



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**EVALUACIÓN DE SOLUCIONES EXTRACTORAS DE FÓSFORO
(P) DISPONIBLE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA FUENTE
FOSFATADA EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. NATY ADELAIDA SARDON NINA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2023



DEDICATORIA

En memoria de Domingo Nina y Adam Carlos que desde el más allá cuidan de mí. Con cariño a mis queridos padres, Victor Hernán Sardon Ramos y Anselma Nina Cahuana, por ser ejemplo de fortaleza, valentía y por el apoyo incondicional brindado durante toda mi formación profesional.

A mis hermanos: Jaime, Sandro, Struway, Ivan y Medalith, por su paciencia, comprensión, aliento incondicional hasta hoy, por estar conmigo y apoyarme siempre que lo necesite para hacer posible el logro de mis propósitos.

A mis tíos(as) por darme buenos consejos, a mis primas por impartir alegría en la familia.

Naty A. Sardón Nina



AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme en la vida, por permitirme lograr esta meta trazada y fortalecerme en momentos de dificultades.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por haberme brindado una formación profesional gracias a las enseñanzas de sus docentes por los conocimientos impartidos durante mi formación profesional.

Al mi director de tesis M.Sc. Sandro Sardon Nina, por su apoyo, orientación y asesoramiento durante la ejecución y culminación del presente proyecto de investigación.

A los miembros del jurado de tesis conformado por: M.Sc. Daniel Canaza Mamani, M.Sc. Manuel Alfredo Callohuanca Pariapaza, M.Sc. Julio Cesar Sosa Choque por todo el apoyo brindado de cada uno de los miembros del jurado.

A los encargados del CIP-Tambopata, CIP-Ilpa e INIA-Moquegua, por facilitarme las instalaciones y brindarme su apoyo en la realización de las actividades de campo del presente proyecto de investigación.

Al Ing. Olga Asuncion Quispe Nina, por su apoyo y orientación del presente proyecto de investigación.

A Wilson, por el apoyo incondicional.

A mis amigos y amigas del SUNIP y los que tengo de ahora, por el apoyo y darme siempre la fuerza, motivación, por demostrar siempre los buenos valores de la amistad.

Naty A. Sardon Nina



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 10

ABSTRACT..... 11

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL..... 13

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 13

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ANTECEDENTES..... 14

1.2. MARCO TEÓRICO..... 16

1.2.1. Suelo 16

1.2.2. Los suelos según su origen 17

1.2.3. Correlación de métodos de análisis químico de suelos 19

1.2.4. El fósforo en el suelo 20

1.2.5. Factores que afectan la disponibilidad del fósforo en el suelo 23

1.2.6. Métodos para el análisis de fósforo en el suelo 24



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR EXPERIMENTAL	28
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS.....	29
3.2.1. Material experimental.....	29
3.2.2. Materiales de campo	29
3.2.3. Equipos de laboratorio.....	30
3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	30
3.3.1. Calicata y muestreo de suelos.....	30
3.3.2. Distribución de tratamientos e Incubación	32
3.3.3. Variables de respuesta y estudio.....	34
3.3.4. Determinación del Fósforo (ppm)	35
3.3.5. Análisis de datos	37

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS DE LA EEA	
MOQUEGUA, CE ILLPA Y CE TAMBOPATA.....	38
4.1.1. Clasificación de los suelos.....	38
4.1.2. Características físico químicas de cada tipo de suelo	38
4.2. DETERMINACIÓN DE LOS DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE	
FÓSFORO DISPONIBLE EN LOS TIPOS DE SUELO.....	43
4.2.1. Fósforo disponible en el suelo	43
4.3. DETERMINACIÓN DEL MEJOR MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE	
FÓSFORO DISPONIBLE CON LA APLICACIÓN DE LA FUENTE	
FOSFATADA EN CADA TIPO DE SUELO	47



4.3.1. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo de la EEA Moquegua.....	48
4.3.2. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo de CE ILLPA - sierra.....	50
4.3.3. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo del CE Tambopata	51
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES.....	56
VII. REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	61

Área : Ciencias agrícolas.

