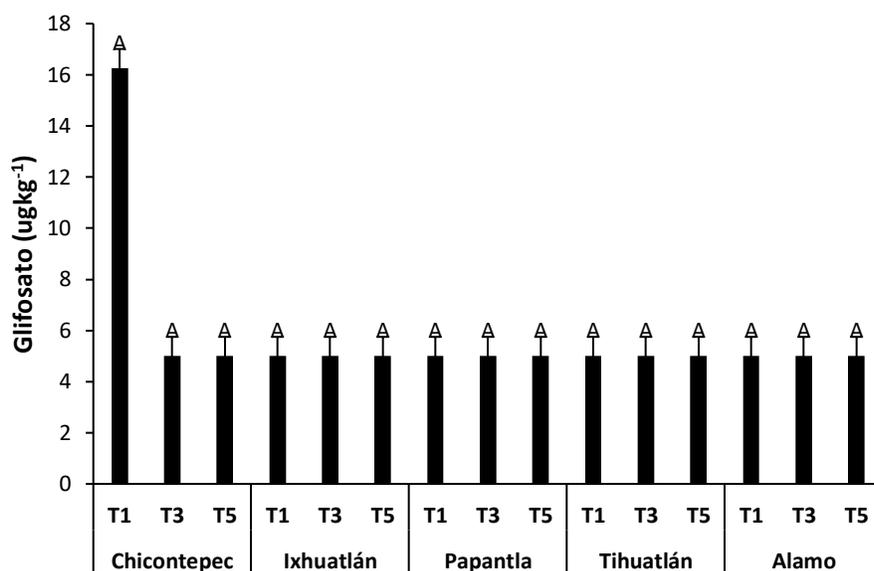
### 1) Suelo

#### Glifosato

En los suelos de cultivos cítricos del estado de Veracruz se detectó el mayor contenido de glifosato residual ( $22 \text{ ug kg}^{-1}$  en promedio) en el municipio de Chicontepec en suelos que tenían aproximadamente 1 año de no haber aplicado (T1), sin embargo en T3 y T5 (después de 3 y 5 años de no aplicar) el glifosato residual fue  $\geq 5 \text{ ug kg}^{-1}$  (Figura 3). Mientras que en los demás municipios de Ixhuatlán, Papantla, Tihuatlán y Álamo se encontró un promedio de glifosato residual que fue  $\geq 5 \text{ ug kg}^{-1}$  para todas las parcelas muestreadas de los diferentes tiempos de no haber aplicado.

Estos resultados sugieren que el glifosato fue degradado en menos de 1 año en estos suelos en las diferentes parcelas y sólo se detectó a nivel de trazas en los suelos. Lo cual concuerda con la literatura, que indica tiempos de disipación (DT50) cortos. Por ejemplo para suelos de cítricos de Florida, USA (suelos con baja contenido de materia orgánica, y de textura arenosa) el DT50 fue de aproximadamente 26 días (Gairhe, et al., 2021).

Aunque la mayor parte del glifosato aplicado al suelo se disipa rápidamente de la superficie del suelo, restos de herbicida podrían permanecer en la capa superior de 15 cm casi 3 meses después de la aplicación, como se observó por Gairhe et al. (2021) en un DT90 prolongado. Algunos autores han reportado un DT90 de más de 7 meses para el glifosato en ciertos casos, particularmente cuando los suelos son ricos en contenido de limo y arcilla (Okada et al., 2019). Como es el caso de los suelos de Veracruz de la zona cítrica, donde los suelos fueron franco, franco arcillosos, y franco limosos arcillosos.



**Figura 3.** Concentración de glifosato en suelo ( $\text{ug kg}^{-1}$ ) de los 5 municipios muestreados en la zona cítrica del estado de Veracruz, en los diferentes tiempos que dejó de aplicarse glifosato: T1 = 1 año, T3 = 3 años y T5 = 5 años. Las barras indican error estándar y las letras mayúsculas indican comparaciones para una prueba de Kruskal-Wallis con  $p < 0.05$ .

Ghafoor et al. (2011) indicó la influencia de diversas características físicas, químicas (textura, pH, capacidad de intercambio catiónico, etc) y microbiológicas del suelo sobre la persistencia del glifosato en el suelo. La literatura indicó que menos del 5% del glifosato agregado al suelo se mineralizó (hasta CO<sub>2</sub>) a 15 °C después de 3 meses en algunos suelos, mientras que en otros suelos más del 40% se mineraliza en las mismas condiciones, lo que indica que la tasa de degradación es dependiente del tipo de suelo (Borggaard y Gimsing, 2008). Además, diferencias en la vida media del glifosato ha sido ampliamente reportada, lo que enfatiza la gran variabilidad entre los suelos.

Ghafoor et al. (2011), postuló que la degradación del glifosato está significativamente correlacionada positivamente con el pH del suelo. Así, el tiempo de vida media (o disipación DT50) del glifosato en suelos neutros y alcalinos es menor que en suelos ácidos, lo que puede atribuirse a las diferencias en la comunidad microbiana del suelo. Ya que las bacterias pueden crecer bien en condiciones neutras y alcalinas, por lo que este resultado resalta la importancia de las bacterias del suelo en la degradación del glifosato en los suelos. Los suelos de Veracruz fueron cercanos a la neutralidad y ligeramente alcalinos (6.16-8.36).

Previos reportes han indicado que la principal vía de degradación del glifosato en los suelos es biológica, debido a diversos microorganismos, principalmente por bacterias, que, junto con otros factores en el suelo, pueden afectar el resultado y la tasa de degradación (Borggaard y Gimsing, 2008). Algunas bacterias reportadas por degradar glifosato de manera efectiva son : *Arthrobacter atrocyaneus*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Pseudomonas* sp. *Rhodococcus solii*, (Nguyen et al., 2022; Zhang et al., 2015; Borggaard y Gimsing, 2008). Otros generos como *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Comamonas*, *Geobacillus*, *Flavobacterium*, *Enterobacter*, *Ochrobactrum*, and *Rhizobiaceae*, *Streptomyces* se han reportado por utilizar glifosato como fuente de fósforo principalmente y de carbono o nitrógeno (Nguyen et al., 2022).

