CALIBRACION DE TRES METODOS DE EXTRACCION DE FOSFORO ASIMILABLE EN SUELOS AGRICOLAS DEL DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ[1]

RODA VACA, JOSE LUIS[2]: RUIZ ALDERETE DAVID[3]; VIERA, MARY SELVA[4]

RESUMEN
Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Suelos del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT) con el objetivo de identificar el método más eficiente y confiable de extracción de fósforo disponible del suelo. Se tomaron 14 muestras representativas de suelos agrícolas de las localidades de Okinawa I, Las Brechas, Saavedra, Portachuelo y Chané, en el departamento de Santa Cruz. Parte de las muestras fueron preparadas para la siembra de trigo en condiciones de invernadero y parte fue utilizada en el laboratorio para la determinación del fósforo disponible mediante los métodos Mehlich III, Bray I y Olsen modificado. Además del fósforo, fue determinado el pH, conductividad eléctrica, Ca2+, Mg2+, Na+ y K+, Capacidad de Intercambio Catiónico, Saturación con bases, Materia Orgánica, Nitrógeno total y Textura. En el cultivo de trigo se determinó el peso de la masa seca foliar y la cantidad de fósforo absorbido. Para identificar el método más eficiente de extracción de fósforo, se realizó un análisis de regresión y correlación entre cada uno de los métodos de extracción y el fósforo absorbido por las plantas de trigo, así como también con la masa seca producida. El estudio fue complementado con un análisis de regresión entre el fósforo extraído por los diferentes métodos y las características del suelo: pH, Calcio intercambiable, Materia Orgánica y contenido de Arcilla. Fue verificada una correlación altamente significativa ($P < 0.05$) entre el Fósforo absorbido por la planta de trigo y el método Mehlich III ($r = 0.91$), Bray I ($r = 0.98$) y Olsen modificado ($r = 0.91$). Sin embargo, la correlación entre el Fosforo extraído y la masa seca de trigo, resultó no significativa. Así mismo, no se observó influencia significativa de las características del suelo sobre la cantidad de fósforo disponible. Con base a los resultados encontrados en este trabajo de investigación, se concluye que el método Olsen modificado, por la exactitud de los resultados, menor tiempo de ejecución y costos más bajos, es el más eficiente para la determinación del fósforo disponible para las plantas.

ABSTRACT
This study was conducted at the Soil Laboratory of Tropical Agricultural Research Center (CIAT) in order to identify the most efficient and reliable extraction of available soil phosphorus. 14 representative samples of agricultural soils were taken from the towns of Okinawa I, Las Brechas, Saavedra, Portachuelo y Chané, in the department of Santa Cruz. Part of the samples were prepared for wheat planting in greenhouse conditions and part were used in the laboratory for the determination of available phosphorus by Mehlich III, Bray I and modified Olsen methods. In addition to phosphorus, the pH, electrical conductivity, Ca2 +, Mg2 +, Na + and K +, Cation Exchange Capacity, base saturation, organic matter, total nitrogen and texture were also determined. In the wheat cultivation the weight of the leaf dry mass and the amount of phosphorus absorbed was determined. To identify the most efficient method of phosphorus extraction, a regression analysis and correlation was performed between each of the extraction methods and phosphorus absorbed by the wheat plants, as well as the dry mass produced. The study was supplemented by a regression analysis between the phosphorus extracted by different methods and soil characteristics: pH, exchangeable calcium, organic matter and clay content. A highly significant correlation ($P <0.05$) was verified between the phosphorus absorbed by the wheat plant and the Mehlich III method ($r = 0.91$), Bray I ($r = 0.98$) and modified Olsen ($r = 0.91$). However, the correlation between the phosphorus and dry weight of wheat was not significant. Likewise, there was no significant influence of soil characteristics on the amount of phosphorus available. Based on the results found in this research, it can be inferred that the modified Olsen method, due to its accuracy of results, reduced run time and lower costs is the most efficient method for the determination of phosphorus available to plants.

PALABRAS CLAVE: Métodos de extracción. Fósforo asimilable. Suelo agrícola
KEY WORDS: Extraction methods. Available phosphorus. Agricultural land

1 INTRODUCCION

La creciente demanda de una mayor producción de cultivos, con productos de mejor calidad para satisfacer las necesidades alimenticias de una población cada vez en aumento,

representa un gran desafío e induce en forma urgente, a buscar nuevas y mejores alternativas de producción sobre la base de los adelantos tecnológicos del mundo moderno.

