



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



**CRIA Oriente
Cadena de Maíz**

Evaluación de metodologías de extracción, para el análisis químico de suelos de los departamentos de Zacapa y Chiquimula en el Laboratorio de Suelos y Plantas de ICTA.

**Dra. María Antonieta Alfaro Villatoro
Ing. Carlos Esteban Monzón de Mata
Ing. Virginia Piril
Ing. Edin Saul Pérez Batz**

Guatemala, Agosto de 2019

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de sus autores y de la institución a la que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

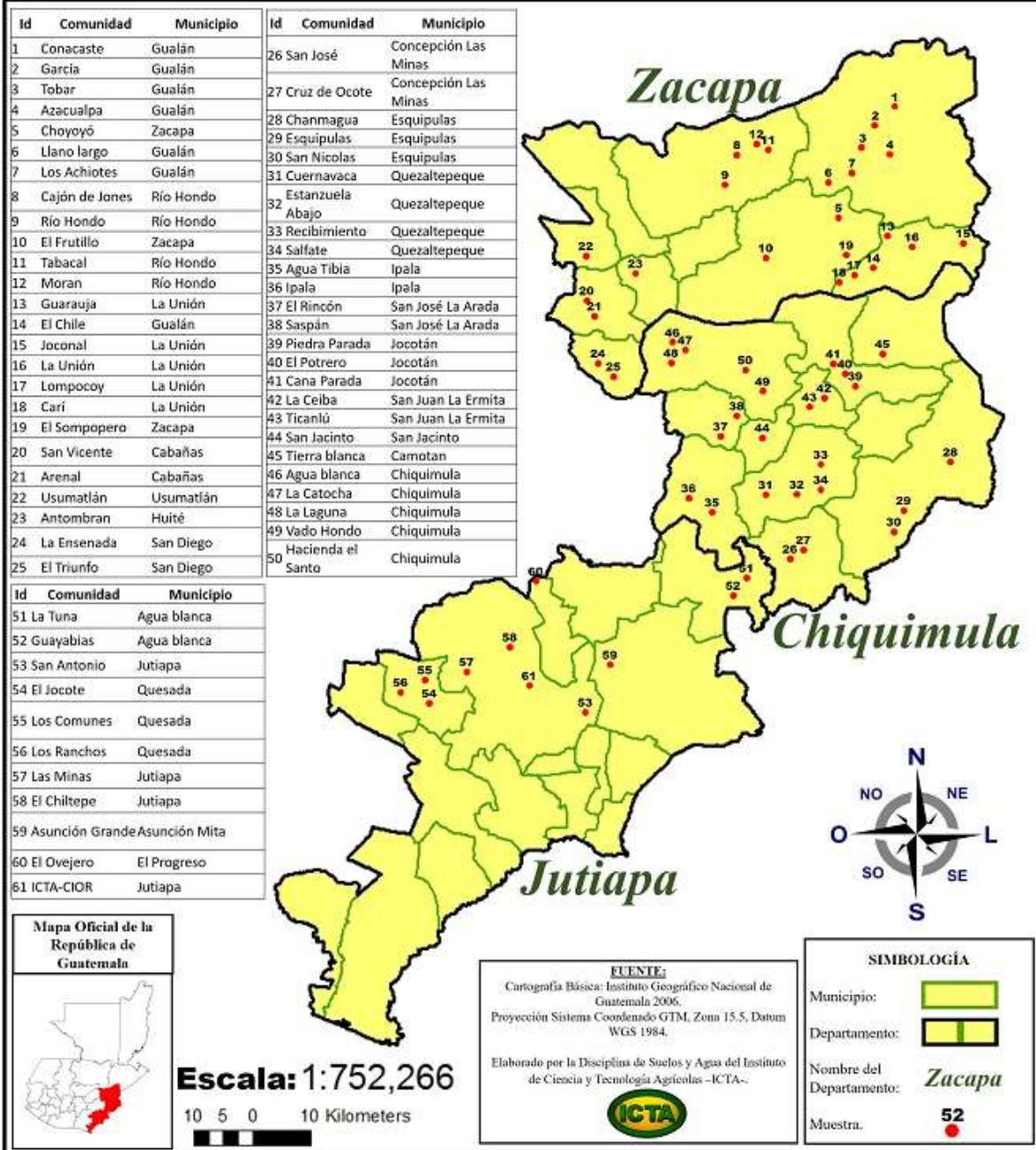
CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 JUSTIFICACIÓN.....	3
3 MARCO TEÓRICO	5
3.1 Calibración de una solución extractora.....	5
3.2 Estudios realizados en Guatemala	6
3.3 Soluciones extractoras	7
3.4 Suelos de la región oriental de Guatemala	8
4 OBJETIVOS.....	8
4.1 Objetivo general.....	8
4.2 Objetivos específicos	9
5 HIPÓTESIS	9
6 RESULTADOS ESPERADOS	9
7 METODOLOGÍA	9
7.1 Localidades	9
7.2 Muestreo y preparación de muestras	10
7.3 Fase de análisis	10
7.4 Fase de experimentación en invernadero.....	10
8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
8.1 Características de los suelos del departamento de Zacapa	11
8.2 Contenido de fósforo en los suelos de Zacapa.....	13
8.3 Características de los suelos del departamento de Chiquimula	15
8.4 Contenido de fósforo en los suelos de Chiquimula	17
8.5 Características de los Suelos del departamento de Jutiapa	18

8.6	Ensayos de invernadero	19
8.7	Primer ensayo	20
8.8	Segundo ensayo	22
8.9	Tercer ensayo	24
8.10	Calibración de los métodos de extracción para P del suelo.....	26
9	CONCLUSIONES.....	27
10	RECOMENDACIONES	27
11	REFERENCIAS	28
12	ANEXOS.....	30

“EVALUACIÓN DE TRES METODOLOGÍAS DE EXTRACCIÓN PARA EL ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS DE ZACAPA Y CHIQUMULA”..

Mapa de Ubicación de las Muestras extraídas de julio del 2018 a enero del 2019.



Evaluación de metodologías de extracción para el análisis químico de suelos de los departamentos de Chiquimula y Zacapa en el Laboratorio de Suelos y Plantas de ICTA

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar soluciones extractoras para el análisis químico de suelos dedicados al cultivo de maíz, en los departamentos de Zacapa y Chiquimula, para seleccionar una metodología apropiada para análisis de fósforo del suelo en esos departamentos. Se colectaron muestras de suelos en 25 localidades de cada departamento. Los suelos fueron tratados con soluciones Mehlich 1, Mehlich 3, Bray y Kurtz 1 y Olsen modificado para la determinación de fósforo disponible. Se analizaron las bases cambiables (K, Ca y Mg) con acetato de amonio (pH 7) y los micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) con solución DTPA. Se determinó pH en agua, materia orgánica y clase textural. Se realizaron experimentos en invernadero para medir la respuesta de plantas de maíz a la aplicación de fósforo, para ello se usó una concentración de 100 ppm de P, utilizando un diseño experimental completamente al azar con dos tratamientos (0 y 100 ppm de P) en tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron: contenido de P en el suelo (ppm) y rendimiento relativo de materia seca de maíz. Se realizaron análisis de correlación entre las variables y se estableció que valores de R^2 iguales o mayores a 0.8 serían aceptables para la determinación de niveles críticos. Los bajos coeficientes de correlación encontrados no permitieron alcanzar este objetivo. Se sugiere evaluar otras alternativas para la determinación de P, como el método de resinas de intercambio iónico u otro que se considere adecuado para suelos con alto contenido de bases cambiables.

Palabras clave: disponibilidad de fósforo, Olsen modificado, Bray y Kurtz 1, Mehlich 3.

Evaluation of extraction methods for the chemical analysis of soils from the departments of Chiquimula and Zacapa in the Plant and Soil Laboratory of ICTA

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate extractor solutions for chemical analysis of soils dedicated to maize cultivation in the departments of Zacapa and Chiquimula, to select an appropriate methodology for soil phosphorus analysis in these Departments. Soil samples were collected in 25 locations in each department. The soils were subjected to the extraction process with solutions Mehlich 1, Mehlich 3, Bray and Kurtz 1 and Olsen modified for determination of available phosphorus. Changeable bases (K, Ca and Mg) were analyzed with ammonium acetate (pH 7) and micronutrients (Cu, Fe, Mn and Zn) with DTPA solution. PH was determined in water, organic matter and textural class. Greenhouse experiments were conducted to measure the response of maize plants to phosphorus application using a 100 ppm P dose, using a completely random experimental design with two treatments (0 and 100 ppm of P) in three replications. The response variables were soil P content (ppm) and relative maize dry matter yield. Correlation analyses performed between the variables established that R^2 values were lesser than 0.8. The low correlation coefficients found did not achieve this goal. We suggest evaluating other alternatives for P-determination, such as the ion exchange resin method or another that were suitable for soils with high changeable base content.

Key Words: Phosporus availability, Olsen modified, Bray & Kurtz 1, Mehlich 3.

1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fertilidad del suelo se basa en gran medida, en los resultados del análisis químico de suelos, cuya interpretación es de primera importancia para definir las cantidades de nutrientes que han de ser suministradas a los cultivos, según su demanda. Al analizar químicamente un suelo es posible identificar los elementos nutritivos que podrían estar limitando el crecimiento de las plantas, ya sea porque se encuentran deficientes, en exceso o en una inadecuada proporción entre ellos, permitiendo la aplicación de una medida preventiva o correctiva, dependiendo de la situación del cultivo en el campo.

Los métodos para la determinación de nutrientes en el suelo se basan en la utilización de soluciones extractoras o en el uso de resinas de intercambio iónico. En Guatemala ha sido tradicional el empleo de la metodología doble ácido o Mehlich 1, la cual aún es utilizada en varios laboratorios. Otros laboratorios utilizan la solución Mehlich 3 para el análisis multi-elemental y apenas en uno es utilizada la solución Olsen Modificada para los elementos P y K, siendo los otros elementos determinados a través de diferentes metodologías. La solución de Mehlich 1 se menciona como una buena opción para suelos ácidos y contenidos bajos de materia orgánica, pero no aconsejable para suelos de origen calcáreo, lo que limitaría su eficiencia en algunos suelos de Guatemala, caracterizados por su amplia diversidad de origen y desarrollo evolutivo (Simmons, Tárano y Pinto, 1959).

Actualmente, con el desarrollo de equipos que permiten analizar varios elementos simultáneamente, está cobrando auge el uso de soluciones que permiten extraer varios elementos, ya que con ello se obtienen mayor eficiencia en el uso de los recursos. Sin embargo, es importante que dichos métodos sean debidamente correlacionados y calibrados con el rendimiento de plantas, ya que con este proceso se llegan a determinar los rangos de suficiencia y niveles críticos de los nutrientes, que son esenciales para la interpretación y cálculo de dosis de fertilizantes.

El estudio comprendió la calibración y correlación de las metodologías para el análisis de P del suelo y se compararon cuatro metodologías para la extracción de elementos del suelo, K, Ca y Mg, así como los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn, en suelos de los departamentos de Chiquimula y Zacapa.

2 JUSTIFICACIÓN

Entre las metodologías empleadas en Guatemala para el análisis químico de suelos predominan aquellas soluciones que incluyen soluciones extractoras de ácidos fuertes diluidas a baja concentración. Las soluciones extractoras tienen la desventaja de ser influenciadas por el pH de la solución y el pH del suelo; con ello no es posible obtener correlaciones adecuadas entre los resultados de extracción con diferentes metodologías (Chonay *et al.*, 2002). De igual manera, no todas las soluciones extractoras muestran una

correlación satisfactoria a nivel de campo, en los diversos tipos de suelo (Hunsaker-Alcántara *et al.*, 2010).

La solución extractora de Mehlich 1, fue calibrada en Guatemala para suelos ácidos y de baja fertilidad (Ramos, 2003), pero no se menciona adecuada para suelos con pH superior a 6.5, con capacidad de intercambio mayor a 10 meq/100 g y contenido de materia orgánica superior a 5 %, por su tendencia a extraer compuestos que no están disponibles a las plantas (Cajuste, 1986). El método de Mehlich 3 tiene la ventaja de permitir el análisis multielemental y funcionar en un rango de pH más amplio; se considera más eficaz que el método de Mehlich 1 en la predicción de la respuesta de los cultivos al P. El método Olsen modificado, es más recomendado para la extracción de P y K, para suelos de origen calcáreo (Ramos, 2003).

Hunsaker-Alcántara *et al.*, (2010) evaluaron varias alternativas al método de extracción Mehlich 1 para estimar la necesidad de fósforo en los suelos de Chiquimula y Alta Verapaz. En ese estudio se demostró que existen métodos más adecuados para predecir la respuesta del cultivo de maíz a la fertilización, entre ellos el método ACP (agua caliente presurizada) y Olsen. El primero con gran ventaja por su bajo costo y factibilidad de ser utilizado por los agricultores de pequeña escala. Otros métodos como Bray 1 y Mehlich 3 se presentaron medianamente adecuados, mientras que Mehlich 1 arrojó los resultados más pobres, por lo que los autores detectaron la necesidad de reemplazar esta metodología por otra más adecuada a las condiciones de las regiones en estudio.

Ante la diversidad de condiciones de suelo que existen en Guatemala y debido a que existen muy pocos estudios de correlación y calibración de metodologías para el oriente de la república y tomando como base los resultados presentados por Hunsaker-Alcántara *et al.* (2010), se planteó realizar este estudio comparativo entre cuatro metodologías de extracción para el análisis de fósforo: Mehlich 1, Mehlich 3, Bray y Kurtz 1 y Olsen Modificado.

La comparación de los valores obtenidos por los cuatro métodos y su relación con el rendimiento de los cultivos, permitiría comprobar si existe una metodología más adecuada a la tradicionalmente utilizada para la predicción de la fertilidad del suelo. De obtenerse resultados satisfactorios con alguna de ellas, se procedería a recomendar para el análisis de rutina de los suelos provenientes de la región de estudio.

Idealmente, el laboratorio de Análisis de Suelos del ICTA debe ser fortalecido en sus capacidades para convertirse en Laboratorio de Referencia, tomando en consideración que a nivel gubernamental éste es uno de los dos laboratorios de análisis de suelo existentes (ENCA e ICTA). Por otro lado, es de destacar la importancia del análisis químico de suelos en el desarrollo y evolución de la agricultura. Para tomar una idea, es de mencionar que en países tan pequeños como Holanda, se procesan alrededor de 300,000 muestras de suelo al año, mientras que en los Estados Unidos, se analizan alrededor de 5 millones de muestras anuales (Raj *et al.*, 2010). En Guatemala, no se ha enfatizado el uso de esta herramienta como un diagnóstico de fertilidad, lo que pone en desventaja al país en relación al uso y comercio de los fertilizantes químicos.

Se espera que durante el próximo período de gobierno, las autoridades reconozcan el valor práctico del análisis de suelo como herramienta de apoyo para mejorar la producción agrícola y con el apoyo financiero del Ministerio de Agricultura, se concrete el programa de fortalecimiento del laboratorio con personal, equipos, instrumentos y materiales de referencia para lograr una mejor calidad en los resultados. Ello permitirá avanzar en nuevas investigaciones relacionadas a los procedimientos de análisis, teniendo en cuenta que un cambio en la metodología de extracción actualmente utilizada, implica pruebas preliminares, entrenamiento de personal y calibración metodológica, todo lo cual ha justificado la presente investigación.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Calibración de una solución extractora

La correlación de los resultados del análisis de suelo con la respuesta de los cultivos a la fertilización se considera uno de los pasos más importante de los estudios de nutrición de plantas, ya que con ello es posible determinar el grado de deficiencia o suficiencia de un elemento en particular (Cabalceta y Molina, 2006).