Recientemente se ha reportado que hongos de los generos *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. son eficientes degradadores de glifosato (Corrêa et al., 2023). Estos hongos fueron capaces de utilizar glifosato como fuente de fósforo y de carbono.

Esto sugiere que glifosato pudo ser fácilmente degradado en los suelos de Veracruz en cortos tiempos (< 1 año), al no ser detectado y debido a la naturaleza de los suelos cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos con pH (6.16-8.36) y clasificados como muy bajos o bajos en contenido de MO (0.79%-4.98%) de acuerdo a la NOM-121-RECNAT-2000. Estas características coinciden con condiciones en donde el glifosato puede ser degradado en periodos de DT cortos como fue postulado por algunos autores (Ghafoor et al. (2011).

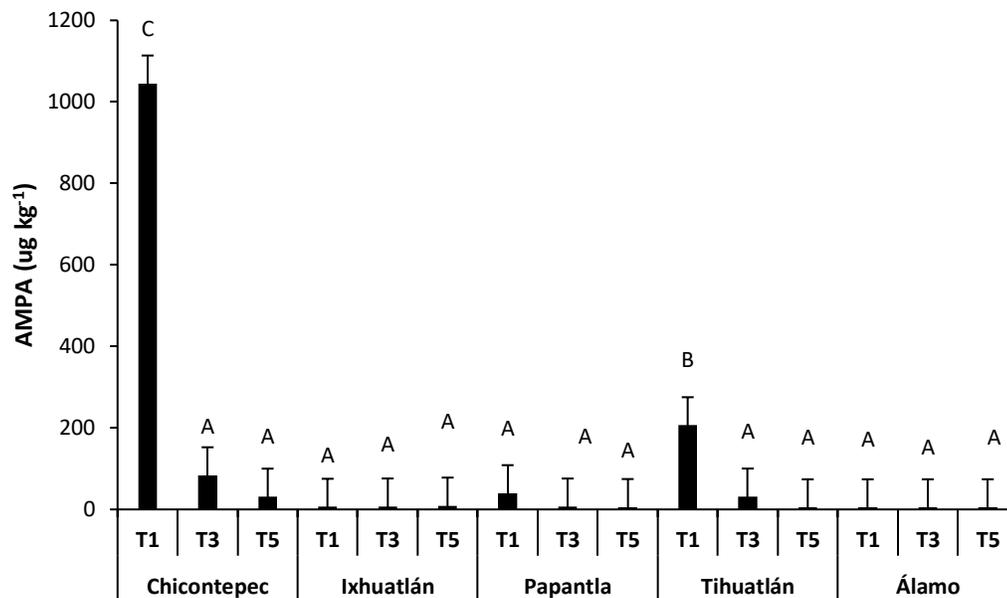
## **AMPA**

El ácido aminometil fosfónico (AMPA) es el principal intermediario de la degradación del glifosato (Nguyen et al., 2022; Gairhe, et al., 2021). Este fue detectado en mayor concentración en el municipio de Chicontepec (1045 ug kg<sup>-1</sup>), seguido del municipio de Tihuatlán (206 ug kg<sup>-1</sup>), Papantla (39 ug kg<sup>-1</sup>), mientras que en Ixhuatlán y Álamo se detectó un promedio de ≥5 ug kg<sup>-1</sup> en los T1 respectivamente (Figura 4).

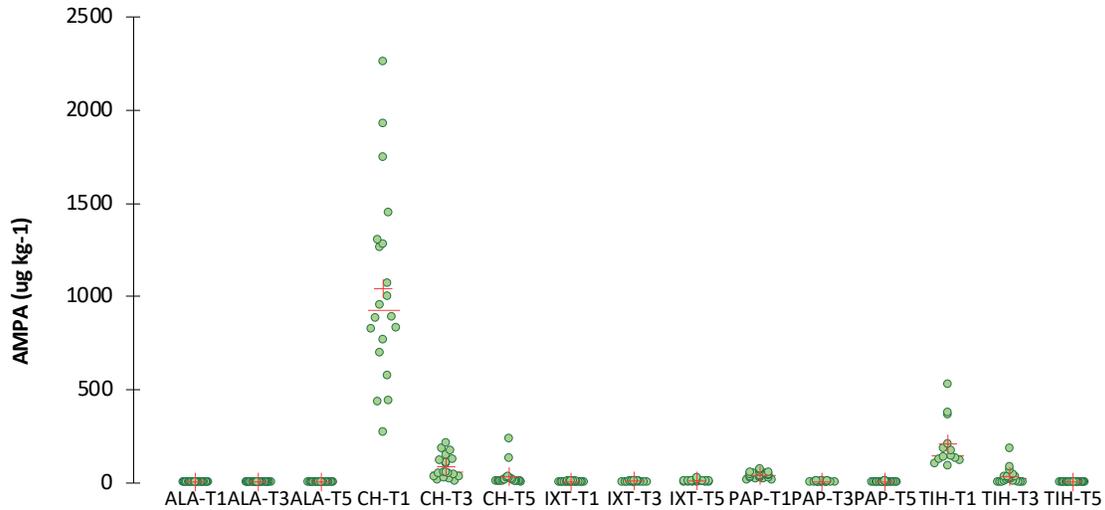
Una disminución en la concentración de AMPA fue observado en el tiempo en aquellos municipios donde la concentración en el T1 fue alta (Chicontepec, Tihuatlán, Papantla).

Para Chicontepec la concentración en T3 disminuyó hasta  $84 \text{ ug kg}^{-1}$ , y en T5  $32 \text{ ug kg}^{-1}$ , lo que representa una disminución de 92% y 97% con respecto a la concentración encontrada en T1.

En Tihuatlán, el mismo comportamiento fue observado en la concentración de AMPA detectada, una disminución en el tiempo de las parcelas de no haber agregado glifosato: T1 con  $206 \text{ ug kg}^{-1}$ , T3 con  $33 \text{ ug kg}^{-1}$ , y T5 con  $5 \text{ ug kg}^{-1}$  de AMPA residual. Esto representó una degradación o remoción del AMPA de 84% y 95% para T3 y T5 respectivamente, con respecto a la concentración residual de AMPA de T1 (Figura 4 y 5). Mientras que en el municipio de Papantla se observó menor AMPA residual en T3 y T5  $\geq 5 \text{ ug kg}^{-1}$ . Los municipios de Ixhuatlán y Álamo presentaron concentraciones por debajo del límite de cuantificación, de tal manera que se reportan como  $\geq 5 \text{ ug kg}^{-1}$  para todos los tiempos muestreados (T1, T3 y T5).