Tema : Manejo y Conservación de Recursos de Agua y Suelo.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 03 de enero de 2023



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de hojarasca, concentración y reabsorción de fósforo (P).....	21
Tabla 2. Distribución de los tratamientos en estudio.....	33
Tabla 3. Clasificación taxonómica de los suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata.....	38
Tabla 4. Características físico – químicas de los suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata.....	39
Tabla 5. Significancia del Análisis de variancia de efectos principales y efectos simples para el fósforo disponible de los suelos	45
Tabla 6. Comparación de medias para el efecto métodos de extracción de Fósforo disponible del suelo	46
Tabla 7. Comparación múltiple de medias para el efecto métodos de extracción dentro de cada tipo de suelo para el P disponible.....	46
Tabla 8. Comparación múltiple de medias del método de extracción de P según dosis de fertilización.....	47
Tabla 9. Correlación y significancia de la disponibilidad de Fósforo según el método extractante.	48
Tabla 10. Resultados de análisis de caracterización de suelos	67
Tabla 11. Resultados del análisis del suelo EEA Moquegua.....	68
Tabla 12. Resultados del análisis del suelo CE Illpa	68
Tabla 13. Resultados del análisis del suelo CE Tambopata	69
Tabla 14. Análisis de variancia para el Fósforo disponible del suelo	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo de suelos	29
Figura 2. Correlación según método Olsen para suelo EEA Moquegua	49
Figura 3. Correlación según método Bray II para suelo EEA Moquegua	49
Figura 4. Correlación según método Olsen para suelo CE Illpa.....	50
Figura 5. Correlación según método Bray II para el suelo del CE Illpa.....	51
Figura 6. Correlación según método Olsen para suelo CE Tambopata	52
Figura 7. Correlación según método Bray II para suelo CE Tambopata.....	53
Figura 8. Paisaje de la Estación Experimental Agraria Moquegua	70
Figura 9. Apertura de la calicata en la Estación Experimental Agraria Moquegua	70
Figura 10. Materiales de trabajo para la apertura de calicata	71
Figura 11. Apertura de la calicata del Centro Experimental Illpa	71
Figura 12. Perfil de suelo del Centro Experimental Illpa	72
Figura 13. Muestreo de suelo con barreno en Estación Experimental Agraria Moquegua	72
Figura 14. Muestreo de suelo con barreno en Centro Experimental Tambopata	73
Figura 15. Perfil de suelo del Centro Experimental Tambopata	73
Figura 16. Secado de muestras de suelos.....	74
Figura 17. Tamizado de muestras	74
Figura 18. Secado de muestras de los tipos de suelo	75
Figura 19. Pesaje de suelo para la incubación	75
Figura 20. Pesaje de fosfato diamonico para la combinación para la incubación	76
Figura 21. Mesclado de suelo y fosfato diamonico para la incubación.....	76
Figura 22. Mezcla de suelo y fertilizante para la incubación	77
Figura 23. Muestras listas para la incubación.....	77



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ANVA	: Análisis de varianza
CE	: Centro Experimental
C.M.	: Cuadrados medios
C.V.	: Coeficiente de variación
EEA	: Estación Experimental Agraria
F.V.	: Fuente de variabilidad
Fc	: F calculada
Ft	: F tabular
F.V.	: Fuente de variabilidad
HCl	: Ácido clorhídrico
NaHCO ₃	: Bicarbonato de sodio
NH ₄ F	: Fluoruro de amonio
n.s.	: No significativo
P	: Fósforo
ppm	: Partes por millón
RF	: Roca fosfórica
S.C	: Suma de cuadrados
*	: Es significativo
**	: Es altamente significativo



RESUMEN

La gestión eficiente en los cultivos depende del tipo de suelo, la disponibilidad de nutrientes y detectar cuál elemento puede ser limitante para el cultivo. La disponibilidad del fósforo (P) disponible y otros elementos esenciales están basados en los métodos de extracción que permita obtener resultados confiables. El presente trabajo de investigación de evaluación de dos soluciones extractoras para determinar el P disponible se realizó en diferentes tipos de suelos. La finalidad de la investigación es contar con métodos estandarizados en los laboratorios de suelos a nivel local y nacional. Por la tanto, el objetivo principal fue evaluar la metodología de extracción química de P que permita conocer el mejor extractante mediante la correlación. Los objetivos específicos fueron: 1) ubicar la clasificación de los tipos de suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata, 2) determinar los dos métodos de extracción de P disponible (Bray II y Olsen) en los tipos de suelo, 3) evaluar el mejor método de extracción del P disponible con la aplicación de una fuente fosfatada en dosis creciente en diferentes tipos de suelo. La metodología de extracción de P del suelo fue: Método Bray II y Método Olsen. Los resultados se analizaron con el Diseño Completamente al Azar de tres factores. Los resultados fueron: Los suelos de la EEA Moquegua y del CE Tambopata se clasificaron como Inceptisol y el suelo del CE Illpa se clasificó como Mollisol. La extracción de P fue mayor por el método Bray II para todos los suelos (costa, sierra y selva). Sin embargo, para el caso del mejor método de extracción de P fue el método Bray II para el suelo de la CE Tambopata y para los suelos del CE Illpa y la EEA Moquegua el mejor método de extracción es Olsen.