En ese sentido es indispensable el conocimiento y el diagnóstico del potencial de los recursos naturales disponibles. Todo ello puede contribuir a un mejor uso y manejo de los recursos naturales, especialmente el recurso SUELO, mediante una planificación técnica adecuada para una producción sostenida de los cultivos.

El análisis de nutrientes es una parte importante dentro del mantenimiento de un suelo agrícola. El propósito de los análisis de suelos es determinar su estado de fertilidad e identificar los elementos nutritivos que podrían limitar el crecimiento de las plantas, ya sean bien por encontrarse en exceso o en

1 Tesis presentada apara optar al título de Ingeniero Agrónomo UCEBOL
1 Estudiante tesista, Carrera de Ingeniería Agronómica UCEBOL
1 Ing. MSc Docente Asesor. Carrera de Agronomía UCEBOL
1 Ing. MSc Docente Asesor. Carrera de Agronomía UCEBOL

deficiencia. La preocupación en torno al control de nutrientes en estos suelos ha centrado la atención en los métodos de análisis de estos elementos y en sus interpretaciones. Dependiendo del método de análisis empleado, en suelos de características similares, se pueden encontrar grandes diferencias en las recomendaciones de abonado para un mismo cultivo.

El problema de fondo del análisis del fósforo depende de la interpretación, y hay que interpretar de acuerdo al método con que se analizó ese suelo.

Durante las últimas décadas se han realizado considerables avances en el desarrollo de métodos, calibraciones y soluciones extractoras para la evaluación del estado nutricional del suelo. Generalmente hoy en día los laboratorios emplean soluciones para la determinación del fósforo soluble (Olsen modificado, Bray 1), esto es gracias a estudios "tesis", realizados en nuestros suelos agrícolas. Hoy en día existe un interés general en encontrar un extractante "universal", válido para un amplio rango de suelos.

Lo ideal es buscar un método que se adapte a los suelos de esta región. Cada país, cada región, tienen que buscar los métodos ideales, probar esos métodos eligiendo terrenos, ver cuál es el que más se acerca a lo que en realidad absorbe la planta.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general
Buscar el desenvolvimiento de métodos de análisis químicos de suelos adecuados a las condiciones regionales de suelos tropicales que pudieran reflejar, de la mejor manera posible, las respuestas de cultivos a corrosivos y fertilizantes.

2.2. Objetivos específicos
- Determinar cuál de los tres métodos de extracción de fósforo (Bray I, Olsen, modificado y Mehlich III), es eficiente y confiable para evaluar el contenido de fósforo disponible en diferentes tipos de suelos.
- Comparar la extracción de fósforo disponible por los métodos considerados con respecto al fósforo extraído por la plantas en diferentes suelos.
- Proveer a los investigadores de Santa Cruz información sobre la metodología más apropiada de extracción y cuantificación de fósforo asimilable del suelo.
- Introducir una metodología nueva de trabajo y al mismo tiempo comprobar si las establecidas son las adecuadas para los suelos de Santa Cruz.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación del ensayo
La presente investigación será realizada en CIAT laboratorio de suelo, agua y planta, ubicado en la avenida Ejercito Nacional Nª 131. En Santa Cruz. Para ello se recolectaron las muestras de las zonas de (Las Brechas, Saavedra, Okinawa, Portachuelo y Chane.

3.2. Suelo y clima
El estudio será realizado con 14 suelos, obtenidos en cinco localidades. Cada suelo se llenará en tres macetas, donde se implantara el cultivo de trigo. A estas macetas se les proporcionará un microclima controlado, riego, control de plagas y enfermedades adecuado para su perfecto desarrollo.

3.3. Variables de estudio
En el presente ensayo se usaran dos variables de estudio:

Factor A: 5 Localidades de extracción de en total 14 suelos	Factor B: 4 Metodologías fósforo
- Las brechas	- Melich III
- Saavedra	- Olsem modificado
- Okinawa I	- Bray 1
- Portachuelo	- Fósforo extraído por el cultivo
- Chane	

3.4. Metodologías de extracción de fósforo soluble
Las metodologías que se van a emplear para extraer el fósforo soluble de los suelos son:

3.4.1. Mehlich 3
La relación del suelo con el extractante que se va a emplear es 1:10 y se le agrega la solución extractora Mehlich 3 cuya *composición del extractante* es
(*CH3-COOH 0.2M + NH4NO3 0.25M + NH4F 0.015M + HNO3 0.013M + EDTA 0.001M)*,
que es un conjunto de ácidos diluidos con un estabilizador EDTA; después el método de determinación será Método del azul Molibdofosfórico obtenido por reducción con Tartarato de Potasio y Antimonio en un sistema Sulfúrico, y con un estabilizador de Ac. Ascórbico; que le darán el color y estabilidad para luego ser valorado por el espectrofotómetro.