**Figura 4.** Concentración de AMPA en suelos ( $\text{ug kg}^{-1}$ ) de los 5 municipios muestreados en la zona citrícola del estado de Veracruz, en los diferentes tiempos que dejó de aplicarse glifosato: T1 = 1 año, T3 = 3 años y T5 = 5 años. Las barras indican error estándar y las letras mayúsculas indican comparaciones para una prueba de Kruskal-Wallis con  $p < 0.05$ .



**Figura 5.** Dispersigram de la concentración de AMPA encontrada en suelos ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) de los 5 municipios muestreados en la zona citrícola del estado de Veracruz, en los diferentes tiempos que dejó de aplicarse glifosato: T1 = 1 año, T3 = 3 años y T5 = 5 años, para las 20 muestras analizadas en cada parcela. En rojo (cruz) se muestra la media y la línea roja la mediana.

Grandcoin et al. (2017) indicó que en suelos agrícolas, el AMPA se concentra en la capa superior del suelo y se degrada lentamente en la mayoría de los suelos. Éste puede llegar a aguas subterráneas poco profundas, pero rara vez logra llegar a aguas subterráneas profundas. También postuló que el AMPA se absorbe fuertemente en las partículas del suelo y se mueve con las partículas en escorrentías de lluvia.

Por el contrario, Bergström et al (2011) encontraron correlaciones entre las tasas de degradación del AMPA y la cantidad de MO, observando una vida media de 35 días en la capa superior del suelo arcilloso y de unos pocos días en el subsuelo. Con respecto a los suelos francos en la superficie del suelo, Simonsen et al (2008) calcularon un DT50 de 32 días para AMPA. Zhang et al. (2015) observaron un DT50 de AMPA que oscilaba en días y, por último, Mamy et al. (2005) observaron un DT50 para AMPA entre 25 y 75 días.

Otham et al. (2021) observaron que el tiempo que el glifosato persiste en suelo es muy corto, solo de 7 días, con aplicaciones de 1 a 2 kg en cultivo de naranja. Los autores indicaron que a vida media ( $T/2$ ) de glifosato fue de 1.68 días y de pocos días en la superficie del suelo y sin diferencias significativas entre la vida media a tres profundidades (0,10 y 25 cm). Estos resultados mostraron que la disipación de glifosato en suelo ocurre rápidamente.

Coincidiendo con estos autores, los suelos de Veracruz de la zona citrícola muestreada son de tipo franco, limosos y arcillosos. Esto podría explicar por que se encontraron concentraciones a niveles de trazas de AMPA ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ).

## Contenido de Carbono orgánico

El mayor contenido de carbono orgánico se encontró en los municipios de Chicontepec (T1 y T3) y Papantla (T1), Tihuatlán (T1 y T5). Coincidentemente en los municipios de Chicontepec, en estas parcelas (T1 y T3) se encontró la mayor cantidad de AMPA y glifosato (T1), o Papantla (T1) (Tabla 1).

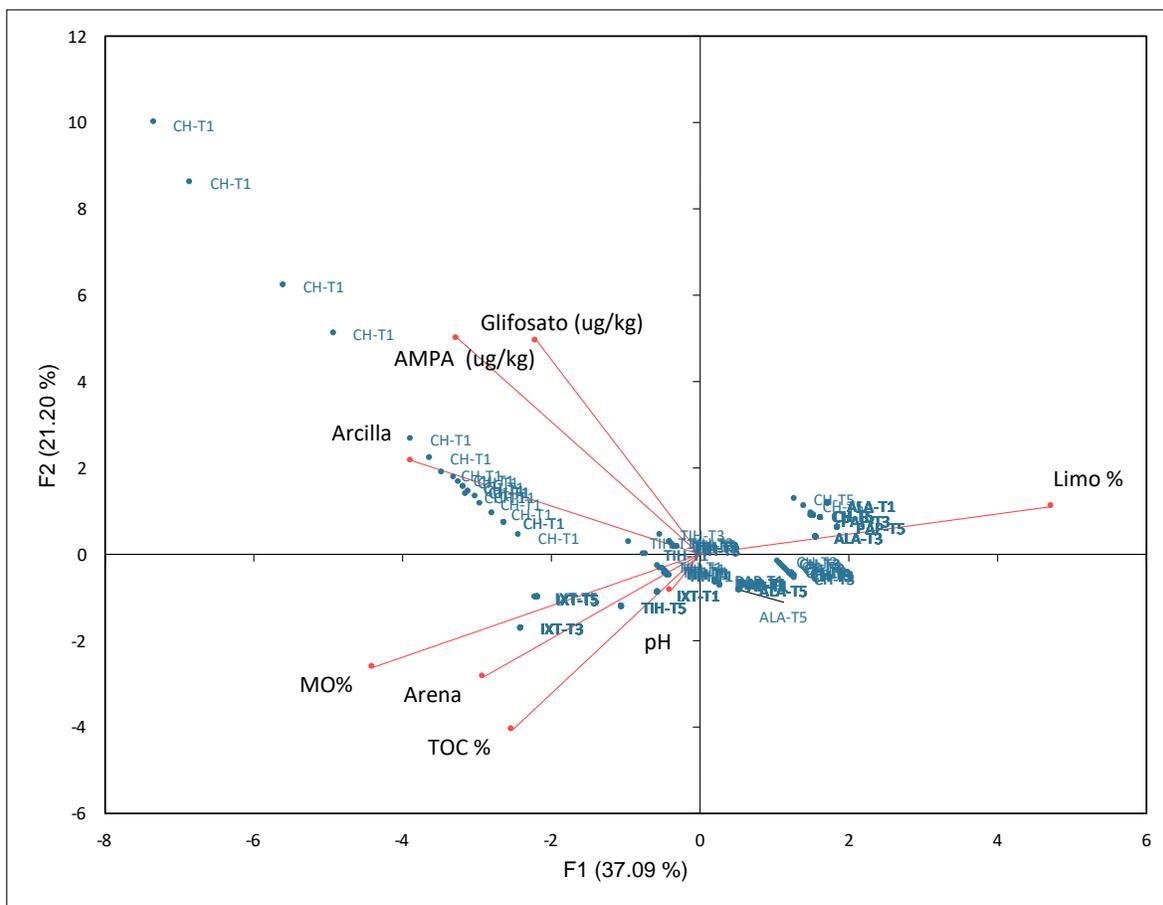
Es preciso declarar que el análisis de TOC no pudo realizarse completamente, quedando pendiente la determinación de este parámetro para los municipios de Álamo (T1, T3 y T5), y de Ixhuatlán (T3 y T5), esto debido a que el aire acondicionado del área donde está el equipo para determinar TOC falló, y por el cierre fiscal no se pudo reparar. La temperatura del ambiente es crucial para que el equipo logre estabilizarse y poder analizar las muestras.