Palabras Clave: Fósforo disponible, Método Bray II, Método Olsen, Tipos de suelos.



ABSTRACT

Efficient management in crops depends on the type of soil, the availability of nutrients and detecting which element may be limiting for the crop. The availability of available phosphorus (P) and other essential elements are based on extraction methods that allow reliable results to be obtained. The present research work evaluating two extractor solutions to determine the available P was carried out in different types of soils. The purpose of the research is to have standardized methods in soil laboratories at the local and national level. Therefore, the main objective was to evaluate the P chemical extraction methodology that allows knowing the best extractant through correlation. The specific objectives were: 1) to locate the classification of the types of soils of EEA Moquegua, CE Illpa and CE Tambopata, 2) determine the two methods of extraction of P available (Bray II and Olsen) in the soil types, 3) evaluate the best available P extraction method with the application of a phosphate source in increasing dose in different types of soil. The soil P extraction methodology was: Bray II Method and Olsen Method. The results were analyzed with the Completely Random Design of three factors. The results were: The soils of the EEA Moquegua and CE Tambopata were classified as Inceptisol and the soil of CE Illpa was classified as Mollisol. P extraction was higher by the Bray II method for all soils (coast, highlands and jungle). However, in the case of the best P extraction method, it was the Bray II method for the Tambopata CE soil and for the Illpa CE and Moquegua EEA soils, the best extraction method is Olsen.

Keywords: Available Phosphorus, Bray II Method, Olsen Method, Types of soil.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es uno de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, además es un componente de la molécula de Adenosín difosfato (ADP) y Adenosín trifosfato (ATP), por lo que almacena energía en los diferentes compuestos celulares (Osorio, 2018).

En el ecosistema, el P forma parte de todos los materiales parentales como las rocas y los minerales que están presentes en el suelo. También, las fuentes de P están en las enmiendas orgánicas y fertilizantes inorgánicos. Para una buena recomendación de fertilizantes y sea útil se debe utilizar diferentes soluciones extractoras que atraigan los nutrientes disponibles en el suelo y correlacione con los rendimientos de un cultivo en específico, con la finalidad de seleccionar los niveles críticos de un elemento o varios que están presentes en el suelo a través de los tipos de estudios o programas de correlación y calibración (Zapata, 2014).

Lamentablemente, la deficiencia del P en el suelo para las plantas es una de las limitaciones en la producción agrícola generalmente en la amazonia o la selva del Perú. La concentración de P depende del tipo de suelo y este puede estar fijado o no estar disponible en la solución del suelo. En ese sentido, las raíces de las plantas no pueden absorberlo (Osorio, 2018).

La finalidad del trabajo de investigación es evaluar el mejor método de extracción del P con la aplicación de una fuente fosfatada en dosis creciente, en diferentes tipos de suelo para contar con métodos estandarizados a nivel local y nacional. Para elegir el mejor extractante es necesario que los laboratorios estén a cargo de profesionales con conocimientos en la materia. Dichos laboratorios están bajo la dirección de ingenieros



agrónomos o químicos. Los agrónomos buscan la calidad agronómica del análisis del suelo, mientras que los químicos les interesan la calidad analítica del análisis. No es extraño ver, que cambian los métodos de extracción buscando que la solución no les cause daño a los equipos analíticos. Además, han tenido poca conexión con la realidad del campo; lo que permitirá obtener información de manera acertada.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la metodología de extracción química de P disponible que permita conocer el mejor extractante mediante la correlación.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ubicar la clasificación de los tipos de suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata.
- Determinar los dos métodos de extracción de fósforo disponible (Bray II y Olsen) en los tipos de suelo.
- Determinar el mejor método de extracción del P disponible con la aplicación de una fuente fosfatada en dosis creciente en diferentes tipos de suelo.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Según Zapata (2018), el P en los suelos se presenta en formas inorgánicas y orgánicas que se originan principalmente por la alteración de los minerales de fosfato de calcio, el más común de los cuales es el apatito. Entre el 30% y el 50% del P total en los diferentes tipos de suelos se encuentra en la fracción orgánica.