El objetivo de una calibración es determinar el nivel crítico y el nivel de suficiencia de un nutriente obtenido con una metodología particular de análisis de suelo. El nivel crítico se define como el contenido del elemento en el suelo por debajo del cual existe una alta probabilidad de respuesta a la fertilización, mientras que el rango de suficiencia se refiere a un nivel por arriba del cual deja de haber respuesta al suministro del elemento (Sadeghian, 2010).

Bertsch, Bejarano y Corrales (2005) mencionan que las soluciones extractoras, para poder ser adoptadas como metodologías útiles, deben presentar ante todo, una correlación satisfactoria con el rendimiento de las plantas, de modo que concentraciones bajas de un elemento, extraídas con la solución, deben coincidir con rendimientos bajos y, concentraciones altas con rendimientos altos. Además, para hacer posible la interpretación del análisis debe contarse con niveles críticos, preferiblemente por grupo de suelos y por cultivo, que permitan indicar a partir de qué concentración el rendimiento ya no se ve modificado por la concentración de dicho elemento en el suelo. Vargas *et al.*, (1992) mencionan que conocer las cantidades de nutrientes extraídas por metodologías diferentes permite determinar el comportamiento de cada solución y conocer las semejanzas entre ellas, asimismo, proporciona un mayor criterio para evaluar el estado nutricional de los suelos.

En el invernadero los niveles críticos y rangos de suficiencia son fáciles de determinar, pero su interpolación e interpretación a las condiciones de campo es un tanto complicada por la multitud de factores que afectan la producción de plantas. Por ello, se recomienda

realizar estudios de campo que confirmen los resultados obtenidos en invernadero, por lo menos en 20 localidades diferentes (Sadeghian, 2010).

Según Zapata (1997), la calibración de resultados debe ser una práctica continua, pues a través de los años, se van realizando ajustes de acuerdo al uso del suelo y al alcance del método y esto es particularmente necesario en los cultivos perennes, en los cuales las necesidades de nutrientes van variando de acuerdo a la productividad esperada según la edad del cultivo.

Existen diferentes vías para calibrar los análisis de suelo pero todos ellos llevan a un punto en común, un diagrama de dispersión x-y que expresa la relación entre el rendimiento relativo del cultivo en función de la concentración del nutriente extraído del suelo. El siguiente paso consiste en escoger un modelo matemático que permita separar los datos en al menos dos poblaciones, una con bajo nivel del nutriente en el suelo por debajo del cual existe una alta probabilidad de obtener respuesta a su aplicación y otra con alto nivel de nutrientes en el suelo y baja o nula probabilidad de respuesta a su aplicación. La línea divisoria entre estas dos clases o categorías se conoce como el nivel crítico. En muchos casos es posible obtener tres clases de fertilidad del suelo: alto, medio y bajo, y en ocasiones hasta cinco, muy bajo, muy alto (Sadeghian, 2010).

Algunos modelos mediante los cuales se llega a un valor discreto de nivel crítico es el rectilíneo discontinuo (Cate y Nelson, 1971), lineal plateau (Nelson y Anderson, 1977) y cuadrático plateau (SAS Institute, 2008). Otros prefieren los modelos curvilíneos continuos como exponencial (Mitscherlich), inverso y cuadrático, en cuyos casos se selecciona un valor arbitrario del rendimiento relativo como nivel crítico o el punto de inflexión de la curva (Sadeghian, 2010).

3.2 Estudios realizados en Guatemala

Entre los estudios más actuales de correlación y calibración de metodologías destacan los trabajos efectuados por Chonay et al., (2002). Uno de ellos fue realizado en suelos de las tierras altas de Guatemala, comprendiendo los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Quiché, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa, en un total de 60 localidades. En este estudio se encontró que Mehlich 1 extrae P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, pero no Cu y Fe mientras que Mehlich 3 y Olsen Modificado extraen todos los nutrientes. Sugiere la utilización de acetato de amonio para la obtención de Ca y Mg, y para los micronutrientes la solución DTPA. Para los suelos de la pendiente volcánica del pacífico y suelos del Pacífico, los autores encontraron que Mehlich 1 y 3 no son capaces de extraer Cu y Fe y ninguna de las soluciones es capaz de determinar Zn en cantidades confiables. Estos autores determinaron los niveles críticos con las metodologías en estudio.

Otros estudios reportados por Chonay (2002) han sido conducidos a nivel de tesis entre los que destacan los efectuados por Palencia et al., (1974), Estrada (1973), Hurtarte (1984), Meneses (1986), Espinoza (1986), Marquez (1987), Yoc (1989), entre otros.

De introducción más reciente a Guatemala ha sido el empleo de resinas de intercambio iónico para el análisis de P y cationes intercambiables (Pérez *et al.*, 2012). Este método tiene la ventaja de ser independiente del pH y se supone que simula mejor la dinámica de absorción de P por las raíces de plantas (Van Raij, et al., 2009).

3.3 Soluciones extractoras

Solución extractora de Mehlich I: esta solución es llamada también de doble ácido o Carolina del Norte; está constituida por una mezcla de HCl 0.05 M y H₂SO₄ 0.0125 M. El empleo de esta solución como extractora de fósforo, potasio, sodio y micronutrientes del suelo, se basa en la solubilización de esos elementos por el efecto del pH entre 2 y 3, siendo el papel del Cl⁻ el de restringir el proceso de re adsorción de los fosfatos recién extraídos. Las ventajas de este método son la facilidad de obtención de extractos, bajo costo de análisis y simplicidad operacional (Da Silva, 1999).

Los extractores ácidos disuelven predominantemente el P ligado al Ca y cantidades menores de P ligado a Fe y Al, en virtud de las diferencias de solubilidad de esos fosfatos. Por extraer muy poco P ligado al Fe y Al, se obtiene comúnmente un valor bajo de P en suelos arcillosos que son fertilizados con fosfatos solubles en agua a lo largo de los años y que producen bien (Da Silva, 1999).

Solución extractora de Mehlich III:

La solución ácida con ion complejante más utilizada para la extracción de P es la mezcla de HCl con NH₄F, actuando el ion fluoruro más eficientemente en la formación de un fuerte complejo con iones Al⁺³, liberando así el fósforo ligado al metal. Los fosfatos de calcio son también extraídos por la precipitación del fluoruro de calcio. Por lo tanto, la solución Mehlich III, tiene su acción basada en la presencia del ion fluoruro y en el pH ácido. Este extractor ha sido adoptado por ser multielemental, después de que el espectrofotómetro ICP se volvió popular en los laboratorios de Estados Unidos. Esta solución está compuesta por ácido acético 0.2 N, nitrato de amonio 0.25 M, fluoruro de amonio 0.015 M, ácido nítrico 0.013 M y EDTA 0.001 M regulada a pH 2.5 (Da Silva, 1999).

Solución extractora de Olsen Modificada:

Esta solución está compuesta de NaHCO₃ 0.5 M, EDTA 0.01 M y 0.5 g de Superfloc 127 para 10 litros de solución. En suelos ácidos que contengan fosfatos ligados al Al y Fe, la concentración de fósforo en la solución incrementa conforme sube el pH. Reacciones de precipitación secundaria se reducen al mínimo, debido a que la concentración de Al, Ca y Fe, se mantienen a un bajo nivel (Ramos, 2003).

Solución extractora de Bray y Kurtz 1:

Este método conocido como Bray 1 se trata de una extracción con una solución mezcla de NH_4F 0,03N y HCl 0,025N, que se basa en el efecto solubilizador del H^+ sobre el P del suelo y la capacidad del ión F^- de bajar la actividad del Al^{+3} , evitando la re adsorción de los fosfatos en el sistema de extracción (Boschetti *et al.*, 2003). Ha sido utilizado para el análisis de P en suelos ácidos, sometidos a fertilización con roca fosfórica y abonos orgánicos (Sociedad Española de la Ciencia del Suelos, 1982).

3.4 Suelos de la región oriental de Guatemala

A pesar de su extensión relativamente pequeña, Guatemala se caracteriza por alta diversidad de zonas de vida y de características biofísicas que dan lugar a diversidad de tipos de suelos. Los suelos predominantes en los departamentos de Zacapa y Chiquimula son desarrollados sobre materiales volcánicos, sedimentarios y metamórficos. Existen también diversas clases misceláneas de terreno donde no domina ningún suelo y su uso agrícola es limitado (Simmons, 1959). Las áreas fértiles se localizan en la ribera de los ríos, riachuelos y quebradas. En un estudio realizado por Chacón (2014) se identificaron tres áreas productivas en el departamento de Chiquimula, las cuales están localizadas en los municipios de Chiquimula, San José La Arada, Ipala y Esquipulas, donde existe predominancia de suelos de los órdenes Entisol e Inceptisol, estos últimos representan el 72 % del área de estudio. Gregorio (2015) en un estudio de fertilidad de suelos en el departamento de Chiquimula, menciona que los suelos de los municipios de Chiquimula y Esquipulas son de baja y moderadamente baja fertilidad, mientras que en Ipala ésta se considera adecuada.

En los municipios de Camotán, Jocotan y Olopa se conoce que los suelos predominantes están localizados sobre relieves de muy inclinados a inclinados, drenaje excesivo, texturas de arcillosas a franco-arenosas, profundidades consideradas medianas entre los 30 a 50 cm, alto riesgo de erosión, pedregosidad y afloramiento de tobas y el potencial de fertilidad se ubica entre bajo a muy bajo (MAGA, 2001).

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar soluciones extractoras para el análisis químico de suelos dedicados al cultivo de maíz en los departamentos de Chiquimula y Zacapa, con el fin de seleccionar una metodología adecuada que correlacione adecuadamente el fósforo extraído del suelo con el rendimiento del cultivo.

4.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar una solución extractora para la determinación de los elementos disponibles (P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y Zn) en suelos de los departamentos de Chiquimula y Zacapa.
2. Determinar los niveles críticos y rangos de suficiencia de P para maíz, para cada solución extractora, a nivel de invernadero.

5 HIPÓTESIS

1. Al menos una solución extractora muestra alta correlación en la estimación de la fracción disponible de fósforo en suelos de los departamentos de Chiquimula y Zacapa.
2. Los niveles críticos de la fracción disponible de fósforo son diferentes para cada solución extractora.

6 RESULTADOS ESPERADOS

Al finalizar el proyecto se esperaba contar con:

1. Una solución extractora del P disponible del suelo que correlacione adecuadamente con el rendimiento de plantas.
2. Los niveles críticos y rangos de suficiencia de P para maíz, con la metodología seleccionada.
3. Una metodología de análisis de suelo, debidamente estandarizada y calibrada para las condiciones del Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de ICTA.

7 METODOLOGÍA

7.1 Localidades

Para definir las localidades de muestreo se recopiló información de las regiones fisiográficas, tomando como base los mapas geológicos, zonas de vida y cubierta vegetal, así como hojas cartográficas a escala 1:50,000. Con base en la información recabada, se seleccionaron dentro de los campos sembrados con maíz, 25 sitios en el departamento de Zacapa, y 25 en el departamento de Chiquimula. La ubicación de los sitios muestreados se presenta en el cuadro 1 y figura 1 del anexo. Adicionalmente, se tomaron 10 muestras de suelos volcánicos del departamento de Jutiapa, para fines comparativos.

7.2 Muestreo y preparación de muestras

El muestreo se realizó en el estrato 0 - 25 cm en las áreas geo-referenciadas. Se obtuvieron muestras de suelo compuestas de suelo las cuales, debidamente identificadas, fueron trasladadas al laboratorio de análisis de suelos y plantas del ICTA. Se colectaron alrededor de 45 kg para contar con suficiente material para estudios de invernadero. La preparación de las muestras consistió en el secado al aire y bajo sombra, homogenizado y tamizado a dos milímetros. Se colectó una muestra de 0.5 kg para el análisis químico. El suelo restante fue utilizado en ensayos de invernadero.

7.3 Fase de análisis

Las muestras fueron sometidas a extracción química según las metodologías de Mehlich 1, y Mehlich 3 (Mehlich 1953 y 1984, respectivamente), Olsen modificado (Olsen et al., 1954) y Bray y Kurtz 1 (Bray y Kurtz, 1945). En los extractos obtenidos se procedió a determinar P (espectrofotometría Uv-visible, fosfomolibdato de amonio), K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn (espectrofotometría de absorción atómica). Adicionalmente se determinaron las bases intercambiables con acetato de amonio a pH 7 y los elementos menores con DTPA. Además se determinó el pH en agua (Relación 1:10), la materia orgánica por el método de oxidación del dicromato de potasio y la clase textural por el método de Bouyoucos.

7.4 Fase de experimentación en invernadero

Luego de conocer el contenido nutrimental de los suelos, se establecieron experimentos en invernadero. Los experimentos tenían el objetivo de evaluar la respuesta de plantas de maíz a la aplicación de fósforo (rendimiento relativo de materia seca de maíz). Se realizaron tres experimentos en invernadero. En el primero y segundo experimento se evaluaron 25 suelos procedentes de Zacapa y Chiquimula. Para efectos comparativos se realizó un tercer experimento en el cual se evaluaron 10 suelos volcánicos del departamento de Jutiapa, considerando el diferente desarrollo geológico de estos suelos (Simmons, Tárano y Pinto, 1959).

El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos en tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0 y 100 ppm de fósforo, tres días antes de la siembra de maíz, en macetas conteniendo 1500 g de suelo, siendo cada maceta una unidad experimental. Se colocaron diez semillas por maceta. Después de la germinación se seleccionaron las seis mejores plántulas, eliminando las de menor desarrollo con el objeto de uniformizar la población. Todas las unidades experimentales recibieron una dosis de 100 ppm de nitrógeno aplicado a los siete días después de la germinación y los restantes nutrientes esenciales se aplicaron semanalmente con solución nutritiva. Las plantas fueron regadas cada dos días a efecto de no permitir más del 40 % de déficit de humedad. Se tomó como base de este estudio la técnica del elemento faltante (Diaz Romeu y Hunter, 1978).

La cosecha se realizó a los 40 días después de la siembra, cortando las plantas a ras del suelo. La biomasa obtenida se secó en un horno de convección a 65 °C, luego de lo cual se obtuvo el peso y se estimó el rendimiento relativo de materia seca de maíz, de cada unidad experimental.

La variable de respuesta, rendimiento relativo, se obtiene de la siguiente manera (Díaz Romeu y Hunter, 1978):

$$\% \text{ Rendimiento relativo} = \frac{\text{Peso seco sin nutriente}}{\text{Peso seco tratamiento completo}} \times 100$$

En caso de encontrar un buen nivel de correlación, los niveles críticos se estimarían a través de un gráfico (Cate y Nelson, 1965), en el eje Y la variable rendimiento relativo y en el eje X los resultados del fósforo extraído y determinado con cada solución evaluada. Posteriormente se utiliza la técnica gráfica en la cual se separan los suelos en dos grupos, ubicados en los cuadrantes positivos. El límite de separación de estos grupos marca el nivel crítico para el elemento en cuestión.

El análisis de los datos consistió en un análisis de correlación y obtención de coeficientes, tomándose como adecuados para determinar el nivel crítico de P, un coeficiente mínimo de correlación $R^2 = 0.80$. Además, se realizaron ecuaciones de regresión lineal para obtener la equivalencia entre una y otra solución extractora para los nutrientes analizados.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Características de los suelos del departamento de Zacapa

Se presenta la procedencia de 25 muestras de suelo colectadas en el departamento de Zacapa y se indican las características clase textural, contenido de materia orgánica, pH y bases cambiabiles extraídas con acetato de amonio a pH 7, analizados en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de ICTA (Cuadro 1).