**Tabla 1.** Contenido mínimo, máximo, medio y desviación del porcentaje de carbono orgánico (TOC%) en los suelos de Veracruz de los 5 municipios y parcelas muestreadas.

Sitio-Parcela	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Chicontepec-T1	2.302	6.026	3.370	0.935
Chicontepec-T3	2.669	4.939	3.753	0.582
Chicontepec-T5	1.192	2.123	1.630	0.282
Papantla-T1	3.271	6.717	4.501	0.805
Papantla-T3	2.060	3.363	2.743	0.280
Papantla-T5	0.999	6.007	2.968	0.995
Tihuatlán-T1	2.721	6.462	4.512	1.148
Tihuatlán-T3	1.998	5.561	3.652	0.800
Tihuatlán-T5	2.677	7.715	5.876	1.584
Ixhuatlán-T1	1.885	6.104	4.084	1.371
Ixhuatlán-T3	ND*	ND*	ND*	ND*
Ixhuatlán-T5	ND*	ND*	ND*	ND*
Álamo-T1	ND*	ND*	ND*	ND*
Álamo-T3	ND*	ND*	ND*	ND*
Álamo-T5	ND*	ND*	ND*	ND*

\*ND significa no determinado. Debido a que el aire acondicionado del área donde está el equipo para determinar TOC falló, y por el cierre fiscal no se pudo reparar.

Un análisis de componentes principales (ACP) mostró la correlación que se presenta con las variables de textura (limo, arena y arcillas), pH, materia orgánica (MO), carbono orgánico (TOC) y las concentraciones de glifosato y AMPA encontradas en los suelos de los 5 municipios. Este análisis indicó que existe una significativa correlación positiva con la cantidad de arcilla en los suelos, donde hubo mayor concentración de ambos compuestos. Y que los suelos con mayor contenido de arena, fue donde se encontró glifosato y AMPA en menor cantidad. Mientras que el pH no tuvo una marcada influencia (Figura 6). El análisis de APC explicó un 58.29% de la variabilidad de estos datos con los 2 componentes.



**Figura 6.** Análisis de APC con un 58.29% de la variabilidad de los datos. Correlacionando concentración de glifosato y AMPA con MO, arcilla, limo, arena, TOC y pH.

El análisis de correlación de Pearson se muestra en la tabla 2, donde se puede observar la correlación significativa en negritas para las variables, observando que el AMPA y Glifosato tuvieron una correlación positiva y significativamente mayor con el contenido de arcilla.

**Tabla 2.** Matriz de correlaciones de Pearson.

Variables	Glifosato (ug/kg)	AMPA (ug/kg)	TOC %	Arena%	Arcilla%	Limo %	MO%	pH
Glifosato (ug/kg)	1	<b>0.654</b>	-0.028	0.034	<b>0.256</b>	<b>-0.179</b>	0.080	0.004
AMPA (ug/kg)	<b>0.654</b>	1	-0.042	0.075	<b>0.560</b>	<b>-0.392</b>	<b>0.190</b>	-0.004
TOC %	-0.028	-0.042	1	<b>0.184</b>	<b>0.128</b>	<b>-0.235</b>	<b>0.663</b>	<b>0.319</b>
Arena %	0.034	0.075	<b>0.184</b>	1	-0.070	<b>-0.811</b>	<b>0.329</b>	<b>-0.198</b>
Arcilla %	<b>0.256</b>	<b>0.560</b>	<b>0.128</b>	-0.070	1	<b>-0.526</b>	<b>0.576</b>	<b>0.139</b>
Limo %	<b>-0.179</b>	<b>-0.392</b>	<b>-0.235</b>	<b>-0.811</b>	<b>-0.526</b>	1	<b>-0.619</b>	0.090
MO%	0.080	<b>0.190</b>	<b>0.663</b>	<b>0.329</b>	<b>0.576</b>	<b>-0.619</b>	1	0.093
pH	0.004	-0.004	<b>0.319</b>	<b>-0.198</b>	<b>0.139</b>	0.090	0.093	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0.05

Algunos reportes han demostrado que el glifosato y el AMPA se adsorben principalmente en partículas de arcilla y sus óxidos de hierro asociados (Bergström et al., 2011). La unión del glifosato al suelo se da por la fracción de ácido fosfónico que reacciona con cationes polivalentes adsorbidos en la arcilla y la materia orgánica del suelo (Piccolo et al., 1996). En particular, se ha demostrado que el glifosato se adhiere fuertemente a los suelos que contienen arcilla de tipo montmorillonita (Wang et al., 2019), aunque otras arcillas como kaolita, illita y bentonita también se han mencionado (Galicia-Andrés et al., 2020). Los estudios de dinámica molecular también han respaldado la adsorción de glifosato dentro de los espacios entre capas de minerales arcillosos, lo que indica una complejación por cationes liberados de las arcillas mediante una reacción de intercambio catiónico con protones en solución (Galicia-Andrés et al., 2020).