Lindsay (1979), menciona que las diferentes soluciones extractoras son ácidas, básicas o sales que pueden actuar generalmente de las siguientes maneras: incrementando la solubilidad, por ejemplo, el extractante Bray es una solución ácida que es capaz de extraer el P, porque el ion flúor (F) compleja al catión fosfato y en la solución ácida incrementa la solubilidad del compuesto de P que se encuentra en el suelo. Mientras que en el extractante Olsen es una solución alcalina de bicarbonato de sodio que libera al P del catión que lo hace insoluble.

Rone *et al.* (1992), correlacionaron cuatro soluciones extractoras como son: Bray I, Bray II, Olsen y Mehlich para P soluble, el experimento se realizó en fincas de cañeros del Ingenio de Sinaloa. Los resultados fueron: el método o el mejor extractante que presentó un coeficiente de correlación más alto de P disponible con relación al P disponible absorbido por la planta fue el método Bray I ($r=0.77$), por lo que, en dicha investigación recomienda utilizar el método Bray en las rutinas de análisis de P disponible en los suelos de dicha región.

Borges *et al.* (2002), realizó la correlación en diferentes tipos de suelos de tipo Luvisol vértico, Leptosoles y Rendzinas en Yucatán - México, en donde identificó el



mejor método que correlacionó la disponibilidad de P fue por el método Olsen cuyo coeficiente de correlación fue $r=0.801$.

González *et al.* (1999), realizó la correlación y calibración en un suelo de tipo Andisol de la sierra Tarasca – México, en donde se utilizó varios métodos como Bray, Olsen, Carolina del Norte y Soltanpour, dando como resultado la técnica o el método Bray resultó confiable para determinar el P disponible ya que el coeficiente de correlación fue mayor que otros.

Hedley y McLaughlin (2005), indican que el ingreso de P al agrosistema está dada por el aporte de diferentes fertilizantes o enmiendas. La adición de fertilizantes fosfatados en el suelo se diluye con el contacto del agua. Alrededor del fertilizante ocurren varias reacciones junto a la solución del suelo y los compuestos de los fertilizantes bajan la concentración de fósforo de la solución, adquiriendo resultados bajos en fosfatos solubles. La fijación, sorción o adsorción del P comprende los procesos de precipitación e inmovilización biológica. Además, se evaluaron dos métodos como Olsen y Bray-Kurtz con el objetivo de determinar el P disponible en el suelo. En la investigación utilizaron dos muestras compuestas que se obtuvieron en el campo de Mucuchíes-INIA. Los principales resultados obtenidos son: las muestra con manejo de cultivos agrícolas fueron de pH 4.85; 53.3 y 253 μg de P/g con los extractantes de Olsen y Bray-Kurtz. La siguiente muestra sin manejo de cultivos agrícolas se obtuvieron pH 5.54; 19.7 y 38.7 μg de P/g con los extractantes de Olsen y Bray-Kurtz. Finalmente, se analizaron los coeficientes de variación para las diferentes metodologías cuyo resultado que mostró con mayor precisión para determinar el P disponible en los suelos es el extractante de Bray-Kurtz.

Hedley y McLaughlin (2005), mencionan que los fertilizantes a base de P, son de alta solubilidad y cuando son aplicados al suelo esta se diluyen con el agua y comienzan



con las reacciones del suelo y fertilizante. Las reacciones químicas ocurren circundante y dentro del gránulo y en la solución del suelo.

Hammond *et al.* (1986), las condiciones químicas, físicas, mineralógicas y cristalográficas de la roca fosfórica determinan su idoneidad para su aplicación directa. Los compuestos de fosfato en las rocas fosfóricas (RF) están en forma de apatito, que no es soluble en agua. Por lo tanto, el contenido de fósforo en las RF no está directamente disponible para las plantas. Se han usado varias soluciones de extracción química para estimar la solubilidad de la roca fosfórica y su potencial para aplicación directa. Las soluciones empleadas para medir la solubilidad fueron el ácido fórmico al 2%, ácido cítrico al 2% y citrato de amonio.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Suelo

En la tesis desarrollada por Sardon (2019), menciona que el suelo es un cuerpo natural, con una génesis definida por cinco factores que desencadenan unos procesos que le confieren la morfología y propiedades químicas, físicas y orgánicas. Siendo el suelo el resultado de los “factores formadores del suelo” y en expresada en la ecuación factorial (Jenny, 1941, 1980):

$$\text{Suelo} = f(\text{cl}, \text{o}, \text{r}, \text{p}, \text{t} \dots)$$

Donde:

Los factores de formación son: el clima (cl), los organismos (o), relieve (r), material parental (p) y tiempo (t). El suelo al ser un cuerpo continuo ubicados en el estrato superficial de la corteza terrestre, es definido como un cuerpo natural, tridimensionales, independientes y dinámicos, que tienen características de acuerdo al lugar, que ocurren diferentes procesos pedogenéticos. La clasificación y la génesis de suelos realiza en base a su morfología (Zapata, 2006).