3.4.2. Bray 1
La relación del suelo con el extractante que se va a emplear es 1:7
la *composición del extractante* es
(*NH4F 0.03M en HCl 0.025M)*,
después el método de determinación será Método del azul Molibdofosfórico obtenido por reducción con Tartarato de Potasio y Antimonio en un sistema Sulfúrico, y con un estabilizador de Ac. Ascórbico; que le darán el color y estabilidad para luego ser valorado por el espectrofotómetro.

3.4.3. Olsen modificado.
La relación del suelo con el extractante que se va a emplear es 1:20
la *composición del extractante* es
(*NaHCO3 0.5M pH=8.5)*,
después el método de determinación será Método del azul Molibdofosfórico obtenido por reducción con Tartarato de Potasio y Antimonio en un sistema Sulfúrico, y con un estabilizador de Ac. Ascórbico; que le darán el color y estabilidad para luego ser valorado por el espectrofotómetro.

3.4.4. Fósforo extraído por el cultivo
Para poder realizar este análisis, se obtendrán todas las partes vegetales de cada maceta por separado, a los cuales se les harán una limpieza con agua destilada para ser llevados a la estufa donde se los secaran, después serán triturados, mezclados y homogeneizados. A estas muestras se los calci-

naran, y serán atacados con HCl 1:1 digestión ácida; para ser liberado el fósforo retenido en los tejidos del cultivo, la relación del tejido vegetal con el extractante es 1:3 y la
composición del extractante es (*HCl 1:1*),
después el Método de determinación será el Meta Vanadomolibdato Amónico en medio de ácido nítrico; que le dará el color amarillo para poder ser valorado por el espectrofotómetro.

3.5. Materiales y Equipos
Macetas de polietileno.
Probetas cap. 500 ml.

3.6. Material vegetal
El material vegetal que se va ha utilizar es el cultivo de trigo *Triticum vulgare* de la variedad ICHILO-CIAT, la cual es ampliamente cultivada en los llanos de Santa Cruz por adaptarse muy bien en todas las zonas en las campañas de invierno. Utilizándose para este cultivo tecnología avanzada, la semilla será proporcionada por el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT).
Se sembraron 30 semillas por maceta.

Origen:	SV 97047.
Cruzamiento:	IAPAR30/BR-18.
Floración:	70 a 75 días.
Madurez:	Intermedio a los 110 días.
Altura de planta:	78 cm.
Macollamiento:	Bueno.
Características:	Es de ciclo Intermedio y época de siembra intermedia (1 al 20 de Mayo), Resistente al Oidio. Moderadamente resistente a Piricularia y Roya de la hoja Moderadamente resistente a Helmintosporiosis.

Según (ANAPO CIAT 2004).

3.7. Obtención de muestras de suelo

3.7.1. Muestreo
Para este estudio se tomaran 14 muestras representativas, de cinco localidades que
son las siguientes:
¨ OKINAWA I
¨ LAS BRECHAS
¨ SAAVEDRA
¨ PORTACHUELO
¨ CHANE

3.7.2. Preparación de la muestra de suelo
Se lo secará a temperatura ambiente, luego se triturarán y tamizarán las partículas agregadas para ser llevados 6 Kilos de suelos a las macetas, previamente dándoles estructura; (a cada tipo de suelo se le harán tres repeticiones), donde se le implantarán semillas de trigo; también se separarán muestras de cada suelo para realizarles los análisis
físico-químicos

3.7.3. Análisis físico y químico de los suelos
Se lo realizará de acuerdo se lo menciona en los cuadros de análisis rutinarios y especiales.

3.7.4. Evaluación de las características agronómicas y rendimiento del cultivo de trigo
Altura de planta.
Número de macollos.
Espigas productivas
Numero de grano por espiga
Peso 100 granos
Largo del tallo.
Color de hoja
Peso seco de raíz
Biomasa total (Hoja, tallo, grano, raiz)
Rendimiento por maceta/4 kg suelo (tn/ha)