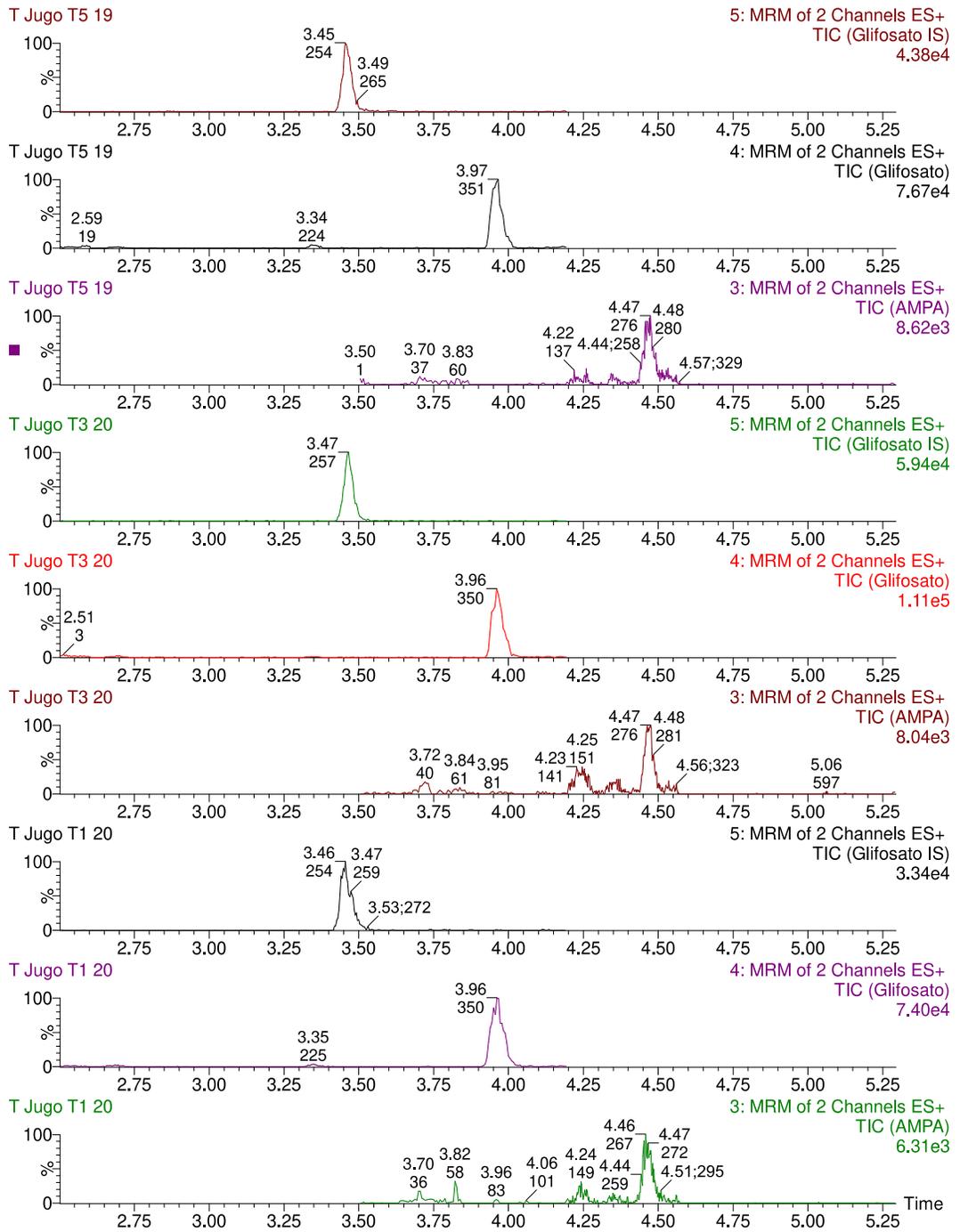
## 2) Jugo

Los TICs (corriente total de iones) obtenidos de las muestras analizadas para la determinación de glifosato y AMPA en el jugo se presentan en las figuras 7-11. El glifosato deuterado (IS) se detectó en el tiempo de retención (TR) de 3.45 min, y el AMPA se detectó a un TR 4.45 min en el jugo adicionado con el compuesto. En los TICs obtenidos de las muestras de jugo analizadas de las parcelas con los diferentes manejos agroecológicos no se encontró glifosato ni AMPA (Tabla 3) ya que no se detectaron picos a un tiempo de 3.43 y 4.45 minutos, tiempo en el que eluyeron dicho compuestos. Se considero el punto más bajo de la curva como límite de cuantificación el cual fue de  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