La descripción del pedón o perfiles de suelos y su clasificación es plasmada en la Clasificación Taxonómica o la Clasificación según la Base Referencial Mundial.

La presentación final del mapa de los suelos se realiza a través de la cartografía de suelos que está delimitada y cartografiada por el símbolo en los mapas de suelos. La unidad de suelos está expresada según a la dominancia del suelo, cuyas unidades cartográficas son empleadas como la consociación, complejo y asociaciones (Zapata, 2006).

2.2.2. Los suelos según su origen

Según GORE PUNO (2015), los suelos se desarrollan de diferentes materiales parentales ya sean de rocas o de depósitos, a continuación describen los suelos de diferentes materiales:

Suelos que se originan a partir de depósitos lacustres

Los suelos se forman a partir de materiales finos que se están circundantes al lago, pueden ser profundos, aunque en algunas zonas están limitados por la napa freática alta. Geomorfológicamente están distribuidos en las superficies llanas con una morfometría cóncava o depresionadas. El perfil de suelos puede ser algo evolucionado, con textura fina con pH neutra a alcalina, además puede contener sales y sodio intercambiable con drenaje pobre a imperfecto.

Suelos que se originaron a partir de depósitos aluviales recientes

Los suelos se formaron a partir de depósitos fluviales, que están circundante en los ríos y éstas pueden ser las terrazas inundables o bajas. Además, las georformas pueden ser superficies llanas. Estos suelos pueden ser superficiales a moderadamente profundo, de perfil ligeramente evolucionado y también presentan drenajes de moderado a algo excesivo.



Suelos que se originaron a partir de depósitos aluviales subrecientes

Estos suelos que se formaron a partir de depósitos aluviales que se originaron más antiguo que el depósito aluvial reciente. Estos suelos están en las geoformas de terrazas medias con pendientes llanas y drenaje variado.

Suelos que se originaron a partir de depósitos coluvioaluviales

Estos suelos se formaron a partir de depósitos acumulados por acción del agua y la gravedad, cuyo transporte es corto y están distribuidos en las superficies de pie de laderas, conos de deyección o abanicos aluviales. El perfil de suelo es poco evolucionado o variado, moderadamente profundo y con drenaje bueno a imperfecto.

Suelos que se originaron a partir de depósitos glaciares

Los suelos se formaron a partir de depósitos glaciares, que se encuentran en superficies de alta montaña con materiales heterogéneos desde materiales de arcillas, grava, guijarros y rocas. El perfil de variable y con drenaje a bueno a moderado.

Suelos que se originaron a partir de materiales residuales

Los suelos se formaron en el lugar o in situ y están pueden ser de materiales de origen ígneo (rocas plutónicas y rocas volcánicas), sedimentario y metamórficas. Estás pueden estar distribuidas en diferentes geoformas como colinas o montañas. El perfil de suelos es variable, que depende de las condiciones climáticas.

Suelos que se originaron a partir de materiales de origen antrópico

Estos suelos fueron modificados por la acción humana. Las geoformas antrópicas pueden ser las terrazas o andenes que fueron construidos en laderas de colinas o laderas de montañas con la finalidad de conservar el suelo de la erosión.



Además, se tiene los Camellones o Waru Warus que fueron construidos en superficies llamas o inundables.

2.2.3. Correlación de métodos o extractantes de análisis químico

Correndo y García (2012), indican que los resultados de análisis del suelo se correlacionan de mejor manera con la absorción de los nutrientes que es parte o toda la planta en campo. Además, en otros resultados se correlacionaron con la materia seca de los cultivos.