El contenido de materia orgánica de estos suelos presenta niveles bajos, según el nivel recomendado en el Laboratorio de Suelos del ICTA. El valor mínimo fue de 0.3 % y el máximo de 4.8 %; eliminando estos valores extremos, se determinó un promedio de 2.1 % de materia orgánica. El pH del suelo varió entre 4.4 y 8.1. Los suelos de pH más bajos se encontraron en el municipio de La Unión, mientras que los suelos de pH más alto se encontraron en Cabañas y Huité. Los suelos de Río Hondo presentaron un carácter ácido, mientras que los de Gualán se encontraron en el rango de levemente ácidos o cercanos a la neutralidad.

En relación a las bases intercambiabiles, el potasio en los suelos varió en el rango de 1.2 a 4.1 meq/100 g, considerándose estos valores, indicadores de alto contenido de potasio en el suelo. Uno de los suelos muestreados del departamento de Zacapa se encontró bajo en

calcio (Río Hondo), ya que según Molina (2007) los valores de calcio en el suelo son bajos si contienen menos de 4 meq/100 g. Valores superiores a 6 meq/100 g, fueron encontrados en el 92 % de los suelos muestreados lo que evidencia condiciones óptimas de este nutriente. El magnesio se encontró en nivel medio en el 16 % de los suelos (entre 1 a 3 meq/100 g), mientras que el restante 84 % presentaron valores altos o muy altos de magnesio.

Cuadro 1. Principales características físicas y químicas de 25 suelos procedentes del departamento de Zacapa, Guatemala, 2019.

Procedencia	Municipio	Clase textural	Materia orgánica, %	pH	K	Ca	Mg
					meq/100 gramos		
Conacaste	Gualán	Franco arenoso	2.6	6.9	2.0	17.7	9.0
García	Gualán	Franco arcilloso	0.3	6.2	1.9	8.9	14.9
Tobar,	Gualán	Arena franca	1.1	6.3	1.8	6.1	2.5
Azacualpa	Gualán	Franco arenoso	1.5	7.2	2.2	6.3	4.7
Choyoyó	Zacapa	Franco arenoso	2.3	6.2	1.5	13.0	3.2
Llano Largo	Gualán	Franco arenoso	1.7	5.6	1.2	11.1	5.9
Los Achiotés	Gualán	Franco arcillo arenoso	2.3	7.2	2.4	31.6	7.9
Cajón de Jones	Río Hondo	Franco arenoso	1.1	5.9	1.7	17.0	13.5
Río Hondo	Río Hondo	Franco arenoso	2.4	5.7	1.2	3.8	14.0
El Frutillo, Zacapa	Zacapa	Franco arenoso	0.9	7.2	1.7	21.9	2.2
Tabacal	Río Hondo	Franco	2.9	5.2	1.8	8.9	6.9
Morán	Río Hondo	Franco arenoso	2.7	4.5	1.7	7.6	3.4
Guaraujá	La Unión	Franco arenoso	1.1	4.4	1.5	9.3	1.6
El Chile	La Unión	Franco arcillo arenoso	1.2	4.9	1.6	15.2	6.2
Joconal	La Unión	Arcilloso	4.8	4.4	2.6	4.2	1.3
La Unión	La Unión	Franco arcillo arenoso	3.1	6.2	3.2	17.7	1.9
Lompocoy	La Unión	Franco arenoso	2.8	4.5	1.5	8.0	3.4
Carí	La Unión	Franco arenoso	1.9	4.5	1.5	13.8	6.3
El Sompopero	Zacapa	Franco arenoso	2.9	4.4	1.4	9.8	3.8
San Vicente	Cabañas	Franco arenoso	2.1	8.1	1.3	21.6	7.9
Arenal	Cabañas	Franco arenoso	2.2	7.5	1.8	19.4	9.2
Usumatlán	Usumatlán	Franco arcillo arenoso	2.8	7.3	4.1	16.6	11.0
Antombrán	Huité	Franco arenoso	1.3	8.1	2.0	9.1	8.3
La Ensenada	San Diego	Franco arenoso	2.7	5.6	1.6	4.0	8.9
El Triunfo	San Diego	Franco arenoso	1.8	5.9	2.2	6.7	2.8

Fuente: Registros Laboratorio de suelos y agua, ICTA, 2019.

Al hacer la relación entre el contenido de bases del suelo y pH no se encontró una correlación adecuada entre éstos parámetros del suelo, ya que en algunos suelos con pH ácido (cercano o por debajo de 5) continuaron presentando buen contenido de calcio y magnesio (pH vs. Ca $R^2 = 0.2488$; pH vs. Mg $R^2 = 0.1143$; pH vs. K $R^2 = 0.0816$). Estos resultados contradicen lo observado por otros investigadores (Sadeghian, 2012) que mencionan que el pH del suelo presenta una relación con el contenido de Ca y Mg en el suelo, ya que estos elementos tienden a elevar el pH del suelo.

Tampoco existió correlación lineal satisfactoria entre el pH del suelo con el contenido de fósforo (pH vs. P Mehlich 1: $R^2 = 0.2709$; pH vs. P Mehlich 3: $R^2 = 0.1896$; pH vs. P Olsen modificado $R^2 = 0.04$; pH vs. P Bray y Kurtz $R^2 = 0.08$). Salazar Porras (2015) menciona que la extracción de estos nutrientes es independiente del pH del suelo, ya que no encontró una relación satisfactoria entre el pH del suelo y el fósforo o elementos menores, extraídos con Mehlich 3 y KCl-Olsen modificado.

El coeficiente de correlación lineal para el contenido de K, Ca y Mg extraído con cada solución extractora y la extracción con acetato de amonio (pH 7), se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación lineal para las variables K, Ca y Mg obtenidas con las soluciones extractoras y acetato de amonio a pH 7, en muestras de suelos procedentes del departamento de Zacapa, Guatemala, 2019.

Solución extractora	Acetato de Amonio (pH 7)		
	K	Ca	Mg
Mehlich 1	0.916	0.4123	0.7906
Mehlich 3	0.405	0.5724	0.7271
Bray y Kurtz 1	0.153	0.4718	0.5015

La correlación (Cuadro 2) es aceptable para el K y Mg entre Mehlich 1 y acetato de amonio mientras que para la solución Mehlich 3 solo se muestra una correlación adecuada con el magnesio del suelo. La solución de Bray y Kurtz no mostró correlación adecuada con ninguna de las bases extraídas con acetato de amonio.

Con relación a los micronutrientes de los suelos de Zacapa, únicamente se encontró correlación lineal positiva de cada solución con DTPA en los casos siguientes: Mehlich 1 vs. DTPA para Zinc ($R^2 = 0.86$); Mehlich 3 vs. DTPA para Cu ($R^2 = 0.636$) y Fe ($R^2 = 0.8336$), pero no adecuadamente para Mn ($R^2 = 0.416$). La solución extractora Bray y Kurtz correlacionó en bajo grado con DTPA para Fe ($R^2 = 0.5195$) y Mn ($R^2 = 0.6656$).

8.2 Contenido de fósforo en los suelos de Zacapa

Se presentan los resultados de fósforo extraído con las cuatro soluciones extractoras, así como el rendimiento relativo de materia seca (Cuadro 3). Las soluciones Mehlich 1 y Mehlich 3 extrajeron la mayor cantidad de fósforo (rango de 2 a 146 ppm para Mehlich 1 y de 11 a 134 ppm para Mehlich 3) mientras que los menores valores se obtuvieron a partir de la extracción con Olsen modificado (rango de 1 a 15 ppm). En la figura 2A del anexo se presentan en forma gráfica los resultados de P del suelo con las diferentes soluciones extractoras.

Cuadro 3. Contenido de P en los suelos y rendimiento relativo de materia seca de maíz, Zacapa, Guatemala, 2019.

Procedencia	P en suelo, ppm				% Rend.
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurts 1	Relativo
Conacaste, Gualán	39.0	17.0	4.0	9.0	51.61
García, Gualán	7.0	12.0	2.0	4.0	41.92
Tobar, Gualan	97.0	43.5	12.0	66.0	82.44
Azacualpa, Gualan	15.5	18.5	4.0	13.0	47.68
Choyoyó, Zacapa	11.5	12.5	3.0	6.0	43.57
Llano Largo, Gualán	33.0	23.0	7.0	19.0	57.77
Los Achiotos, Gualán	25.0	28.5	10.0	22.0	42.35
Cajón de Jones, Río Hondo	34.5	49.5	9.0	50.0	87.47
Río Hondo	7.5	11.5	6.0	4.0	34.23
El Frutillo, Zacapa	97.5	52.0	10.0	72.0	70.49
Tabacal, Río Hondo	10.0	15.0	7.0	8.0	45.51
Morán, Río Hondo	8.0	12.0	6.0	5.0	36.02
Guaraujá, La Unión	40.0	17.5	8.0	10.0	50.87
El Chile, Gualán	19.0	16.0	4.0	6.0	48.36
Joconal, La Unión	7.0	13.0	3.0	3.0	61.26
La Unión, La Unión	19.5	41.5	11.0	10.0	56.83
Lompocoy, La Unión	18.0	46.0	12.0	47.0	67.16
Cari, La Unión	42.5	54.0	15.0	40.0	68.08
El Sompopero, Zacapa	7.5	14.5	4.0	4.0	35.23
San Vicente Cabañas	58.0	29.5	3.0	10.5	47.92
Arenal Cabañas	15.0	31.0	2.0	8	34.00
Usumatlán, Usumatlán	146.5	134.5	10.0	72.5	40.63
Antombrán, Huité	122.0	118.5	7.0	51	72.09
La Ensenada San Diego	2.0	17.0	1.0	3	33.88
El Triunfo, San Diego	4.0	25.5	2.0	4.5	42.64

En los resultados presentados se marca una tendencia similar en la extracción de P con las soluciones extractoras Mehlich 1 y Mehlich 3, estableciéndose una correlación lineal simple ($R^2 = 0.7428$) (figura 1). Por el contrario, no se marca una correlación adecuada entre Mehlich 1 y Olsen modificado ($R^2 = 0.2119$), aunque fue medianamente adecuada entre Mehlich 1 y Bray y Kurtz 1 ($R^2 = 0.6775$).

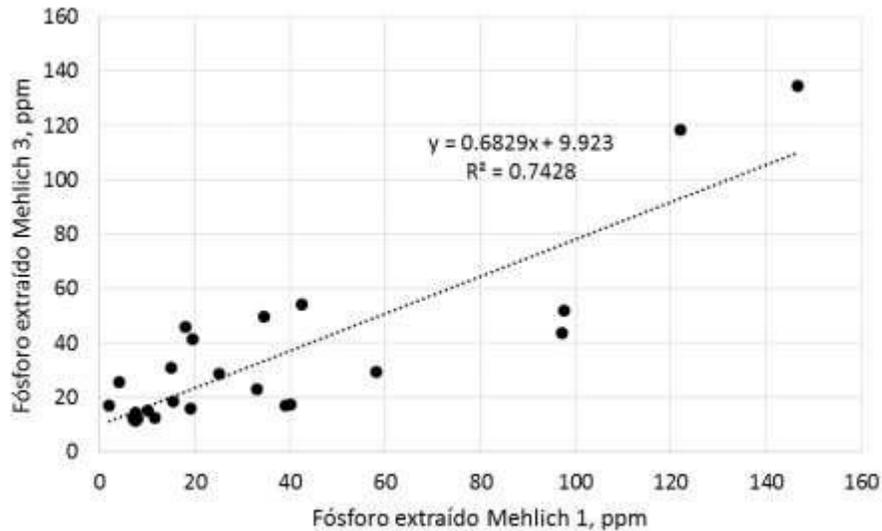


Figura 1. Relación entre fósforo extraído con las soluciones Mehlich 1 y Mehlich 3 en los suelos de Zacapa, Guatemala, 2019.

8.3 Características de los suelos del departamento de Chiquimula

Se presentan las características físicas y químicas de las muestras de suelo colectadas en el departamento de Chiquimula (Cuadro 4). En estos suelos el contenido de materia orgánica presentó un rango de 0.7 % y 5.5 %; con un promedio de 2.9 %. El pH del suelo varió entre 4.7 y 8.1. Los suelos de pH más ácidos se encontraron en el municipio de Esquipulas, mientras que el suelo más alcalino se encontró en Camotán. Suelos levemente ácidos se encontraron en Concepción las Minas y Quezaltepeque, mientras que suelos arriba de la neutralidad se encontraron en San Juan La Ermita y Chiquimula.

El contenido de K en los suelos muestreados es alto (arriba de 0.3 meq/100 g) y lo mismo puede decirse del calcio, a excepción de una muestra (Piedra Parada, Jocotán), donde se encontró un valor de calcio inferior a 2 meq/100 g; En general, se encontraron valores altos y muy altos de calcio (arriba de 12 meq/100 g). El magnesio se encontró en valores inferiores a 1 meq/100 g (bajos) en ocho de los 25 suelos muestreados mientras que en los restantes (68%) se encontraron valores medios a altos de magnesio (según el laboratorio de suelos del ICTA, los valores adecuados de magnesio varían entre 2 a 4 meq/100 g).

Cuadro 4. Principales características físicas y químicas de suelos de 25 suelos procedentes del departamento de Chiquimula, Guatemala, 2019.

Procedencia	Municipio	Clase textural	Materia orgánica, %	pH	K Ca Mg		
					meq/100 gramos		
San José	Concepción Las Minas	Franco arcillo arenoso	5.5	5.9	2.0	9.4	2.8
Cruz de Ocote	Concepción Las Minas	Franco arenoso	3.7	5.9	1.5	13.7	1.9
Chanmagua	Esquipulas	Franco arenoso	1.0	6.4	2.6	14.5	1.5
Esquipulas	Esquipulas	Franco arenoso	1.3	4.7	1.5	9.0	0.8
San Nicolás	Esquipulas	Franco arcillo arenoso	4.1	4.8	1.4	4.0	1.1
Cuernavaca	Quezaltepeque	Arcilloso	2.9	5.4	2.1	37.4	10.7
Estanzuela Abajo	Quezaltepeque	Franco arenoso	1.7	5.8	3.3	12.0	4.8
Recibimiento	Quezaltepeque	Franco arcillo arenoso	3.0	7.3	3.1	16.3	3.5
Salfate	Quezaltepeque	Franco arcillo arenoso	0.7	6.3	2.7	20.7	5.8
Agua Tibia	Ipala	Franco arcillo arenoso	2.0	5.5	2.4	12.1	4.3
Ipala	Ipala	Arcilloso	1.3	7.1	2.5	22.6	8.4
El Rincón	San José La Arada	Franco arcilloso	2.7	6.5	2.6	26.4	11.6
Saspán	San José La Arada	Franco arcillo arenoso	2.3	5.2	2.3	20.9	8.1
Piedra Parada	Jocotán	Franco arenoso	1.9	5.1	1.3	1.9	0.8
El Potrero	Jocotán	Arcilloso	2.7	7.3	1.1	15.2	0.3
Cana Parada	Jocotán	Franco arcilloso	4.6	7.8	1.0	37.5	1.4
La Ceiba	San Juan La Ermita	Franco	4.0	7.4	0.7	22.4	0.5
San Jacinto	San Jacinto	Franco	2.8	6.6	0.9	32.9	1.4
Ticanlí	San Juan La Ermita	Franco arcilloso	3.5	7.8	2.8	47.4	1.8
Tierra Blanca	Camotán	Franco arcilloso	4.5	8.1	0.4	43.1	0.2
Agua Blanca	Chiquimula	Franco	4.3	6.5	1.1	16.0	0.6
Hacienda El Santo	Chiquimula	Franco arenoso	2.5	7.9	2.0	51.9	1.4
Vado Hondo	Chiquimula	Franco	3.7	7.6	2.1	38.4	1.6
La Laguna	Chiquimula	Franco arenoso	2.9	7.3	0.7	24.1	0.6
La Catocha	Chiquimula	Franco arenoso	2.9	5.4	0.5	6.9	0.4

Las correlaciones encontradas entre el pH del suelo y los cationes cambiabiles del suelo extraído con acetato de amonio fueron, para pH vs K $R^2 = 0.009$; pH vs. Ca $R^2 = 0.52$ y para pH vs. Mg $R^2 = 0.04$.