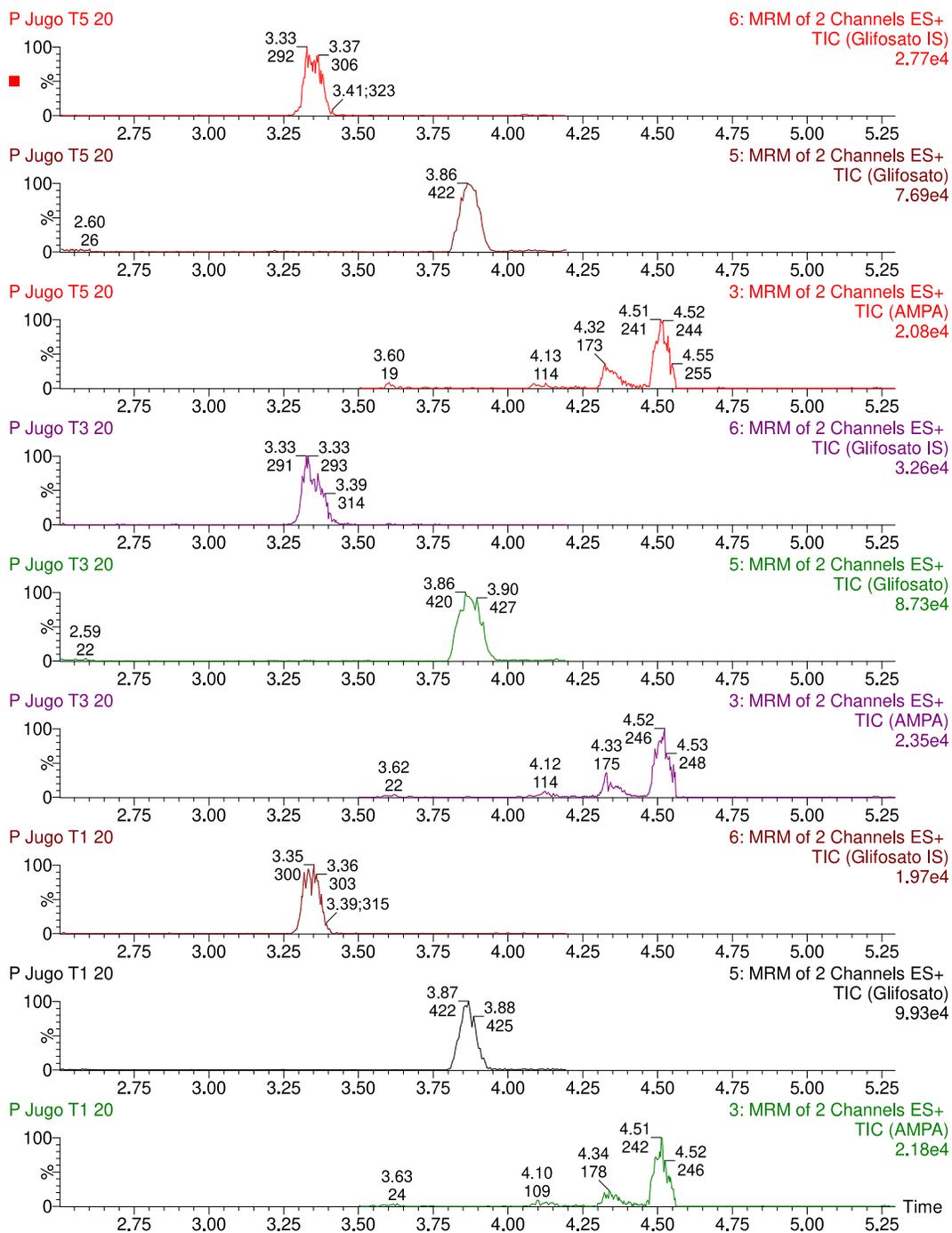
**Tabla 4.** Contenidos de glifosato y AMPA en jugo.

Parcelas	Glifosato				AMPA			
	Promedio	Mínimo	Máximo	Rango	Promedio	Mínimo	Máximo	Rango
Tihuatlán-T1	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Tihuatlán-T3	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Tihuatlán-T5	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Papantla-T1	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Papantla-T3	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Papantla-T5	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Chicontepec-T1	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Chicontepec-T3	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Chicontepec-T5	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Ixhuatlán-T1	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Ixhuatlán-T3	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Ixhuatlán-T5	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Álamo-T1	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Álamo-T3	ND	---	---	---	ND	---	---	---
Álamo-T5	ND	---	---	---	ND	---	---	---