3.8. Análisis estadístico
En el presente estudio se realizaran análisis de correlación y regresión, donde se estudiarán
las metodologías de extracción de fósforo soluble, comparándolo con lo que extrajo el cultivo, en base a los siguientes parámetros:
- Análisis de correlaciones y regresiones para conocer así el grado de asociación entre las variables:
- Fósforo disponible mediante metodologías de extracción Vs cantidad de fósforo extraído por las plantas.
- El análisis de regresión será utilizado para determinar:
- La correlación entre los métodos de análisis, el pH vs fósforo disponible; el fósforo extraído por el cultivo vs fósforo disponible; producción de materia seca vs fósforo disponible.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Características químicas de los suelos experimentales
Previo al establecimiento del estudio, fue realizado un análisis de químico de los suelos experimentales. En el Cuadro 1 se presentan los resultado

Cuadro 1. Características químicas y Textura de los suelos experimentales

Suelo	pH	C.E.	Cationes Intercambiables $cm_c\ kg^{-1}$				CICE $cm_c\ kg^{-1}$	TB	SB
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}			
Las Brechas 1	7.7	97	10.6	1.7	0.16	0.89	13,3	13,3	100
Las Brechas 2	6.4	31	2.4	0.9	0.09	0.39	3,8	3,8	100
Las Brechas 3	6.0	28	1.7	0.6	0.07	0.30	2,6	2,6	100
San Pedro 1	6.3	74	3.3	3.0	0.13	0.31	6,7	6,7	100
San Pedro 2	6.1	50	3.4	1.9	0.09	0.38	5,7	5,7	100
San Pedro 3	7.4	577	6.8	2.8	1.73	0.54	11,0	11,0	100
Chané 1	7.1	94	6.4	1.6	0.17	0.60	8,7	8,7	100
Chané 2	6.2	64	4.6	1.5	0.09	0.43	6,6	6,6	100
Chané 3	6.4	84	5.2	3.2	0.16	0.59	9,1	9,1	100

Saavedra 1	6.0	62	3.9	0.7	0.07	0.20	4,8	4,8	100
Saavedra 2	6.1	51	4.4	1.4	0.11	0.26	6,1	6,1	100
Saavedra 3	6.5	89	9.2	3.3	0.21	0.88	13,5	13,5	100
Portachuelo	5.8	59	6.1	1.8	0.11	0.43	8,4	8,4	100
Okinawa II	6.5	105	3.9	1.1	0.86	0.33	5,8	5,8	100

Suelo	M.O.	Nitrógeno	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	%	%	%			
Las Brechas 1	1.23	0.10	**53**	22	25	FYA
Las Brechas 2	0.52	0.05	**63**	19	18	FA
Las Brechas 3	0.58	0.04	**78**	9	13	FA
San Pedro 1	1.56	0.13	**10**	75	15	FL
San Pedro 2	1.74	0.70	**29**	58	13	FL
San Pedro 3	2.66	0.19	**3**	77	20	FL
Chané 1	2.08	0.16	**16**	70	14	FL
Chané 2	1.95	0.14	**33**	53	14	FL
Chané 3	2.53	0.18	**10**	73	17	FL
Saavedra 1	1.43	0.08	**71**	17	12	FA
Saavedra 2	1.81	0.11	**57**	26	17	FA
Saavedra 3	2.40	0.16	**23**	62	15	FL
Portachuelo	2.00	0.11	**39**	38	23	F
Okinawa II	1.36	0.10	**47**	36	17	F

4.1.1. Reacción del suelo (pH)
En la zona de Las Brechas, al sur de la ciudad de Santa Cruz, el pH del suelo varía de moderadamente alcalino (7.6 – 8.0) a débilmente ácido (6.0 – 6.5). En San Pedro y Chané, al norte del departamento, el pH del suelo varía de débilmente alcalino (7.1 – 7.5) a débilmente ácido, mientras que en Saavedra, Portachuelo y Okinawa II, el suelo es un poco más ácido, variando en un rango de 6.0 a 6.5 (Cuadro 3). De acuerdo a la tabla de interpretación del CIAT, estos suelos se clasifican como débilmente ácidos.

4.1.2. Conductividad eléctrica
Esta característica del suelo se presenta en valores bajos (Cuadro 3), excepción del suelo 3 de San Pedro. Villarroel (1998) indica que los rendimientos de muchos cultivos podrían ser restringidos cuando la conductividad eléctrica fluctúa entre 400 a 800 micromhos cm-1. Esta aseveración concuerda ampliamente con la Tabla de interpretación de resultados de análisis de suelos del CIAT, que indica como valor crítico 400 micromhos cm-1.