A continuación se presentan los coeficientes de correlación lineal para el contenido de K, Ca y Mg extraído con cada solución extractora y la extracción con acetato de amonio a pH 7 (cuadro 5).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación para las variables K, Ca y Mg obtenidas con las soluciones extractoras y acetato de amonio a pH 7.

Solución extractora	Acetato de Amonio (pH 7)		
	K	Ca	Mg
Mehlich 1	0.6217	0.6092	0.4024
Mehlich 3	0.2268	0.1104	0.0645
Bray y Kurtz 1	0.7601	0.5406	0.8777

En este caso se destaca una correspondencia entre los métodos Bray y Kurtz 1 y acetato de amonio para potasio y magnesio. Sin embargo existe baja correlación entre Mehlich 1 y acetato de amonio y prácticamente sin correlación entre éste último método y Mehlich 3.

Para los micronutrientes se establecieron comparaciones entre los métodos de extracción. Los coeficientes de correlación lineal entre las diferentes soluciones extractoras solo se muestran adecuadas en los casos siguientes: Mehlich 3 vs. DTPA para Cu ($R^2 = 0.8433$), Zn ($R^2 = 0.7451$) y Fe (0.6719). Las correlaciones entre elementos obtenidos con Mehlich 1 y DTPA, así como Bray y Kurtz 1 y DTPA no fueron satisfactorias.

8.4 Contenido de fósforo en los suelos de Chiquimula

Los valores de extracción de fósforo con Mehlich 3 variaron en el rango de 6.5 a 343 ppm; con Mehlich 1 de 2 a 147 ppm; con Bray y Kurtz 1 entre 0 y 150 ppm, mientras que con Olsen modificado se encontraron los menores valores de P entre 1 a 15 ppm (Cuadro 6). En la figura 3A del anexo se presentan en forma gráfica estos resultados.

Cuadro 6. Contenido de P en los suelos procedentes de Chiquimula y rendimiento relativo de materia seca de maíz (% RR).

Procedencia	P en suelo, ppm				% Rend. Relativo
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurtz 1	
San José, Concepción Las Minas	6.0	25.0	2.0	6.0	34.2
Cruz de Ocote, Concepción Las Minas	11.5	30.5	4.0	12.0	51.4
Chanmagua, Esquipulas	68.5	100.0	8.0	44.0	82.1
Esquipulas, Esquipulas	17.5	80.5	7.0	32.0	50.2
San Nicolás, Esquipulas	26.0	121.5	14.0	60.0	63.2
Cuernavaca, Quezaltepeque	3.0	27.0	2.0	4.0	32.4
Estanzuela Abajo, Quezaltepeque	15.5	40.0	4.0	20.5	45.1
Recibimiento, Quezaltepeque	113.5	175.5	18.0	73.0	73.2
Salfate, Quezaltepeque	9.0	37.0	3.0	13.5	29.2
Agua Tibia, Ipala	3.5	18.0	2.0	5.0	29.6
Ipala, Ipala	31.5	122.0	16.0	56.5	79.3
El Rincón, San José La Arada	91.5	92.0	8.0	34.5	57.5
Saspán, San José La Arada	215.5	286.0	41.0	150.0	69.7
Piedra Parada, Jocotán	3.5	27.0	2.0	8.5	43.7
El Potrero, Jocotán	31.0	26.5	6.0	8.0	40.9
Cana Parada, Jocotán	16.5	140.5	21	25.5	72.6
La Ceiba; San Juan La Ermita	41.5	94.5	12	30.0	82.0
San Jacinto	182.5	31.5	4	6.0	45.4
San Juan La Ermita, Ticanlú	17.5	77.5	7	18.0	52.1
Tierra Blanca, Camotán	2.0	6.5	3	0.0	32.5
Agua Blanca, Chiquimula	17.5	68.0	8	19.0	59.7
Hacienda El Santo, Chiquimula	237.5	343.5	16	75.5	96.7
Vado Hondo, Chiquimula	185.0	116.5	14	25.0	80.3
La Laguna, Chiquimula	20.5	115.0	3	20.0	97.3
La Catocha, Chiquimula	8.5	280.0	4	10.5	85.9

La mayor extracción de fósforo con las soluciones Mehlich 1 y Mehlich 3 puede ser atribuida a la naturaleza ácida de las soluciones al favorecer la disolución de los fosfatos de

calcio presentes en los suelos. Esta situación se refleja en altas cantidades de P que no necesariamente están disponibles para la absorción de plantas.

8.5 Características de los Suelos del departamento de Jutiapa

A modo de comparación se presentan resultados obtenidos con muestras de suelo de origen volcánico (Simmons et al., 1959) colectadas en el departamento de Jutiapa y se indican las características: clase textural, contenido de materia orgánica, pH y bases cambiables extraídas con acetato de amonio a pH 7 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Principales características físicas y químicas de diez suelos procedentes del departamento de Jutiapa, Guatemala, 2019.

Procedencia	Municipio	Clase textural	Materia orgánica, %	pH	K	Ca	Mg
					meq/100 gramos		
La Tuna	Agua Blanca	Franco arcilloso	3.3	5.2	0.7	7.9	0.4
Guayabias	Agua Blanca	Franco arcilloso	4.1	5.4	1.9	19.6	2.0
San Antonio	Jutiapa	Franco arenoso	2.7	6.5	0.8	20.3	0.9
El Jocote	Quezada	Franco arcilloso	2.9	5.4	1.3	12.0	0.9
Los Comunes	Quezada	Franco	2.1	5.3	0.5	7.4	0.4
Los Ranchos	Quezada	Franco arenoso	1.4	5.5	0.7	7.6	0.5
Las Minas	Jutiapa	Franco arcilloso	2.2	5.6	0.8	7.0	0.4
El Chiltepa	Jutiapa	Franco	2.0	6.0	0.9	10.7	0.8
ICTA, CIOR	Jutiapa	Franco	2.1	6.7	1.3	16.1	0.6
Asunción Grande	Asunción Mita	Franco arcilloso	5.2	6.2	1.1	9.5	0.6

Fuente: Registros Laboratorio de análisis de suelos y agua, ICTA, 2019.

El contenido de materia orgánica de los suelos de Jutiapa se presentó en el rango de 2 % a 5.2 %; con un promedio de 2.8 % de materia orgánica. El pH del suelo varió entre 5.2 y 7. Los suelos de pH más ácidos se encontraron en los municipios de Agua Blanca y Quezada. Se encontraron valores altos de potasio y calcio para los diez suelos muestreados, mientras que el magnesio se encontró en deficiencia (menor a 1 meq/100 g) en el 90 % de los suelos analizados.

No se encontró una correlación entre el pH del suelo y los cationes cambiables del suelo extraído con acetato de amonio, como tampoco con el P del suelo y micronutrientes obtenido con cualquiera de las soluciones extractoras evaluadas.

Para los micronutrientes, las correlaciones entre soluciones extractoras fueron las siguientes: Mehlich 1 vrs DTPA para zinc ($R^2 = 0.9595$) y Manganese (0.7137), mientras que para Mehlich 3 vrs DTPA se determinó para Cu ($R^2 = 0.6701$), Zn ($R^2 = 0.9585$) y Fe (0.5507).

Para el caso de fósforo, se determinaron los valores más altos con la solución Mehlich 3, variando en el rango de 9 a 215 ppm, mientras que con Olsen modificado se obtuvieron los

menores valores de P (entre 0.1 a 19 ppm) (Cuadro 8). En la figura 4A del anexo se presentan en forma gráfica estos resultados.

Cuadro 8. Contenido de P en los suelos procedentes de Jutiapa y rendimiento relativo de materia seca de maíz (% RR)

Procedencia	P en suelo, ppm				% RR
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurts 1	
La Tuna, Agua Blanca	2.0	9.0	0.1	0.1	23.0
Guayabias, Agua Blanca	4.0	35.0	6	0.1	38.3
San Antonio, Jutiapa	40.0	95.5	11	25.5	71.8
El Jocote, Quezada	5.0	25.5	3	0.0	54.3
Los Comunes, Quezada	9.0	56.0	8	7.0	52.0
Los Ranchos, Quezada	10.5	55.0	4	10.5	36.8
Las Minas, Jutiapa	7.5	68.0	7	2.5	43.7
El Chiltepa, Jutiapa	73.5	169.5	13	52.5	69.3
ICTA, CIOR, Jutiapa	139.0	215.0	19	46.5	80.4
Asunción Grande, A. Mita	0.1	14.0	1	0.1	42.6

Se muestran los coeficientes de correlación entre los resultados de P en el suelo obtenido con las diferentes metodologías (Cuadro 9) y de estos valores se asume que existe una buena correspondencia entre el fósforo extraído con Mehlich 1 o Mehlich 3 por lo que pueden ser utilizados indistintamente para estos suelos como también entre Mehlich 3 y Olsen modificado. Por ello se asume que estos métodos podrían ser adecuados para explicar la disponibilidad de P en los suelos de origen volcánico de Jutiapa, previa calibración.

Cuadro 9. Correlación entre los cuatro métodos evaluados.

	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen modificado	Bray y Kurtz 1
Mehlich 1	1	0.9203	0.8286	0.8122
Mehlich 3		1	0.918	0.9024
Olsen modificado			1	0.7578
Bray y Kurtz 1				1

8.6 Ensayos de invernadero

Se establecieron tres ensayos en invernadero para determinar la correlación entre el valor del fósforo extraído con cada solución extractora y el porcentaje de rendimiento relativo de materia seca de maíz. El primer ensayo se realizó incluyendo los 25 suelos procedentes del departamento de Zacapa; en el segundo ensayo se incluyeron 25 suelos procedentes de Chiquimula y el tercer ensayo se realizó con 10 suelos procedentes del departamento de Jutiapa, para evaluar el comportamiento de suelos de origen volcánico y compararlo con los resultados obtenidos en los dos primeros ensayos. Los resultados se analizaron por separado, debido a que los ensayos se establecieron en tiempos diferentes.

8.7 Primer ensayo

El modelo de correlación polinomial fue el que mejor explicó la relación entre los niveles de fósforo extraído y el rendimiento relativo de materia seca de maíz (ecuación cuadrática). Los coeficientes de correlación de este análisis están muy debajo del valor establecido para la determinación de los niveles críticos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficiente de correlación entre los métodos evaluados y el porcentaje de rendimiento relativo de plantas con nivel de fertilización de 100 ppm en suelos provenientes de Zacapa.

Nivel de P aplicado, ppm	Método de extracción			
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurtz 1
100	0.4688	0.5606	0.369	0.5897

A continuación se muestran las líneas de tendencia y ecuaciones que explican el comportamiento de cada solución extractora en relación al P extraído y rendimiento de plantas.

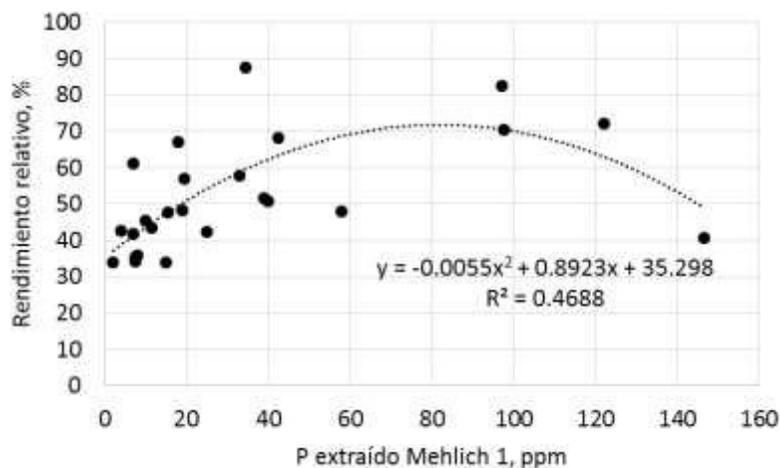


Figura 2. Correlación entre P extraído con Mehlich 1 y rendimiento relativo de materia seca de maíz en suelos del departamento de Zacapa.

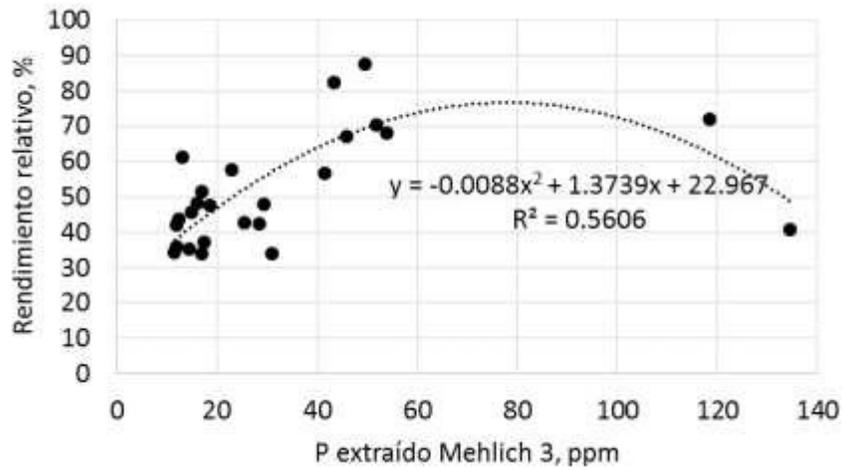


Figura 3. Correlación entre P extraído con Mehlich 3 y rendimiento relativo de materia seca de maíz en suelos provenientes del departamento de Zacapa.

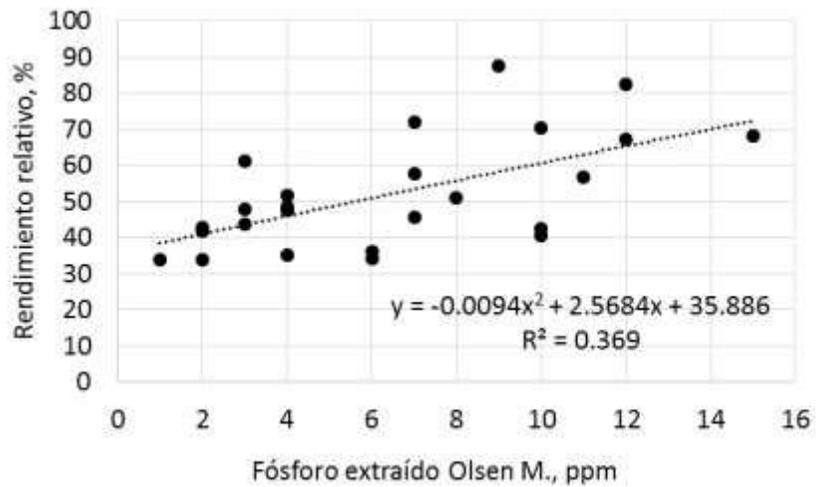


Figura 4. Correlación entre P extraído con Olsen modificado y rendimiento relativo de maíz en suelos del departamento de Zacapa, Guatemala, 2019.