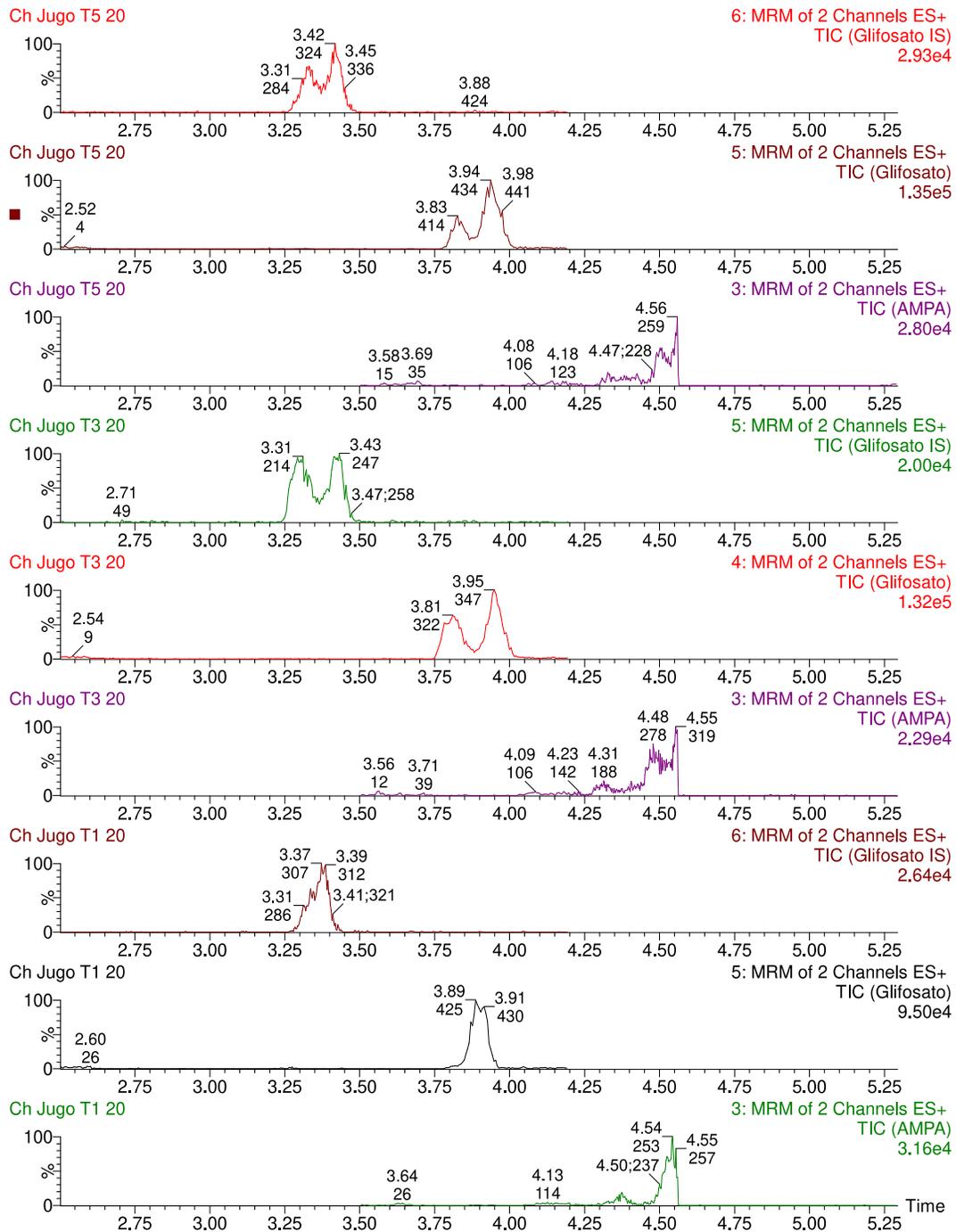
ND significa no detectado



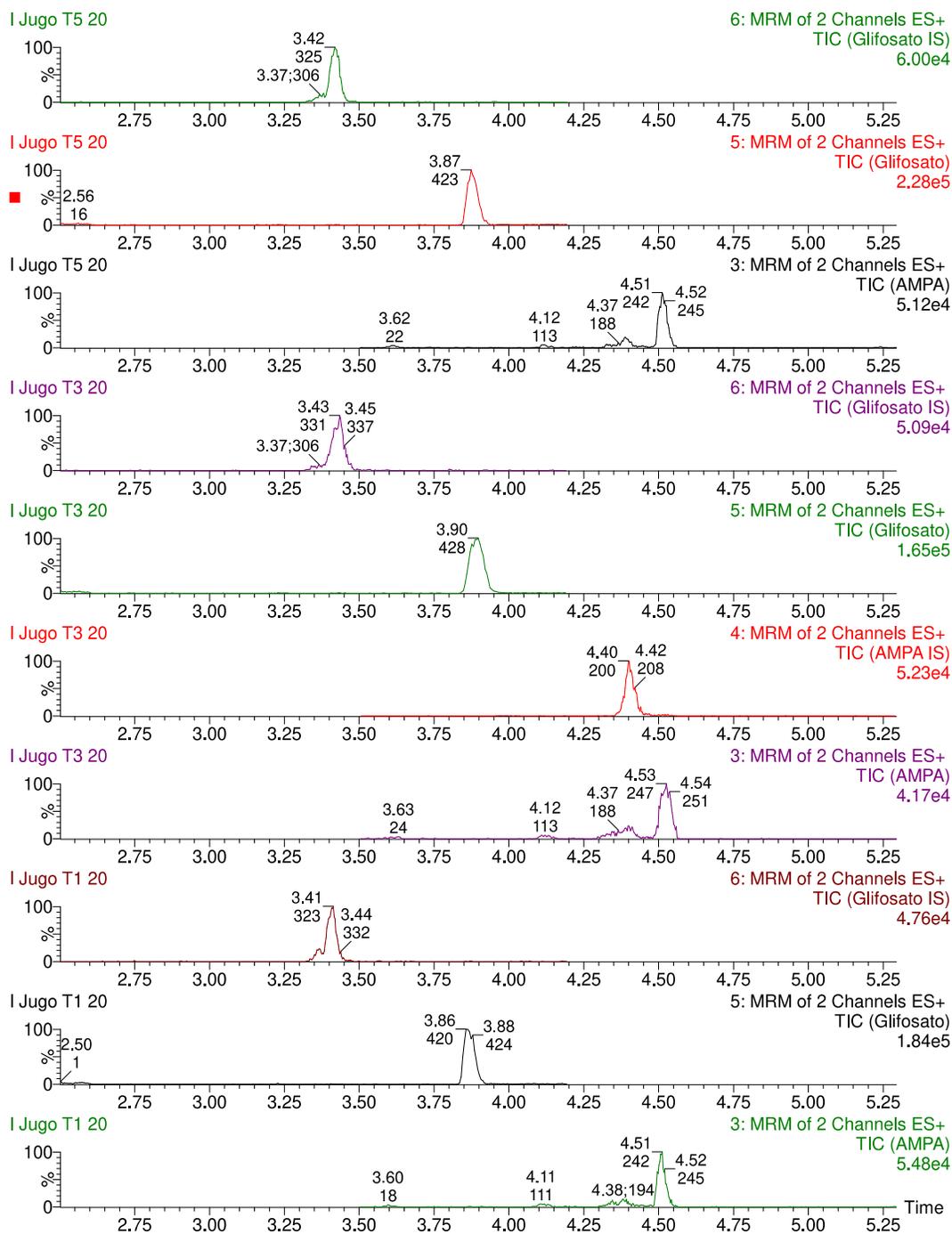
**Figura 7.** TICs (corriente total de iones) de las parcelas T5, T3 y T1 en el sitio de Tihuatlán (T) con estándar interno (IS) de glifosato, con glifosato o AMPA.