4.1.3. Calcio intercambiable
El contenido de este elemento varía ampliamente entre las diferentes zonas y entre suelos de una misma zona. En Las Brechas 1 el suelo presenta un valor alto de Ca2+ y es bajo en los suelos 2 y 3 (Cuadro 3). En los otros suelos experimentales las diferencias no son muy amplias, el contenido de Ca2+ varía de bajo (2.0 – 5.0 cmolc cm-1) a moderado (5.1– 10 cmolc cm-1). De acuerdo a la literatura, en suelos alcalinos, con alto contenido de calcio, el fósforo puede estar presente pero no ser disponible para las plantas, una vez que está formando compuestos insolubles con calcio.

4.1.4. Magnesio intercambiable
En los suelos de Las Brechas y Saavedra los suelos presentan contenido bajos (0.51 – 1.50 cmolc cm-1) a moderados (1.51 – 4.00 cmolc cm-1) de Mg2+, mientras que en los otros suelos, este elemento se presenta en contenidos moderados (Cuadro3).

4.1.5. Potasio intercambiable
Este elemento presenta una alta variabilidad en los suelos experimentales (Cuadro 1), en una misma zona se pueden encontrar niveles bajos (0.21 – 0.30 cmolc cm-1), moderado (0.46 – 0.60 cmolc cm-1) y altos (> 60 cmolc cm-1).

4. 1.6. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo
Esta característica de los suelos, se encuentra en un nivel moderado sólo en 2 suelos; Las Brechas 1 y Saavedra 3. En el resto de los suelos la CICE se encuentra en niveles bajos. De acuerdo con Villarroel (1998), la CICE es un importante indicador de la fertilidad del suelo (Cuadro 3).

4.1.7. Suma y Saturación con Bases
De acuerdo a los resultados de los análisis químicos, los suelos experimentales no presentan acidez, por lo que la suma de Bases es igual a la CICE y la Saturación con Bases es de 100 %. De esta manera, se descarta la posibilidad de que el fósforo (P) se encuentre formando compuestos insolubles con Aluminio, en alguno de los suelos (Cuadro 3).

4.1.8. Materia Orgánica
El contenido de este componente del suelo, se encuentra en niveles bajos, en todos los suelos experimentales. Este resultado concuerda con una gran cantidad de estudios realizados en suelos de uso agrícola y pecuario en el departamento de Santa Cruz.
Probablemente, muy poco fósforo este asociado a la materia orgánica del suelo (Cuadro 3).

4.1.9. Nitrógeno total
El nitrógeno, uno de los nutrientes esenciales de mayor importancia para el desarrollo y producción de los cultivos, se encuentra en niveles bajos a muy bajos en la mayoría de los suelos en estudio. Era de esperarse este resultado, una vez que el contenido de materia orgánica, fuente principal de nitrógeno en el suelo, también se presenta en niveles bajos (Cuadro 3).

4.1.10. Fertilidad del suelo
En términos generales, los suelos experimentales presentan un nivel de fertilidad que varía de bajo a moderado, siendo los factores más deficientes el contenido de materia orgánica y nitrógeno del suelo.

4.1.11. Textura del suelo
Todos los suelos en estudio presentan una textura media, con contenidos de arcilla que varían de 12 a 25 %, limo de 9 a 77

% y arena de 3 a 78 %. La mayoría de los suelos son de textura limosa (Cuadro 3).

4.2. Producción de biomasa foliar y contenido de Fósforo
Los resultados de la biomasa foliar y la cantidad de fósforo extraída por el cultivo, son presentados en el Cuadro 4.

En los suelos de la localidad de Las Brechas, la producción de biomasa foliar promedio fue de 3.8 g maceta-1, con muy poca diferencia entre suelos. En San Pedro, el promedio fue de 5.2 g maceta-1, con una diferencia de 1.74 g entre el valor más alto (Suelo1) y el valor más bajo (Suelo 3). En los suelos de Chané se alcanzó el promedio más alto (6.3 g maceta-1), entre los suelos estudiados y la diferencia entre el valor más alto (6.84 maceta-1) y el más bajo (5.85 maceta-1) fue de 1 gramo. En Saavedra, el promedio de los tres suelos fue de 5.3 maceta-1, mientras que en el suelo de Portachuelo fue de 4.92 g maceta-1 y de Okinawa, 5.77 g maceta.