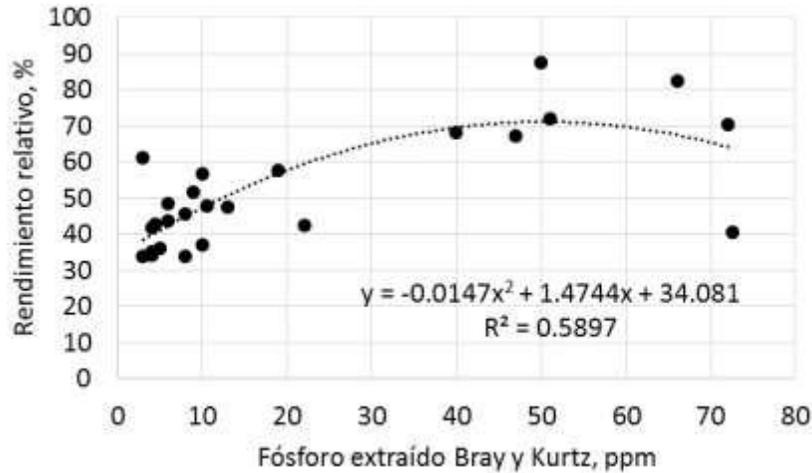


Figura 5. Correlación entre P extraído con Bray y Kurtz 1 y rendimiento relativo de maíz en suelos provenientes del departamento de Zacapa.

En el caso de las soluciones extractoras ácidas Mehlich 1, Mehlich 3 y Bray y Kurtz 1 (pH 2, 2.5 y 2.6, respectivamente) la baja correlación obtenida sería explicada por el efecto del pH sobre la disolución de fosfatos de calcio que naturalmente serían encontrados en estos suelos, en consecuencia de su material de origen. Con el método de Olsen modificado que por el contrario, presenta un pH alcalino (pH 8.5) tampoco se obtuvo una buena correlación, a pesar de ser este método el indicado para la determinación de P en suelos ácidos y neutros.

8.8 Segundo ensayo

Se muestran los coeficientes de correlación entre los valores de fósforo obtenido con cada solución extractora y el porcentaje de rendimiento relativo obtenido con un nivel de fertilización de 100 ppm de fósforo en los suelos procedentes de Chiquimula.

Cuadro 11. Coeficiente de correlación entre los cuatro métodos evaluados y el porcentaje de rendimiento relativo de plantas con nivel de fertilización de 100 ppm en suelos procedentes de Chiquimula.

Nivel de P aplicado, ppm	Método de extracción			
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurtz 1
100	0.2521	0.7409	0.4164	0.4565

No se observa una adecuada correlación entre los métodos utilizados y el rendimiento de planta, a pesar de que la solución extractora Mehlich 3 presentó una mejor correlación entre las variables. Sin embargo, estos resultados no reflejan satisfactoriamente la disponibilidad del fósforo en los suelos de Chiquimula, debido a la alta presencia del calcio en el suelo.

A continuación se muestran las líneas de tendencia y ecuaciones que explican el comportamiento entre las variables (Figuras 6 a 9). De igual manera que con los suelos de Zacapa, se obtuvo mejor ajuste de los datos con el modelo de regresión cuadrática.

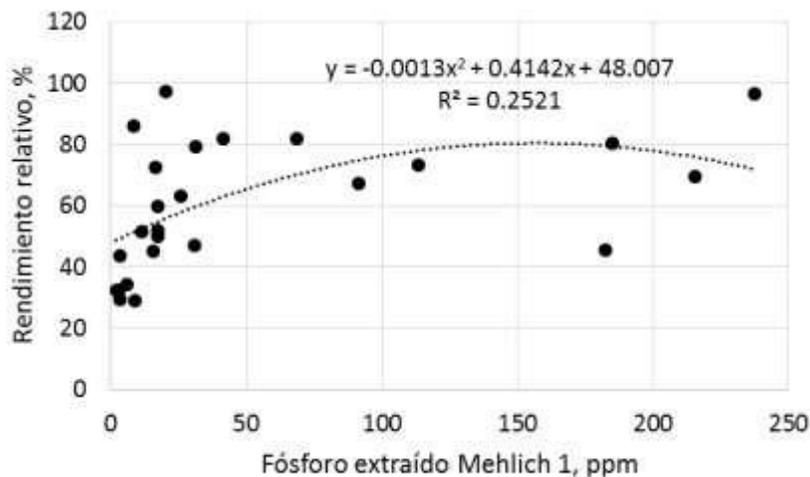


Figura 6. Correlación entre P extraído con Mehlich 1 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Chiquimula.

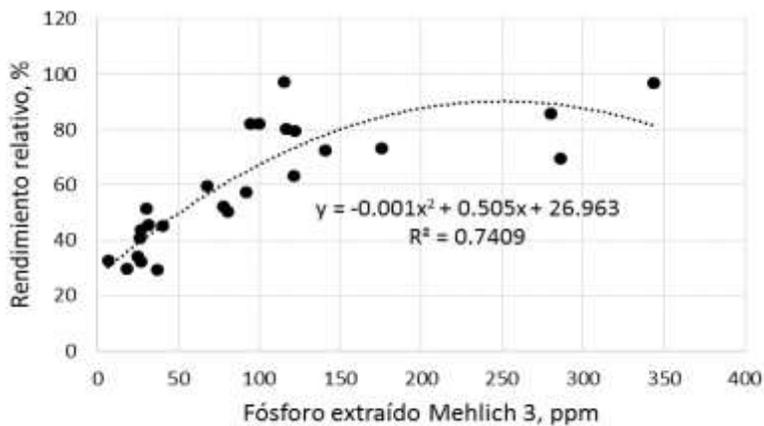


Figura 7. Correlación entre P extraído con Mehlich 3 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Chiquimula.

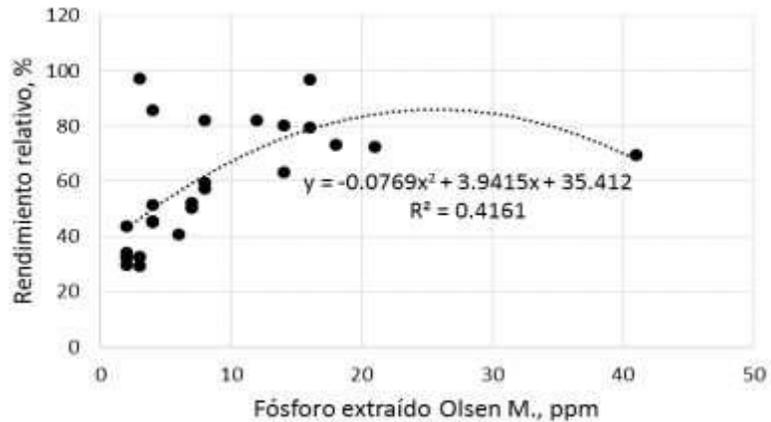


Figura 8. Correlación entre P extraído con Olsen modificado y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Chiquimula.

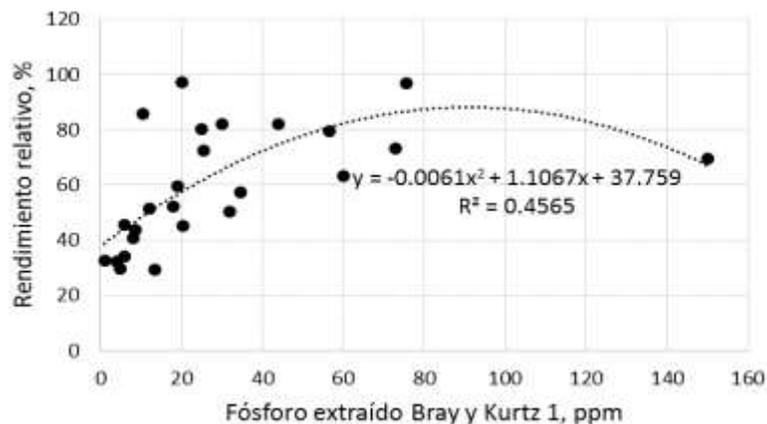


Figura 9. Correlación entre P extraído con Bray y Kurtz 1 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Chiquimula.

Según las tendencias mostradas, ninguna de las soluciones extractoras podría ser adecuada para medir la relación entre el P extraído del suelo y el rendimiento relativo de planta, tomando en consideración que ninguno de los coeficientes presenta un valor mínimo de 0.8, como se estableció en la metodología. Ello justifica que se continúe con la evaluación de métodos alternativos, uno de ellos podría ser la resina de intercambio iónico la cual no está sujeta al efecto del pH.

8.9 Tercer ensayo

Se muestran los coeficientes de correlación entre los valores de fósforo obtenido con cada solución extractora y el porcentaje de rendimiento relativo obtenido con un nivel de fertilización de 100 ppm de fósforo en los suelos provenientes de Jutiapa.

Cuadro 12. Coeficiente de correlación entre los cuatro métodos evaluados y el porcentaje de rendimiento relativo de plantas con nivel de fertilización de 100 ppm, procedentes de Jutiapa.

Nivel de P aplicado, ppm	Método de extracción			
	Mehlich 1	Mehlich 3	Olsen M	Bray y Kurtz 1
100	0.7562	0.7383	0.7283	0.6936

En las figuras 10 a 13 se muestran las líneas de tendencia y ecuaciones que explican el comportamiento de cada solución extractora en relación al P extraído de los suelos de Jutiapa y el rendimiento relativo de materia seca de maíz.

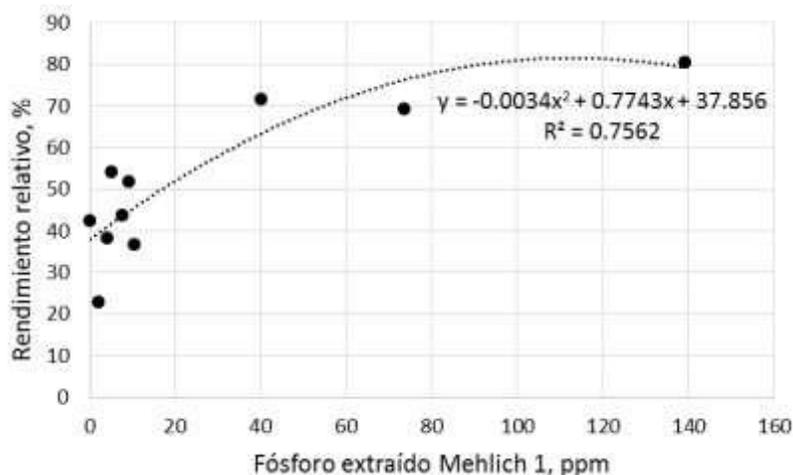


Figura 10. Correlación entre P extraído con Mehlich 1 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Jutiapa.

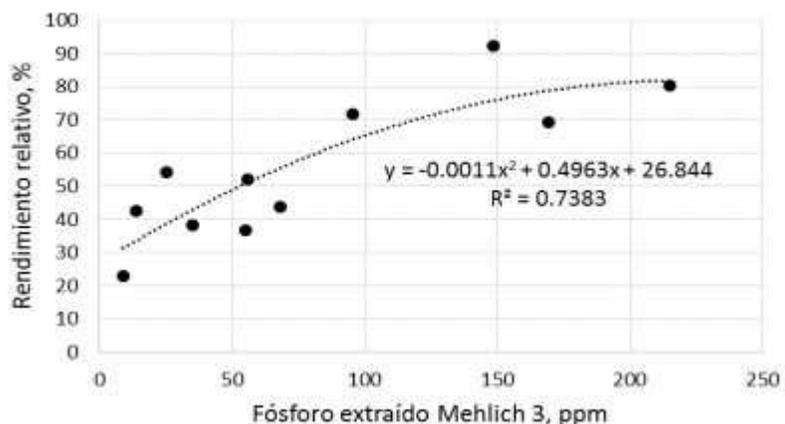


Figura 11. Correlación entre P extraído con Mehlich 3 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Jutiapa.

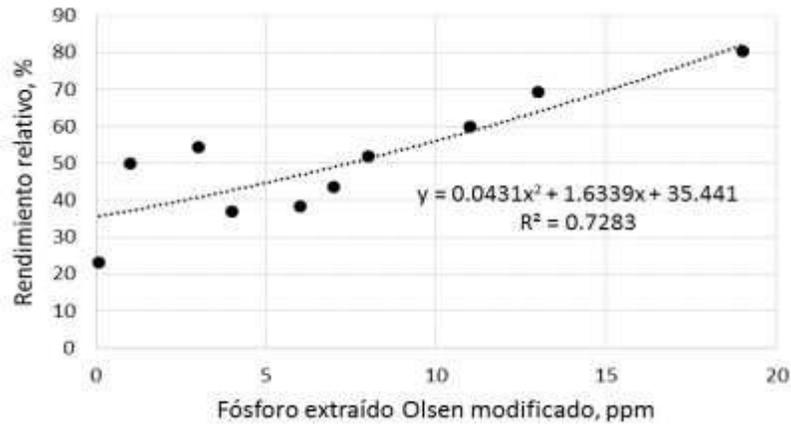


Figura 12. Correlación entre P extraído con Olsen modificado y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Jutiapa.

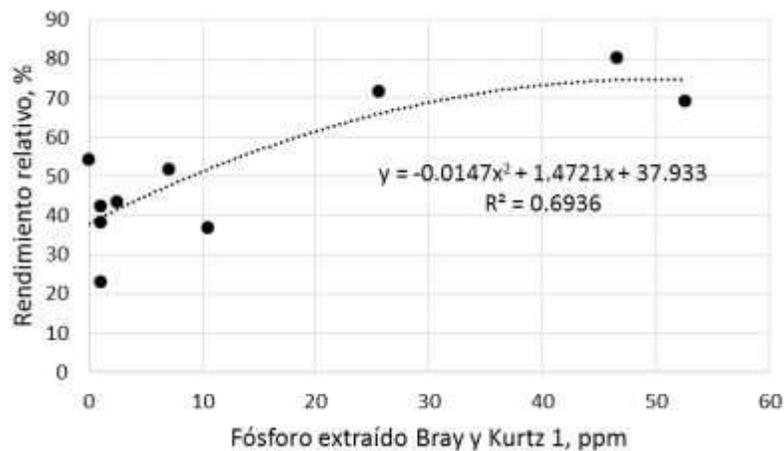


Figura 13. Correlación entre P extraído con Bray y Kurtz 1 y rendimiento relativo de materia seca de maíz, en los suelos de Jutiapa.

En las figuras anteriores se destaca que los suelos de Jutiapa muestran una correlación más adecuada entre las variables, particularmente con las soluciones extractoras ácidas, las cuales tienen una buena adecuación para el análisis de fósforo en los suelos volcánicos, como ha sido demostrado por varios autores (Chonay *et al.*, 2002; Ramos, 2003). En esta investigación es posible que el bajo número de muestras provenientes del departamento de Jutiapa no permitiera obtener coeficientes de correlación más elevados como fue observado por Ramos (2003) en los suelos volcánicos del altiplano occidental.

8.10 Calibración de los métodos de extracción para P del suelo

Calibrar un método de extracción para un nutriente en particular significa encontrar un valor de P extraído, abajo del cual las probabilidades de respuesta a las aplicaciones de fósforo son altas y arriba del cual, las probabilidades de respuesta sean bajas o mínimas.

Para ello, puede ser utilizado un método gráfico (Cate y Nelson, 1955), toda vez que se establezca una correlación adecuada entre el P extraído y el rendimiento relativo de plantas.

Para el caso de los suelos de Zacapa y Chiquimula, se comprobó que no existe una adecuada correlación entre el fósforo extraído por las metodologías evaluadas y el rendimiento de planta, lo que indica que las mismas no son adecuadas para conocer la disponibilidad de fósforo en el suelo, ya que cualquier cantidad de P extraída no se refleja en el rendimiento del cultivo. Husanker-Alcántara *et al.*, (2010) recomendaron como alternativa al método Mehlich 1 para los suelos de Chiquimula, el uso de agua caliente presurizada (ACP) para la extracción de P, no solo por la economía en reactivos sino porque reflejó mejor la disponibilidad de éste elemento en función del rendimiento de maíz.