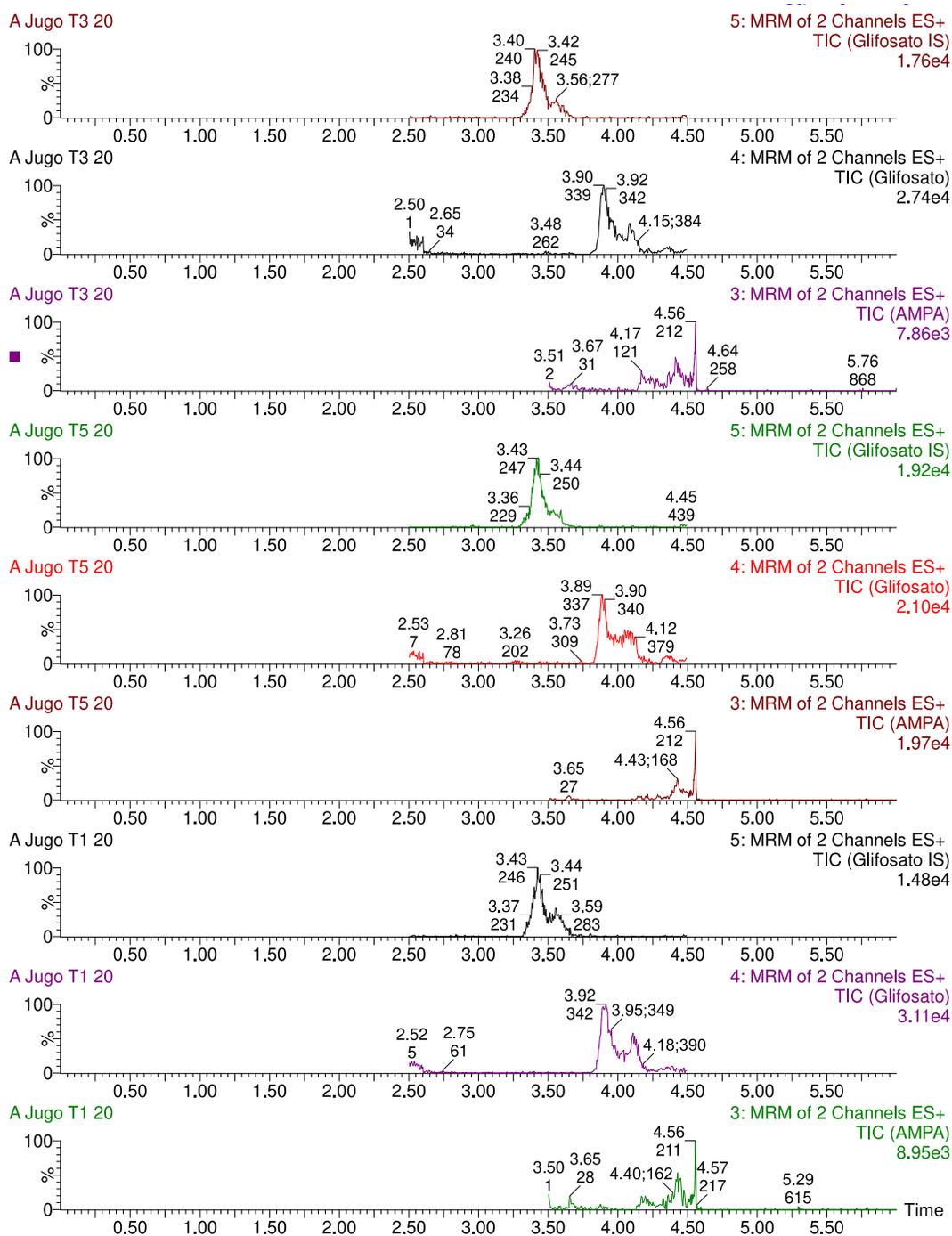
**Figura 8.** TICs (corriente total de iones) de las parcelas T5, T3 y T1 en el sitio de Papantla (P) con estándar interno (IS) de glifosato, con glifosato o AMPA.



**Figura 9.** TICs (corriente total de iones) de las parcelas T5, T3 y T1 en el sitio de Chicontepec (CH) con estándar interno (IS) de glifosato, con glifosato o AMPA.



**Figura 10.** TICs (corriente total de iones) de las parcelas T5, T3 y T1 en el sitio de Ixhuatlán (I) con estándar interno (IS) de glifosato, con glifosato o AMPA.



**Figura 11.** TICs (corriente total de iones) de las parcelas T5, T3 y T1 en el sitio de Álamo (A) con estándar interno (IS) de glifosato, con glifosato o AMPA.

## Referencias

- Bai, Y., Li, X. Q., Liu, W. X., Tao, S., Wang, L. G., & Wang, J. F. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbon (pah) concentrations in the dissolved, particulate, and sediment phases in the luan river watershed, china. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(4), 365-374. <https://doi.org/10.1080/10934520701795517>
- Bergström, L., Börjesson, E., & Stenström, J. (2011). Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay soil. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 98-108. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0179>
- Bergström, L., Börjesson, E., & Stenström, J. (2011). Laboratory and lysimeter studies of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a sand and a clay soil. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 98-108. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0179>
- Borggaard, O.K.; Gimsing, A.L. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: A review. *Pest Manag. Sci.* **2008**, 64, 441–456.
- Corrêa, L., Bezerra, A., Honorato, L., Cortez, A., Souza, J., & Souza, É. (2023). Amazonian soil fungi are efficient degraders of glyphosate herbicide; novel isolates of penicillium, aspergillus, and trichoderma. *Brazilian Journal of Biology*, 83. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.242830>
- Gairhe, B., Wen-wen, L., Batuman, O., Dittmar, P., Kadyampakeni, D., & Kanissery, R. (2021). Environmental fate and behavior of the herbicide glyphosate in sandy soils of florida under citrus production. *Frontiers in Environmental Chemistry*, 2. <https://doi.org/10.3389/fenvc.2021.737391>
- Galicia-Andrés, E., Tunega, D., Gerzabek, M. H., & Oostenbrink, C. (2020). On glyphosate–kaolinite surface interactions. a molecular dynamic study. *European Journal of Soil Science*, 72(3), 1231-1242. <https://doi.org/10.1111/ejss.12971>
- Ghafoor, A.; Jarvis, N.J.; Thierfelder, T.; Stenström, J. Measurements and modeling of pesticide persistence in soil at the catchment scale. *Sci. Total Environ.* **2011**, 409, 1900–1908
- Grandcoin, A., Piel, S., & Baurès, E. (2017). Aminomethylphosphonic acid (ampa) in natural waters: its sources, behavior and environmental fate. *Water Research*, 117, 187-197. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.055>
- Mamy, L., Barriuso, E., & Gabrielle, B. (2005). Environmental fate of herbicides trifluralin, metazachlor, metamitron and sulcotrione compared with that of glyphosate, a substitute broad spectrum herbicide for different glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, 61(9), 905-916. <https://doi.org/10.1002/ps.1108>
- Nguyen, N., Vo, V., & Nguyen, T. (2022). Isolation and optimization of a glyphosate-degrading rhodococcus soli g41 for bioremediation. *Archives of Microbiology*, 204(5). <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02875-0>
- Othman, A., El-Zemaity, M., El-Sayed, W., & Hanafi, A. (2021). Dissipation of glyphosate and glufosinate ammonium in soil and weed control in citrus orchards, under egyptian conditions. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 0(0), 0-0. <https://doi.org/10.21608/ajs.2021.91572.1407>
- Wang, M., Orr, A. A., He, S., Dalajamts, C., & Chiu, W. A. (2019). Montmorillonites can tightly bind glyphosate and paraquat reducing toxin exposures and toxicity. *ACS Omega*, 4(18), 17702-17713. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02051>
- Zhang, C., Hu, X., Luo, J., Wu, Z., Wang, L., Li, B., ... & Sun, G. (2015). Degradation dynamics of glyphosate in different types of citrus orchard soils in china. *Molecules*, 20(1), 1161-1175. <https://doi.org/10.3390/molecules20011161>