Cuadro 4. Fósforo extraído por la planta y producción de biomasa foliar

Suelo	Fósforo extraído por la planta (%)	Biomasa foliar (g)
Las Brechas 1	0.33	3.49
Las Brechas 2	0.27	3.77
Las Brechas 3	0.28	4.01
San Pedro 1	0.14	4.13
San Pedro 2	0.16	5.58
San Pedro 3	0.20	5.87
Chané 1	0.17	6.84
Chané 2	0.21	6.11
Chané 3	0.17	5.85
Saavedra 1	0.58	4.94
Saavedra 2	0.18	5.28
Saavedra 3	0.16	5.79
Portachuelo	0.17	4.92
Okinawa II	0.31	5.77

En la Figura 1 se puede observar que, en este estudio, la producción de biomasa foliar, no presenta una estrecha relación con el contenido de Materia Orgánica del suelo, por lo que se descarta la posibilidad de que el P-orgánico hubiera afectado significativamente a la producción de biomasa foliar.

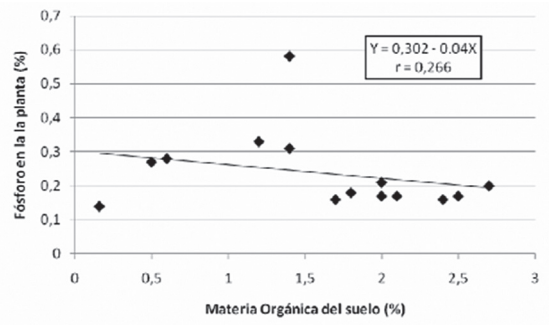

Figura 1. Regresión y correlación entre la Materia Orgánica del suelo y el contenido de fósforo en la planta.

4.3. Extracción de fósforo asimilable
En el Cuadro 5, son presentados los valores de fósforo asimilable extraído por los métodos Mehlich III, Bray I y Olsen modificado, de los 6 suelos experimentales.

Suelo	Método de Extracción		
	Mehlich III	Bray I	Olsen
Las Brechas 1	189.0	39.7	52,3
Las Brechas 2	74.5	29.7	25,0
Las Brechas 3	57.2	21.3	19,3
San Pedro 1	37.0	1.7	4,0
San Pedro 2	59.7	1.7	4,0
San Pedro 3	59.7	10.3	19,3
Chané 1	136.0	17.7	22.0
Chané 2	111.2	15.3	20.7
Chané 3	26.5	3,0	9,0
Saavedra 1	390.0	91.7	65.7
Saavedra 2	34.3	7.0	7.3
Saavedra 3	54.3	11.7	16.7
Portachuelo	21.5	7.7	9,0
Okinawa II	118.2	32.0	41.0
Promedio	97,8	20,7	22,5
	373		9

Cuadro 5. Fósforo asimilable (ppm) extraído de seis suelos agrícolas por los métodos Mehlich III, Bray I y Olsen modificado

4.3.1. Método Mehlich III
De acuerdo a los resultados, mediante este método de extracción, los suelos presentan los valores más altos de fósforo disponible, comparados con los otros dos métodos en estudio. El valor más bajo observado fue de 21.5 ppm y corresponde al suelo de Portachuelo, mientras que el más alto fue de 390 ppm y corresponde al suelo Saavedra 1. El promedio general fue de 97.8 ppm, siendo 373 % superior al método Bray I (20.7 ppm) y 9 % al método Olsen modificado (22.5 ppm).

De acuerdo al análisis de correlación linear, existe una alta relación (r = 0.91) entre el fósforo extraído por el método Mehlich III y el fósforo absorbido por la planta (Figura 2).

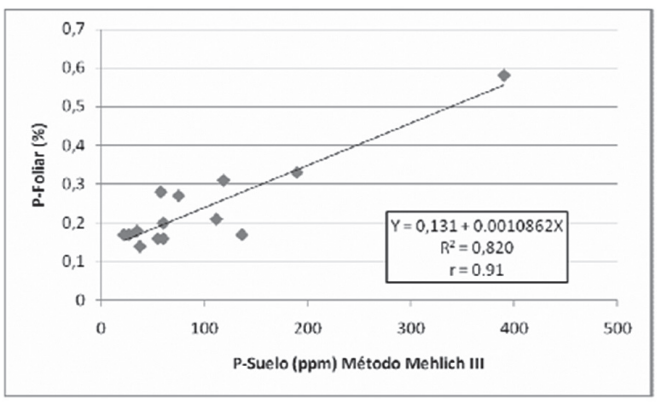

Figura 2. Relación entre el fósforo del suelo extraído por el método Mehlich III y el fósforo extraído por la planta.

El bajo valor del coeficiente de correlación (r = 0.077) demuestra que no existe relación entre el fósforo extraído por el método Mehlich III y la producción de biomasa foliar (Figura 3).