Por otro lado, en relación al rendimiento relativo de plantas en estas localidades, los bajos porcentajes obtenidos en la mayoría de los suelos, indican que existe alta probabilidad de respuesta a la fertilización fosforada (valores bajos de rendimiento relativo). También es muy posible, que los bajos rendimientos de maíz obtenidos en este ensayo sean producto de limitaciones físicas y químicas relacionadas con algún grado de deterioro de los suelos, reflejado en el bajo contenido de materia orgánica de algunos de ellos.

9 CONCLUSIONES

Ninguna solución extractora evaluada explica la disponibilidad de fósforo en las muestras de suelo procedentes de los departamentos de Zacapa y Chiquimula.

Por los resultados obtenidos no fue posible obtener los niveles críticos y rangos de suficiencia de P con las soluciones evaluadas.

10 RECOMENDACIONES

Para suelos con alto contenido de calcio, por causa de su material de origen, se recomienda evaluar otras metodologías que no influyan sobre la solubilidad de compuestos fosforados del suelo o que hayan sido probados como adecuados para suelos con alto contenido de bases cambiables. Se sugiere evaluar el uso de resinas de intercambio iónico que actúan en forma independiente del pH.

Para los departamentos de Zacapa y Chiquimula, se recomienda utilizar con precaución los resultados de P disponible del suelo obtenidos con la solución extractora Mehlich 1 al momento de dar recomendaciones de fertilización fosforada.

Para los suelos de Jutiapa sería conveniente recolectar mayor cantidad de muestras, con el cuidado de seleccionar suelos de alta, baja y mediana fertilidad, con lo cual sería factible la obtención de niveles críticos representativos, utilizando las metodologías aquí evaluadas.

11 REFERENCIAS

- Bertsch, F; Bejarano, J; Corrales, M. (2005). Correlación entre las soluciones extractoras KCl-Olsen Modificado y Mehlich 3, usadas en los laboratorios de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(3): 137-142.
- Boschetti, G.; Quintero, C.; Díaz Zorita, M.; Barraco, M. (2003). Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 17.
- Cabalceta, G. y Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense*, 30(2): 31-41.
- Cajuste, L. (1986). *El fósforo aprovechable en los suelos*. México: Colegio de Postgraduados de Chapingo.
- Chacón Góngora, P. A. (2014). *Clasificación taxonómica de suelos en los valles de los municipios de Esquipulas, Ipala y Chiquimula, del departamento de Chiquimula, Guatemala*. (Tesis. Ing. Agrónomo en Sistemas de Producción). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Da Silva, F. C. (1999). Manual de análisis química de solos, plantas y fertilizantes. Brasilia, EMBRAPA.
- Chonay P., J. J. (2002). *Evaluación de soluciones extractoras en la fertilidad de los suelos para las regiones fisiográficas: llanura costera del Pacífico y pendiente volcánica reciente de Guatemala*. Guatemala, Proyecto Fodecyt-SENACYT.
- Díaz Romeu, R., Hunter A. (1978). *Metodología de muestreo de suelo, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación de invernadero*. Costa Rica: CATIE.
- Díaz-Zorita, C. y Barraco, M. (2003). *Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray*. Argentina: Informaciones Agronómicas del Cono Sur.
- Gregorio Calderón, M. R. (2015). *Estudio semi-detallado de la fertilidad de los suelos de tres valles productores de hortalizas del departamento de Chiquimula, Guatemala. 2013*. (Trabajo de Graduación) CUNORI, Chiquimula, Guatemala.
- Hunsaker-Alcântara, H. M., Von D. J. Web, B.L., Allen, P. S., Horrocks, R. D., Coronel, E.G. y Bueso C, M. L. (2010). Alternativas al método de extracción Mehlich-I para estimar la necesidad de P en suelos guatemaltecos. *Agronomía Tropical*, 60(3).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA. (2001). *Caracterización de los municipios de Camotán, Jocotan y Olopa y potencialidad para el desarrollo de cultivos*. Guatemala. 18 p.

- Molina, E. (2007). *Análisis de suelos y su interpretación*. Costa Rica: CIA-UCRAMino Grow International
- Ortiz Silla, R. (2015). Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. *Revista Eubacteria*:(34), 51 - 60.
- Pérez, O., Alfaro, M. A. Hernández, F., Barrios, K. (2013). Comparación de la resina de intercambio iónico con Mehlich 1 y Olsen modificado para determinar la disponibilidad de P en suelos cultivados con caña de azúcar en Guatemala. En: Memoria de Presentación de Resultados 2012-2013. Escuintla, Guatemala: Cengicaña.
- Ramos S., N. A. (2003). *Evaluación del fósforo extraído con dos soluciones extractoras en 19 suelos del altiplano occidental de Guatemala*. (Tesis Ing. Agrónomo). USAC, Guatemala.
- Raij, B. van; De Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (2001). *Análise Química Para Avaliação Da Fertilidade De Solos Tropicais*. Brasil: Instituto Agronômico de Campinas.
- Sadeghian K., S. (2010). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos, caso café. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Disponible en www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/07.Siavosh
- Salazar Porras, L. M. (2015). *Calibración de dos métodos de diagnóstico de la fertilidad de suelos cultivados con yuca (Manihot esculenta Crantz) en el trópico húmedo de Costa Rica*. (Trabajo de Graduación). Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos.
- Simmons, Ch. Tarano, J.M., Pinto, J. H. (1959). *Clasificación de Reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional. Servicio Cooperativo Inter-Americano de Agricultura. Ministerio de Agricultura.
- Vargas, M., Bertsch, F. Cordero A. (1992). Comparación de métodos de extracción de fósforo, potasio, calcio y magnesio disponible en Vertisoles de Guanacaste. Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 115-123.
- Zapata, R. (1997). *Fundamentos químicos para evaluar la fertilidad del suelo*. Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo.

12 ANEXOS

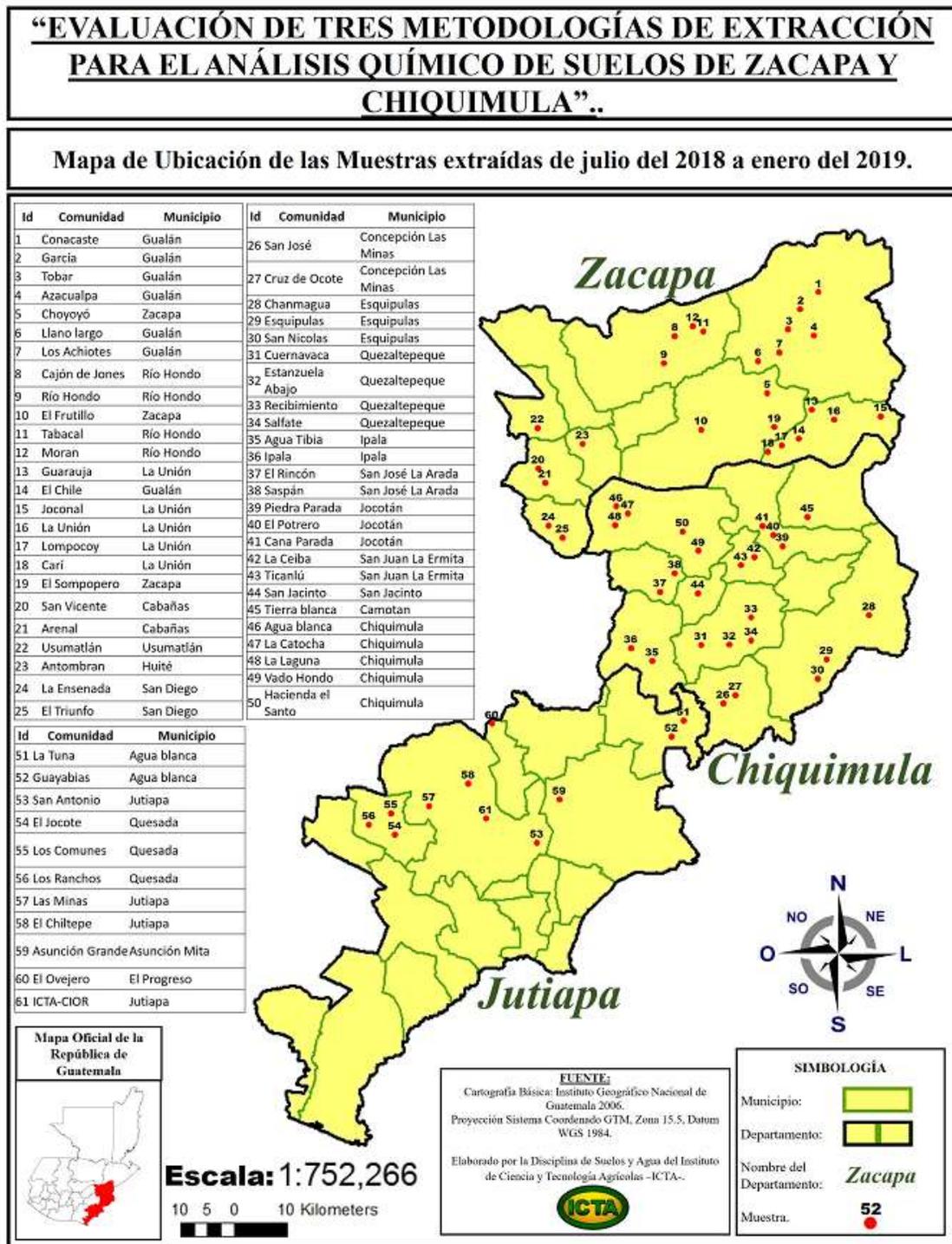


Figura 1A. Ubicación de los sitios de muestreo de suelos de los departamentos de Zacapa, Chiquimula y Jutiapa. Autor: Esteban Monzón, 2019.

Cuadro 1A. Procedencia y ubicación geográfica de los sitios de muestreo del departamento de Zacapa, 2019.

PROCEDENCIA	Coordenadas	
Conacaste, Gualán	15.158646	-89.326966
García, Gualán	15.225393	-89.219059
Tobar, Gualán	15.102306	-89.374758
Azacualpa, Gualán	15.079065	-89.426922
Choyoyó, Zacapa	15.072943	-89.444379
Llano Largo, Gualán	15.196073	-89.276475
Los Achiotes, Gualán	15.118971	-89.409815
Cajón de Jones, Río Hondo	15.124099	-89.540330
Río Hondo	15.051863	-89.586475
El Frutillo, Zacapa	14.984033	-89.514784
Tabacal, Río Hondo	15.143667	-89.486258
Morán, Río Hondo	15.147574	-89.483446
Guaraujá, Gualán	15.054708	-89.345631
El Chile, Gualán	15.051967	-89.313562
Joconal, La Unión	14.995400	-89.189700
La Unión, La Unión	14.966237	-89.288750
Lompocoy, La Unión	14.972295	-89.292292
Cari, La Unión	14.944867	-89.360095
El Sompopero, Zacapa	14.989277	-89.405225
San Vicente Cabañas	14.896600	-89.745200
Arenal Cabañas	14.880866	-89.757465
Usulután, Usulután	14.957234	-89.800295
Antombrán, Huité	14.946218	-89.736675
La Ensenada San Diego	14.827318	-89.800588
El Triunfo, San Diego	14.774047	-89.776853

Cuadro 2A. Procedencia de las muestras y ubicación geográfica de los sitios de muestreo del departamento de Chiquimula.

PROCEDENCIA	Coordenadas	
San José, Concepción Las Minas	14.489900	-89.406100
Cruz de Ocote, Concepción Las Minas	14.515565	-89.461323
Chanmagua, Esquipulas	14.629645	-89.219212
Esquipulas, Esquipulas	14.552340	-89.313072
San Nicolás, Esquipulas	14.547227	-89.329897
Cuernavaca, Quezaltepeque	14.592552	-89.542737
Estanzuela Abajo, Quezaltepeque	14.611673	-89.503420
Recibimiento, Quezaltepeque	14.630695	-89.427317
Salfate, Quezaltepeque	14.603422	-89.445150
Agua Tibia, Ipala	14.576373	-89.578545
Ipala, Ipala	14.635131	-89.624106
El Rincón, San José La Arada	14.689373	-89.618076
Saspán, San José La Arada	14.707535	-89.548855
Piedra Parada, Jocotán	14.741414	-89.383392
El Potrero, Jocotán	14.750520	-89.372382
Cana Parada, Jocotán	14.764151	-89.379112
La Ceiba; San Juan La Ermita	14.734489	-89.447164
San Juan La Ermita, Ticanlú	14.740302	-89.462507
San Jacinto	14.698896	-89.500739
Tierra Blanca, Camotán	14.808800	-89.343500
Tierra blanca, Chiquimula	14.769932	-89.678598
La Catocha (Poxte), Chiquimula	14.781653	-89.633743
La Laguna, Chiquimula	14.803984	-89.584067
Vado Hondo, Chiquimula	14.707798	-89.497350
Hacienda El Santo, Chiquimula	14.758824	-89.496218

Cuadro 3A. Procedencia de las muestras y ubicación geográfica de los sitios de muestreo del departamento de Jutiapa.

PROCEDENCIA	Coordenadas	
La Tuna, Agua Blanca	14.435546	-89.674492
Guayabias, Agua Blanca	14.470372	-89.667720
San Antonio, Jutiapa	14.314713	-89.865760
El Jocote, Quezada	14.278163	-90.056438
Los Comunes, Quezada	14.288156	-90.038868
Los Ranchos, Quezada	14.278501	-90.037044
Las Minas, Jutiapa	14.298098	-89.930347
El Chiltepa, Jutiapa	14.255430	-89.896210
Asunción Grande, A. Mita	14.35207	-89.774720
El Ovejero, El Progreso	14.464772	-89.857422
ICTA, CIOR, Jutiapa	14.305510	-89.895470

Cuadro 4A. Resultados del análisis químico de los suelos de Zacapa.

PROCEDENCIA	Identif.	M.O. %	pH	Melich I							
				Meq/100 g							
				K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
Conacaste, Gualán	17518	2.6	6.93	0.7	9.2	7.5	39.0	0.1	2.1	10.7	39.8
García, Gualán	17618	0.3	6.23	0.6	5.4	11.9	7.0	0.3	1.2	58.1	38.1
Tobar, Gualan	17718	1.1	6.34	0.7	5.5	2.0	97.0	0.3	3.6	3.1	14.4
Azacualpa, Gualan	17818	1.5	7.24	0.8	4.7	3.5	15.5	0.1	2.6	1.8	27.8
Choyoyó, Zacapa	17918	2.3	6.16	0.3	8.0	2.4	11.5	0.0	2.5	4.6	20.0
Llano Largo, Gualán	18018	1.7	5.61	0.1	35.5	4.3	33.0	0.8	4.0	69.9	23.6
Los Achiotés, Gualán	18118	2.3	7.23	0.7	17.6	7.1	25.0	0.0	0.0	0.0	21.0
Cajón de Jones, Río Hondo	18218	1.1	5.92	0.6	39.5	10.2	34.5	0.3	3.7	45.3	35.0
Río Hondo	18318	2.4	5.73	0.3	3.0	12.3	7.5	0.5	2.9	5.4	26.0
El Frutillo, Zacapa	18418	0.9	7.24	0.7	9.2	2.1	97.5	0.0	1.0	0.0	18.8
Tabacal, Río Hondo	18518	2.9	5.16	0.7	6.6	6.1	10.0	0.2	2.2	93.5	58.7
Morán, Río Hondo	18618	2.7	4.53	0.7	5.6	2.6	8.0	0.0	4.8	12.0	11.5
Guaraujá, La Unión	18718	1.1	4.41	0.3	6.3	1.1	40.0	0.0	0.2	4.9	4.6
El Chile, Gualán	18818	1.2	4.85	0.3	4.8	3.6	19.0	0.2	1.5	13.5	21.2
Joconal, La Unión	18918	4.8	4.44	1.4	4.3	1.2	7.0	0.1	15.8	19.8	3.7
La Unión, La Unión	19018	3.1	6.19	1.5	27.4	1.7	19.5	0.0	9.8	0.0	32.6
Lompocoy, La Unión	19118	2.8	4.49	0.4	6.6	2.9	18.0	0.0	4.3	19.0	11.6
Cari, La Unión	19218	1.9	4.47	0.4	8.5	4.3	42.5	0.0	0.2	28.3	16.6
El Sompopero, Zacapa	19318	2.9	4.41	0.4	7.5	3.1	7.5	0.0	0.1	40.3	14.5
San Vicente Cabañas	20018	2.1	8.12	0.3	18.6	3.7	58.0	0.0	0.9	5.8	25.7
Arenal Cabañas	20118	2.2	7.45	0.5	13.8	3.8	15.0	0.5	1.5	9.9	36.4
Usumatlán, Usumatlán	20218	2.8	7.28	2.9	13.8	4.1	146.5	0.0	2.3	2.2	30.2
Antombrán, Huité	20318	1.3	8.06	0.8	7.4	3.9	122.0	0.4	4.6	18.0	40.7
La Ensenada San Diego	20418	2.7	5.64	0.6	2.9	3.9	2.0	0.2	0.9	9.5	33.9
El Triunfo, San Diego	20518	1.8	5.86	0.9	5.3	2.4	4.0	0.7	2.1	7.2	29.1

Melich III									Bray y Kurt							
Meq/100 g				Ppm					Meq/100 g				Ppm			
K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn	
0.9	15.2	7.5	17.0	2.2	3.0	30.9	95.7	1.0	7.6	5.7	9.0	0.0	0.0	37.2	13.8	
0.9	6.6	11.7	12.0	2.4	1.5	396.3	108.2	0.9	4.4	8.8	4.0	0.0	0.0	75.3	18.7	
0.9	5.8	2.4	43.5	2.6	5.1	29.9	75.3	1.1	5.1	3.2	66.0	0.0	0.7	59.9	13.2	
6.4	5.7	4.5	18.5	2.4	2.3	27.4	176.8	1.1	4.6	5.2	13.0	0.0	0.0	41.1	19.7	
0.4	10.1	3.1	12.5	1.7	3.9	23.5	97.3	0.7	9.2	4.0	6.0	0.0	0.4	25.5	11.9	
0.0	8.0	4.9	23.0	3.6	2.8	492.3	76.7	0.5	6.7	5.9	19.0	0.0	0.0	159.2	12.3	
5.8	24.6	6.8	28.5	3.4	2.1	23.1	176.8	1.0	12.4	5.3	22.0	0.0	0.0	20.2	12.0	
0.6	14.0	10.1	49.5	2.0	6.7	28.6	91.7	0.8	7.7	8.7	50.0	0.0	0.5	60.2	16.6	
0.2	3.8	11.5	11.5	5.3	0.0	24.9	106.8	0.6	2.8	9.4	4.0	0.0	0.0	24.7	12.9	
0.8	16.3	1.9	52.0	1.0	1.1	19.3	130.0	0.9	11.6	2.3	72.0	0.0	0.0	26.9	8.4	
0.9	7.2	6.0	15.0	1.9	2.2	474.8	156.3	0.9	5.7	6.0	8.0	0.0	0.0	157.3	36.2	
0.8	6.2	2.9	12.0	2.0	5.3	388.3	34.2	1.0	5.3	3.9	5.0	0.0	1.7	60.0	11.9	
0.3	7.4	1.4	17.5	0.1	2.2	23.6	19.3	0.7	7.6	1.8	10.0	0.0	0.0	32.5	6.0	
0.4	14.5	5.5	16.0	3.1	2.0	340.0	155.7	0.6	14.5	6.1	6.0	0.0	0.0	39.8	11.2	
6.9	4.1	1.3	13.0	0.8	9.5	13.5	3.0	1.0	3.3	1.6	3.0	0.0	4.6	8.2	0.5	
1.2	17.9	1.9	41.5	2.9	1.0	22.6	164.0	1.5	8.4	1.8	10.0	0.0	6.9	24.5	13.9	
0.4	7.8	3.5	46.0	0.7	5.9	454.3	69.5	0.6	5.8	3.3	47.0	0.0	0.0	55.7	10.6	
0.4	28.9	5.5	54.0	0.2	0.7	373.0	43.9	0.6	7.2	4.7	40.0	0.0	0.0	109.8	8.2	
0.3	7.9	3.2	14.5	0.3	0.0	384.8	33.3	0.6	7.5	3.8	4.0	0.0	0.0	92.3	8.1	
0.2	34.0	3.5	29.5	2.8	0.5	85.0	84.5	0.1	5.6	1.9	10.5	0.0	0.0	2.5	3.1	
0.4	7.9	3.4	31.0	3.5	0.0	84.5	117.5	0.2	5.3	2.5	8.0	0.0	0.0	2.7	5.9	
2.1	9.1	4.1	134.5	2.5	1.8	38.5	186.5	0.6	4.9	3.1	72.5	0.0	0.0	0.0	3.5	
0.6	4.3	2.9	118.5	2.0	0.5	67.5	103.8	0.4	3.9	2.7	51.0	0.0	0.0	12.1	7.0	
0.5	3.1	3.5	17.0	3.8	0.0	57.0	56.8	0.2	2.5	2.7	3.0	0.0	0.0	0.0	14.9	
0.7	3.9	1.5	25.5	1.7	0.0	91.0	60.5	0.3	3.1	1.1	4.5	0.0	0.0	14.9	11.6	

Olsen	Acetato de amonio				DTPA				Clase textural			Clase textural
	Meq/100 g				Ppm				%			
P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Arcilla	Limo	Arena		
4.0	2.0	17.7	9.0	2.3	3.1	72.0	48.5	17	24	59	Franco arenoso	
2.0	1.9	8.9	14.9	3.0	3.1	244.7	83.3	34	22	44	Franco arcilloso	
12.0	1.8	6.1	2.5	3.1	4.8	90.9	41.8	8	11	81	Arena franca	
4.0	2.2	6.3	4.7	2.4	3.9	35.2	62.6	14	15	71	Franco arenoso	
3.0	1.5	13.0	3.2	1.4	3.8	68.0	60.8	16	18	66	Franco arenoso	
7.0	1.2	11.1	5.9	3.3	3.5	229.8	48.3	11	24	65	Franco arenoso	
10.0	2.4	31.6	7.9	2.5	2.0	38.8	57.0	29	21	50	Franco arcillo arenoso	
9.0	1.7	17.0	13.5	2.4	3.6	89.6	58.9	12	33	55	Franco arenoso	
6.0	1.2	3.8	14.0	5.0	1.6	64.0	55.1	19	15	66	Franco arenoso	
10.0	1.7	21.9	2.2	0.8	2.1	28.0	34.3	10	15	75	Franco arenoso	
7.0	1.8	8.9	6.9	2.6	3.5	324.0	154.2	24	32	44	Franco	
6.0	1.7	7.6	3.4	3.0	5.9	312.3	40.9	18	24	58	Franco arenoso	
8.0	1.5	9.3	1.6	0.4	1.6	100.7	15.0	11	15	74	Franco arenoso	
4.0	1.6	15.2	6.2	3.2	2.7	219.5	120.4	23	24	53	Franco arcillo arenoso	
3.0	2.6	4.2	1.3	1.7	1.3	129.6	7.7	45	15	40	Arcilloso	
11.0	3.2	17.7	1.9	4.1	8.6	96.5	96.8	35	20	45	Limite entre franco arc	
12.0	1.5	8.0	3.4	1.0	5.0	387.5	54.9	15	15	70	Franco arenoso	
15.0	1.5	13.8	6.3	0.2	1.8	253.5	30.8	15	17	68	Franco arenoso	
4.0	1.4	9.8	3.8	0.3	1.6	296.2	32.3	19	29	52	Limite entre franco are	
3.0	1.3	21.6	7.9	1.2	0.0	14.1	11.0	13	32	55	Franco arenoso	
2.0	1.8	19.4	9.2	2.2	0.0	25.4	27.7	19	29	52	Limite entre franco are	
10.0	4.1	16.6	11.0	0.8	0.0	7.2	16.9	23	24	53	Franco arcillo arenoso	
7.0	2.0	9.1	8.3	0.8	0.0	14.0	16.1	16	26	58	Franco arenoso	
1.0	1.6	4.0	8.9	2.7	0.0	68.0	31.1	20	20	60	Limite entre franco are	
2.0	2.2	6.7	2.8	1.1	0.0	81.0	35.3	19	17	64	Franco arenoso	

Cuadro 5A. Resultados del análisis químico de los suelos de Chiquimula.

PROCEDENCIA	Identif.	M.O. %	pH	Melich I							
				Meq/100 g							
				K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
San José, Concepción Las Minas	20618	5.5	5.87	0.8	7.3	2.4	6.0	0.5	9.9	33.8	14.3
Cruz de Ocote, Concepción Las Minas	20718	3.7	5.92	0.6	8.7	1.7	11.5	0.0	2.0	32.3	15.1
Chanmagua, Esquipulas	20818	1.0	6.36	1.6	7.0	0.9	68.5	0.0	3.5	10.3	15.2
Esquipulas, Esquipulas	20918	1.3	4.68	0.5	2.0	0.8	17.5	0.0	1.2	112.3	15.0
San Nicolás, Esquipulas	21018	4.1	4.78	0.4	3.6	1.6	26.0	0.0	6.4	69.3	16.2
Cuernavaca, Quezaltepeque	21118	2.9	5.42	0.7	9.6	3.3	3.0	0.0	0.0	23.8	12.2
Estanzuela Abajo, Quezaltepeque	21218	1.7	5.75	1.7	5.6	2.7	15.5	0.0	8.6	0.0	16.2
Recibimiento, Quezaltepeque	21318	3.0	7.30	1.9	29.0	2.5	113.5	0.0	13.6	40.7	34.1
Sulfate, Quezaltepeque	21418	0.7	6.30	0.9	8.2	2.4	9.0	0.0	0.2	6.3	9.5
Agua Tibia, Ipala	21518	2.0	5.52	0.8	6.4	2.4	3.5	0.0	0.4	6.5	12.0
Ipala, Ipala	21618	1.3	7.06	1.5	14.1	3.5	31.5	0.3	0.9	11.6	29.4
El Rincón, San José La Arada	21718	2.7	6.53	1.0	9.6	3.6	91.5	0.0	6.3	34.4	13.2
Saspán, San José La Arada	21818	2.3	5.19	0.9	10.1	3.3	215.5	0.0	2.4	23.3	33.3
Piedra Parada, Jocotán	21918	1.9	5.12	0.5	1.7	1.3	3.5	0.0	0.6	29.5	10.9
El Potrero, Jocotán	22018	2.7	7.32	0.4	15.2	1.1	31.0	0.4	3.1	13.0	19.5
Cana Parada, Jocotán	5719	4.6	7.83	0.1	26.9	1.2	16.5	0.0	1.0	0.5	5.4
La Ceiba; San Juan La Ermita	5819	4.0	7.4	0.1	17.4	1.7	41.5	0.4	13.0	12.7	28.1
San Jacinto	5919	2.8	6.55	0.1	18.5	3.2	182.5	0.1	1.6	7.4	21.2
San Juan La Ermita, Ticanlú	6019	3.5	7.75	0.2	25.6	4.0	17.5	0.0	0.9	0.3	3.2
Tierra Blanca, Camotán	6919	4.5	8.12	0.0	28.0	0.7	2.0	0.0	0.9	0.1	0.8
Agua Blanca, Chiquimula	7219	4.3	6.48	0.1	12.2	2.0	17.5	0.1	5.5	6.4	59.0
Hacienda El Santo, Chiquimula	7319	2.5	7.93	0.1	25.5	2.7	237.5	0.0	2.1	1.4	19.1
Vado Hondo, Chiquimula	7519	3.7	7.59	0.2	23.0	3.7	185.0	0.0	7.4	5.4	27.6
La Laguna, Chiquimula	7719	2.9	7.3	0.1	17.8	1.7	20.5	0.0	2.7	7.7	44.4
La Catocha, Chiquimula	7919	2.9	5.43	0.1	5.8	1.2	8.5	0.1	7.3	23.7	21.5

Melich III									Bray y Kurt							
Meq/100 g				Ppm					Meq/100 g				Ppm			
K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn	
1.0	6.1	2.1	25.0	2.1	5.3	262.5	9.0	0.4	4.0	1.2	6.0	0.0	0.3	7.7	2.4	
0.5	6.9	1.0	30.5	0.0	0.0	178.5	21.8	0.3	4.7	0.9	12.0	0.0	0.0	16.3	2.5	
2.9	8.1	0.8	100.0	0.6	2.5	231.8	99.0	0.6	4.3	0.6	44.0	0.0	0.0	24.0	5.5	
0.5	1.4	0.3	80.5	0.0	0.0	255.0	12.4	0.3	2.2	0.4	32.0	0.0	0.0	83.3	7.3	
0.5	2.8	0.9	121.5	0.6	3.5	311.0	15.6	0.3	2.7	0.7	60.0	0.0	0.8	27.1	7.6	
0.4	36.6	3.7	27.0	0.5	0.0	247.5	26.1	0.3	4.8	1.6	4.0	0.0	0.0	18.2	3.0	
1.2	7.5	2.4	40.0	0.0	7.5	48.9	73.5	0.5	3.7	1.3	20.5	0.0	0.8	5.1	8.1	
1.4	8.8	1.8	175.5	2.3	9.0	262.0	81.3	0.5	5.3	1.2	73.0	0.0	1.1	21.9	4.5	
0.7	10.2	2.4	37.0	0.2	0.0	58.5	26.1	0.4	5.6	1.4	13.5	0.0	0.0	4.8	1.8	
0.9	7.4	2.1	18.0	0.1	0.0	138.8	80.8	0.4	3.8	1.2	5.0	0.0	0.0	12.3	5.1	
1.3	35.0	3.7	122.0	3.0	0.5	47.0	198.5	0.4	5.4	1.9	56.5	0.0	0.0	8.9	5.1	
0.8	34.3	3.9	92.0	0.7	7.5	172.0	25.8	0.4	5.6	2.4	34.5	0.0	2.2	22.7	1.6	
0.9	9.4	2.7	286.0	0.6	0.5	123.0	52.5	0.4	5.0	1.7	150.0	0.0	0.0	16.1	8.2	
0.4	1.3	0.6	27.0	0.1	0.0	58.0	11.8	0.2	1.9	0.4	8.5	0.0	0.0	23.7	3.3	
0.5	9.9	0.7	26.5	2.2	0.7	70.5	50.5	0.2	5.3	0.4	8.0	0.0	0.0	6.0	2.6	
0.9	12.1	1.9	140.5	4.05	9.35	55.8	2.8	0.4	4.0	1.6	25.5	0.0	0.0	12.3	5.1	
0.8	8.9	2.4	94.5	5.7	0	66.1	3.2	0.3	4.7	1.3	30.0	0.0	0.0	8.9	5.1	
0.9	12.3	7.0	31.5	1.35	0	43.1	4.2	0.6	4.3	1.2	6.0	0.0	2.2	22.7	1.6	
1.8	20.8	7.2	77.5	2	5.75	11.6	5.3	0.3	2.2	1.4	18.0	0.0	0.0	16.1	8.2	
0.9	5.3	3.6	6.5	0.65	0.5	98.5	5.2	0.3	2.7	1.2	0.0	0.0	0.0	23.7	3.3	
0.6	26.2	1.7	68.0	3.25	7.2	13.8	1.0	0.3	4.8	1.9	19.0	0.0	0.0	6.0	2.6	
1.0	6.7	2.9	343.5	2.3	12.2	56.2	9.8	0.5	3.7	2.4	75.5	0.0	0.0	12.3	5.1	
1.0	6.9	3.1	116.5	5.25	17.8	71.7	4.4	0.4	5.3	1.7	25.0	0.0	0.0	8.9	5.1	
1.0	4.1	2.8	115.0	1.25	1.45	75.5	6.0	0.4	5.6	0.4	20.0	0.0	2.2	22.7	1.6	
0.7	3.9	2.0	280.0	0.7	8.5	87.8	1.0	0.2	3.8	0.4	10.5	0.0	0.0	16.1	8.2	