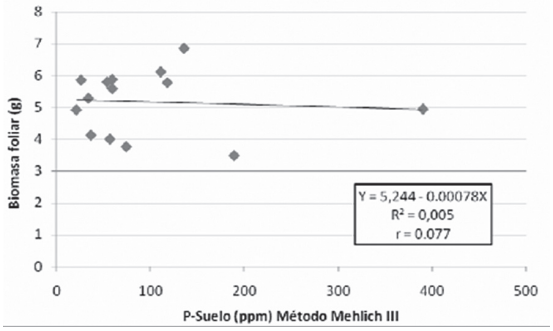

Figura 3. Relación entre el fósforo del suelo extraído por el método Mehlich III y la producción de biomasa foliar de trigo.

4.3.2. Método Bray I

De acuerdo a los resultados (Cuadro 3), mediante este método de extracción, los suelos presentan los valores más bajos de fósforo disponible, comparados con los otros dos métodos en estudio. El valor más bajo observado fue de 1.7 ppm y corresponde al suelo de San Pedro, mientras que el más alto fue de 91.7 ppm y corresponde al suelo Saavedra 1. El promedio general fue de 20.7.

De acuerdo al análisis de correlación linear, existe una alta relación (r = 0.96) entre el fósforo extraído por el método Bray I y el fósforo absorbido por la planta (Figura 4).

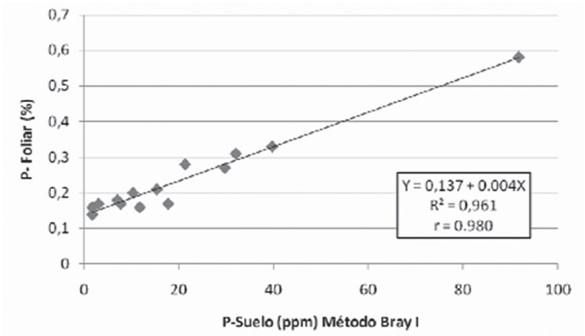

Figura 4. Relación entre el fósforo del suelo extraído por el método Bray I y el fósforo extraído por la planta.

El bajo valor del coeficiente de correlación (r = 0.249) demuestra que no existe relación entre el fósforo extraído por el método Bray I y la producción de biomasa foliar (Figura 5).

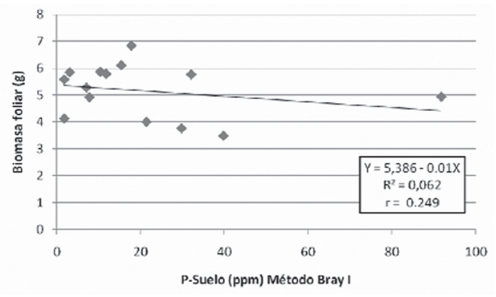

Figura 5. Relación entre el fósforo del suelo extraído por el método Bray I y la producción de biomasa foliar.

4.3.3. Método Olsen modificado

En el Cuadro 5, se puede observar que con este método de extracción, los valores de P son muy similares a los observados con el método, siendo ambos bastante inferiores a los que presenta el método Mehlich III. El valor más bajo observado es de 40 ppm y corresponde a los suelos 1 y 2 de San Pedro, en tanto que el valor más alto es de 65.7 ppm y corresponde al suelo 1 de Saavedra.

El análisis de correlación linear detecto una alta correlación (r = 0.91) entre el fósforo extraído por el método Olsen modificado y el fósforo absorbido por la planta (Figura 6).

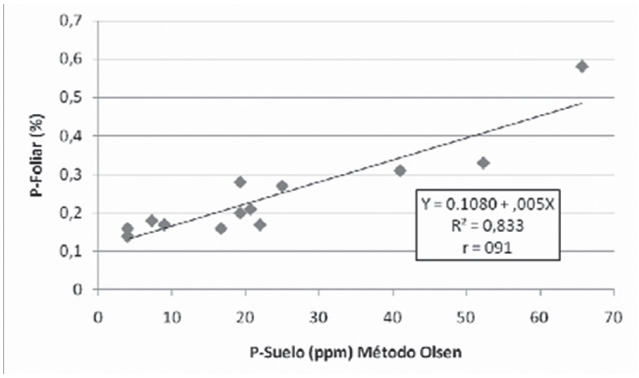

Figura 6. Relación entre el fósforo del suelo extraído por el método Olsen modificado y el fósforo extraído por la planta.

De acuerdo a los resultados del análisis de correlación, no existe relación (r = 0.249) entre el fósforo extraído por el método Olsen modificado y la producción de biomasa foliar (Fig.7).