Olsen	Acetato de amonio				DTPA				Clase textural			Clase textural
	Meq/100 g				Ppm				%			
P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Arcilla	Limo	Arena		
2.0	2.0	9.4	2.8	0.8	2.8	186.5	3.6	25	20	55	Franco arcillo arenoso	
4.0	1.5	13.7	1.9	0.0	0.0	111.3	7.8	19	22	59	Franco arenoso	
8.0	26.5	14.5	1.5	0.0	0.4	89.8	21.5	13	13	74	Franco arenoso	
7.0	1.5	9.0	0.8	0.0	0.0	223.0	14.0	16	26	58	Franco arenoso	
14.0	1.4	4.0	1.1	0.3	2.9	341.0	13.7	26	20	54	Franco arcillo arenoso	
2.0	2.1	37.4	10.7	0.2	0.0	146.3	19.1	41	15	44	Arcilloso	
4.0	3.3	12.0	4.8	0.0	1.9	34.5	21.7	17	21	62	Franco arenoso	
18.0	3.1	16.3	3.5	0.7	4.4	128.5	19.3	21	25	54	Franco arcillo arenoso	
3.0	2.7	20.7	5.8	0.0	0.0	45.3	11.8	25	17	58	Franco arcillo arenoso	
2.0	2.4	12.1	4.3	0.0	0.0	97.3	28.5	23	14	63	Franco arcillo arenoso	
16.0	2.5	22.6	8.4	0.7	0.0	16.2	15.8	40	17	43	Arcilloso	
8.0	2.6	26.4	11.6	0.0	3.4	101.5	9.6	38	18	44	Franco arcilloso	
41.0	2.3	20.9	8.1	0.4	0.0	192.0	35.5	24	23	53	Franco arcillo arenoso	
2.0	1.3	1.9	0.8	0.0	0.0	47.8	5.0	20	16	64	Límite entre franco are	
6.0	1.1	15.2	0.3	0.9	0.0	27.8	8.7	54	17	29	Arcilloso	
21	1.0	37.5	1.4	2.9	7.6	0.0	19.9	30	45	25	Franco arcilloso	
12	0.7	22.4	0.5	4.2	15.3	0.0	28.8	23	37	40	Franco	
4	0.9	32.9	1.4	1.0	1.9	0.0	0.0	23	45	32	Franco	
7	2.8	47.4	1.8	1.3	4.0	10.2	13.6	35	38	27	Franco arcilloso	
3	0.4	43.1	0.2	0.3	1.9	38.0	13.5	33	46	20	Franco arcilloso	
8	1.1	16.0	0.6	1.4	5.6	101.5	101.5	12	35	52	Franco	
16	2.0	51.9	1.4	0.7	4.9	30.3	27.9	5	44	51	Franco arenoso	
14	2.1	38.4	1.6	3.0	8.0	46.8	4.0	25	37	37	Franco	
3	0.7	24.1	0.6	0.3	2.9	21.0	33.0	11	31	58	Franco arenoso	
4	0.5	6.9	0.4	1.3	8.3	0.0	25.2	7	29	64	Franco arenoso	

Cuadro 6A. Resultados del análisis químico de los suelos de Jutiapa.

No.	PROCEDENCIA	Identif.	M.O. %	pH	Melich I							
					Meq/100 g				Ppm			
					K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
1	La Tuna, Agua Blanca	6119	3.3	5.24	0.1	7.2	1.6	2.0	1.9	2.2	24.6	52.0
2	Guayabias, Agua Blanca	6219	4.1	5.4	0.2	11.7	7.1	4.0	0.1	2.1	7.5	34.0
3	San Antonio, Jutiapa	6319	2.7	6.46	0.1	15.8	3.2	40.0	0.4	7.9	14.6	34.2
4	El Jocote, Quezada	6419	2.9	5.39	0.1	7.3	2.5	5.0	2.4	3.4	37.5	59.5
5	Los Comunes, Quezada	6519	2.1	5.28	0.0	5.9	1.5	9.0	1.4	4.0	31.6	44.1
6	Los Ranchos, Quezada	6619	1.4	5.45	0.1	6.0	1.6	10.5	1.1	3.0	18.0	27.2
7	Las Minas, Jutiapa	6719	2.2	5.64	0.1	4.8	1.5	7.5	3.2	3.6	22.6	33.3
8	El Chiltepa, Jutiapa	6819	2.0	5.95	0.1	8.1	2.6	73.5	2.2	6.6	42.1	49.8
9	ICTA, CIOR, Jutiapa	7419	2.1	6.67	0.1	12.2	2.1	139.0	1.5	9.1	19.5	48.9
10	Asunción Grande, A. Mita	7619	5.2	6.17	0.1	7.9	2.0	0.0	0.0	2.3	13.6	51.0

Melich III								Bray y Kurt							
Meq/100 g				Ppm				Meq/100 g				Ppm			
K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn	K	Ca	Mg	P	Cu	Zn	Fe	Mn
0.8	4.6	2.3	9.0	5	0.0	78.7	5.4	0.4	5.4	1.8	0.0	0	0	8.9	4.1
1.6	7.9	9.3	35.0	2	0.0	66.7	2.4	0.2	5.5	2.3	0.0	0	2.2	11.7	1.5
0.9	7.9	4.5	95.5	3	11.3	68.5	4.1	0.2	5.0	1.6	25.5	0	0	15.1	7.4
1.0	5.2	4.0	25.5	5	1.7	72.0	6.3	0.2	2.1	0.4	0.0	0	0	22.6	3.2
1.0	9.7	4.2	56.0	4	4.0	78.1	6.7	0.3	4.5	0.4	7.0	0	0	5.5	2.5
0.7	3.7	2.2	55.0	3	2.0	90.2	4.2	0.3	4.2	0.8	10.5	0	0	5.6	7.9
0.8	4.2	2.5	68.0	6	2.9	76.1	2.9	0.5	4.3	0.5	2.5	0	0.8	21.5	4.2
0.9	3.3	2.2	169.5	8	8.7	56.1	2.7	0.3	2.1	0.3	52.5	0	1.1	4.9	1.7
1.4	17.3	7.6	215.0	7	13.2	44.3	6.8	0.3	2.6	0.6	46.5	0	0	12.2	4.3
0.5	12.3	2.9	14.0	3	0.0	55.5	8.4	0.5	4.9	1.2	0.0	0	0	8.1	1.5

Olsen	Acetato de amonio				DTPA				Clase textural			Clase textural
P	Meq/100 g				Ppm				%			
	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Arcilla	Limo	Arena		
0	0.7	7.9	0.4	4.8	3.1	254.5	111.0	33	38	29	Franco arcilloso	
6	1.9	19.6	2.0	1.4	2.2	173.5	52.0	29	46	25	Franco arcilloso	
11	0.8	20.3	0.9	2.2	6.7	112.0	29.8	13	36	51	Franco arenoso	
3	1.3	12.0	0.9	5.1	3.1	212.0	119.5	36	34	30	Franco arcilloso	
8	0.5	7.4	0.4	2.5	3.8	262.5	67.5	13	39	48	Franco	
4	0.7	7.6	0.5	0.0	3.0	192.0	41.0	8	37	55	Franco arenoso	
7	0.8	7.0	0.4	5.4	4.2	156.5	45.5	32	33	35	Franco arcilloso	
13	0.9	10.7	0.8	5.1	5.5	223.0	59.0	14	39	47	Franco	
19	1.3	16.1	0.6	5.3	7.2	112.0	56.0	26	36	37	Franco	
1	1.1	9.5	0.6	2.8	2.0	132.0	78.0	38	39	23	Franco arcilloso	

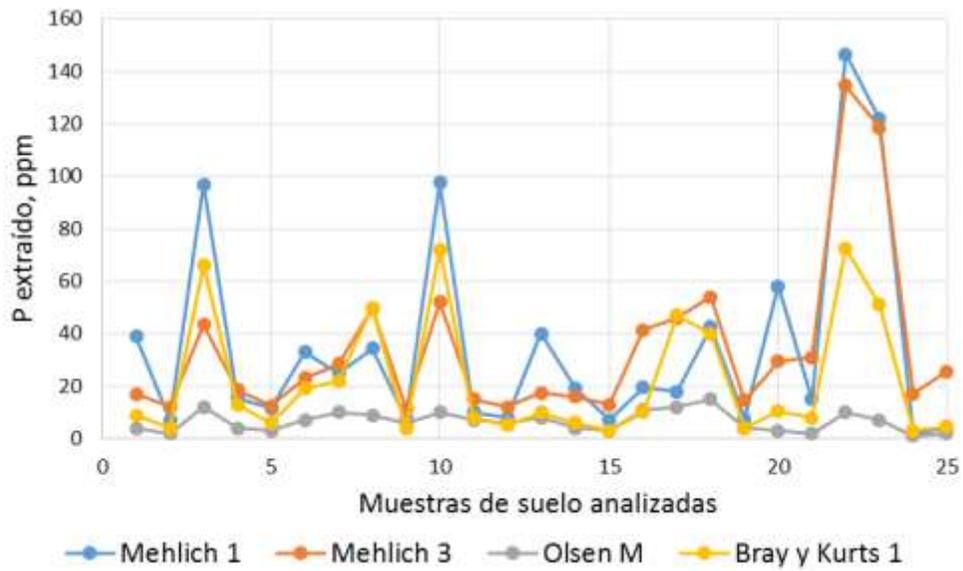


Figura 2A. Valores de P del suelo (ppm), con cada solución extractora en las muestras de suelo procedentes de Zacapa.

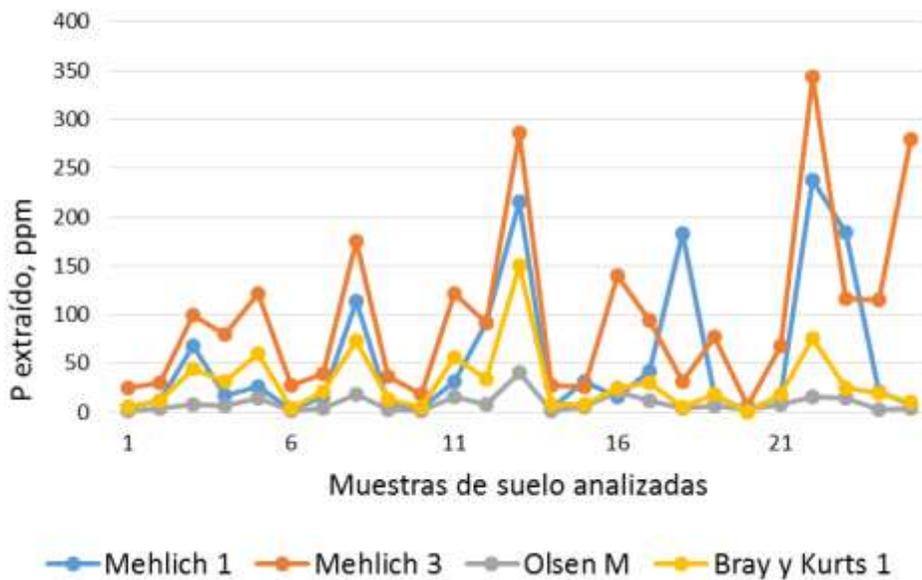


Figura 3A. Valores de P del suelo (ppm), con cada solución extractora en las muestras de suelo procedentes de Chiquimula.

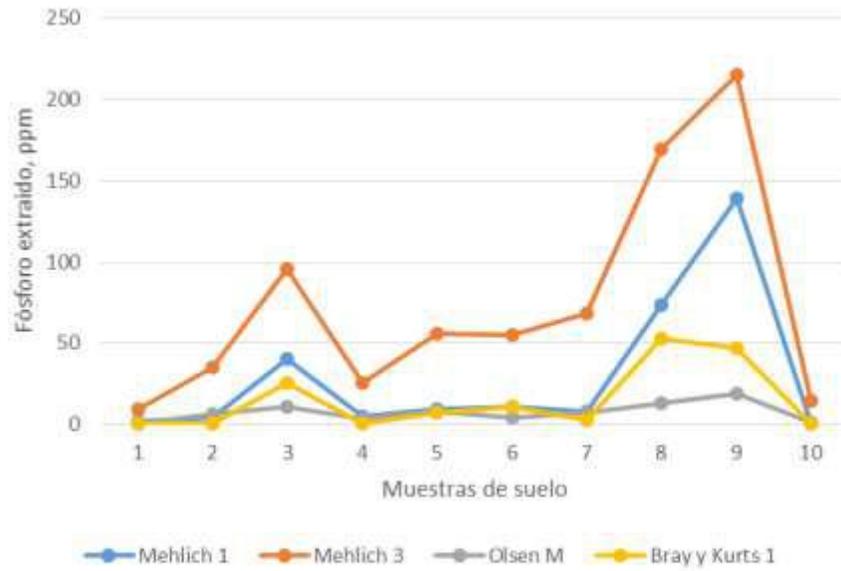


Figura 4. Valores de P del suelo (ppm), con cada solución extractora en suelos del departamento de Jutiapa.

FOTOGRAFÍAS DE DIVERSAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO



Figura 5A. Extracción de muestras de suelo en la comunidad de San Nicolás, del municipio de Esquipulas.



Figura 6A. Traslado de muestras de suelo hacia el laboratorio de análisis de suelos del ICTA.



Figura 7A. Extracción de muestras de suelo en la comunidad de La Ensenada, del municipio de San Diego, Zacapa.



Figura 8A. Extracción de muestras de suelo en la comunidad de El Arenal, del municipio de Cabañas, Zacapa.



Figura 9A. A la izquierda, extracción de muestras de suelo, en Choyoyó, Zacapa. A la derecha, extracción de muestra de suelo, en Morán, Río Hondo, Zacapa.



Figura 10A. Proceso de extracción de muestras de suelo.



Figura 11A. Recopilación de información de parcelas de muestreo, a través de la aplicación Kobo Toolbox.



Figura 12A. Muestras de suelo secándose en el invernadero de Biotecnología del ICTA en Bárcena, Villa Nueva.



Figura 13A. Análisis de suelo con las diferentes metodologías de extracción para la determinación de fósforo disponible. Laboratorio de suelos, ICTA.



Figura 14A. Proceso de agitación de muestras de suelo durante el análisis químico. Laboratorio de suelos, ICTA.



Figura 15A. Determinación química de elementos del suelo por espectrofotometría de absorción atómica. Laboratorio de suelos, ICTA.



Figura 16A. Vista de los procesos de instalación, siembra y conducción de experimentos en invernadero. Laboratorio de suelos, ICTA.



Figura 7A. Obtención de resultados, cosecha, y secado de muestras para determinación de rendimiento relativo de materia seca.



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