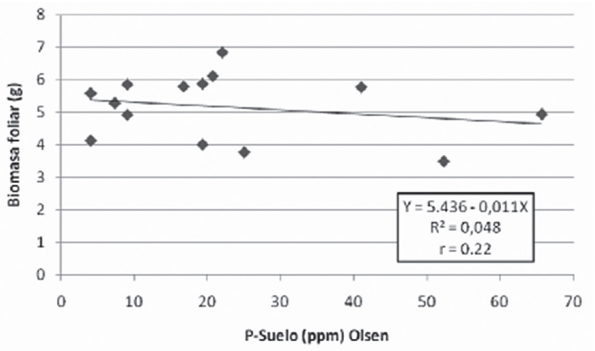

Figura 7. Relación entre el fósforo extraído por el método Olsen modificado y la producción de biomasa foliar.

4.4. Correlación múltiple

En el Cuadro 6 se presentan los coeficientes de correlación entre los tres métodos de extracción de Fósforo y entre estos y algunas características de los suelos estudiados.

Las altas correlaciones entre los tres métodos estudiados, demuestran que los análisis fueron realizados eficientemente. Así mismo, fue observado que las cantidades de fósforo extraídas por los diferentes métodos no guardan relación con otras características del suelo como el pH, contenido de Calcio intercambiable, Materia Orgánica y Arcilla.

Probablemente, el bajo número de muestras no permitió detectar las relaciones esperadas.

	Mehlich	Bray I	Olsen	pH	Ca^{3+}	M.O.	Arcilla
Mehlich	1						
Bray I	0.898	1					
Olsen	0.811	0.870	1				
pH	0.014	0.000	0.092	1			
Ca^{3+}	0.004	0.000	0.043	0.456	1		
M.O.	0.052	0.162	0.120	0.040	0.247	1	
Arcilla	0.039	0.016	0.007	0.232	0.333	0.005	1

Cuadro 6. Índices de correlación múltiple entre tres métodos de extracción y entre éstos y algunas características del suelo

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se emiten las
siguientes conclusiones:

1. Los suelos en estudio presentan un pH que varía de suavemente ácido a suavemente alcalino, con excepción del suelo de Portachuelo que es moderadamente ácido. El contenido de cationes intercambiables es variable, encontrándose suelos de bajo, moderado y alto contenido. En general, la materia orgánica y el nitrógeno total se encuentran en niveles bajos.
2. Entre los extractores, el método Mehlich III, presentó los valores más altos de fósforo disponible, el método Bray I presentó los valores más bajos y el Olsen presentó valores ligeramente superiores al Bray I.
3. Se observa una correlación positiva entre los tres métodos de extracción de fósforo asimilable y el fósforo absorbido por la planta de trigo. Sin embargo, no se fue observada una correlación significativa entre el fósforo asimilable y el peso de la masa foliar de trigo.
4. No se observó correlación significativa entre el fósforo asimilable extraído con los tres métodos y el pH, contenido de calcio intercambiable, contenido de materia orgánica y contenido de arcilla en el suelo.
5. Se observa una alta correlación entre los tres métodos de extracción, que demuestra la precisión en la ejecución de los análisis.

6. RECOMENDACIONES

Con base a los resultados y conclusiones del presente trabajo de investigación se emiten las siguientes recomendaciones:

1. Realizar un nuevo estudio, ampliando el número de muestras, de manera que se cuente con un rango más amplio de valores de fósforo disponible, así como de otras características del suelo como pH, calcio intercambiable y materia orgánica.
2. En un nuevo estudio, incluir el método de la resina para la extracción de fósforo asimilable.

BIBLIOGRAFIA (Resumen)

- **ANAPO CIAT. 2004.** Guía de recomendaciones técnicas. Trigo. Santa Cruz – Bolivia.
- **BUCKMAN, L. 1950.** Fósforo asimilable (Edafología). Buenos Aires, Argentina.
- **BUCKMAN, H. O., y BRADY, N. C., (1970)**. "Naturaleza y propiedades de los. Suelos". 980 PP. Editorial Montaner y Simón S. A. Barcelona.
- **BORNEMISZA e IGUE. 1966.** El fósforo orgánico en los suelos tropicales. Editorial Turrialba.
- **BLACK, C.A., 1975.** Relaciones suelo-planta Tomo II. Editorial. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 460 pp.
- **CANEDO U., E. 1970** Estudio preliminar de la distribución vertical de la Microflora en un suelo aluvial del trópico húmedo. Tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Perú, 112 pp.
- **CANEDO U., E. 2000.** Apuntes de clases de Edafología. U.A.G.R.M.