Osorio (2018), en su libro indica que el “método de extracción de un nutriente del suelo debe ser previamente validado a través de dos tipos de estudios: correlación y calibración. Con la correlación se busca un método de extracción que separe los suelos con bajos niveles de disponibilidad de un nutriente de los suelos con altos niveles de dicho nutriente. Experimentalmente esto se hace al aplicar a través de una fuente soluble en cantidades crecientes del nutriente en cuestión a un(os) suelo(s) que tenga un contenido bajo del nutriente. Luego de un periodo de incubación se extrae el nutriente del suelo con una solución extractora. Se espera remover cantidades crecientes del nutriente. Si un método de extracción es adecuado para un suelo el coeficiente de correlación (r) entre la cantidad aplicada y la extraída debe ser alto ($r \rightarrow 1$). En general, un método será más adecuado que otro cuando el valor de r sea más alto. Un método de extracción puede ser más adecuado en un tipo particular de suelos que en otros. Para escoger que método usar es necesario considerar el costo y la complejidad del método”.

Según Zapata (2018), menciona que los programas de correlación determinan la eficacia de los extractantes utilizados mediante el coeficiente de correlación y conviene que se apliquen a un gran número de suelos y nutrimentos. Además, el programa de correlación ayudará a interpretar los resultados de análisis



de los laboratorios. Para que sea útil la correlación con fines de conocer la disponibilidad de los nutrientes en el suelo deberá estar correlacionado y calibrado.

2.2.4. El fósforo en el suelo

El P es el elemento esencial de los 17, que tiene función en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, siendo uno de los componentes de las moléculas de Adenosín difosfato (ADP) y Adenosín trifosfato (ATP), por lo que almacenan energía para la síntesis de los diferentes compuestos celulares (Osorio, 2018). Por lo tanto, el P se almacena en las semillas, lo cual garantiza que la nueva plántula tenga suficientes reservas de este nutriente. También, es esencial su presencia en las etapas iniciales de desarrollo de los cultivos y en las fases como son la floración y la fructificación.

Origen

La fuente del P es el material parental, que están en las rocas fosfatadas, o minerales como la apatita, la fluorapatita, la vivianita y otros. Además, constituye en un 0,12 % de la superficie de la corteza terrestre (Osorio, 2018).

Formas del fósforo en el suelo

Según Zapata (2018), el P en los suelos se presenta en formas inorgánicas y orgánicas que se originan principalmente por la alteración de los minerales de fosfato de calcio, el más común de los cuales es el apatito. Entre el 30% y el 50% del P total en la mayoría de los suelos se encuentra en la fracción orgánica.

Fósforo orgánico del suelo

Buena parte del P en el suelo está en forma orgánica y en algunos casos es la forma predominante (>50%). Esto es particularmente cierto en Histosoles, Andisoles y algunos Oxisoles y Ultisoles con taxones húmic (alto contenido de

materia orgánica). El fosfato orgánico está representado por fosfolípidos, fosfoazúcar, ATP, ácidos nucleicos y otros compuestos aún no identificados. En general, el P orgánico decrece con la profundidad, en la superficie se pueden encontrar valores de 5-1000 mg kg⁻¹ de suelo. El P-orgánico del suelo se puede encontrar en tres formas: (i) en la hojarasca en diferentes estados de descomposición, (ii) en la materia orgánica humificada y (iii) en la biomasa microbial. La hojarasca que cae al suelo se constituye en un aporte considerable de P que normalmente varía entre 2-5 mg/ha/año en cultivos y 5-20 mg/ha/año en bosques tropicales (Tabla 1). Antes de caer las hojas, las plantas translocan a los tejidos jóvenes buena parte del P que se ha acumulado (reabsorción de P). Por lo anterior, la hojarasca recién caída tiene concentraciones de P muy bajas (0.01-0.1%).

Tabla 1.

Cantidad de hojarasca, concentración y reabsorción de fósforo (P)

Cobertura	Hojarasca (ton ha ⁻¹ año ⁻¹)	P en la hojarasca (%)	Reabsorción de P (%) *	Suelo-Sitio
Pino (<i>Pinus patula</i>)	7.8	0.03	18.8	Andisol, Guame
Cipres (<i>Cupressus lusitancia</i>)	3.5	0.03	12.4	Andisol, Guame
Roble (<i>Quercus humboldtii</i>)	7.5	0.03	31.4	Andisol, Guame
Mixta (bosque montano bajo)	-	0.05	45.2	Andisol, Risaralda
Mixta (bosque montano alto)	-	0.1	30.5	Andisol, Risaralda
<i>Acacia mangium</i>	10.3	0.01	74.3	Ultisol, Taraza

*Reabsorción de P (%) = [(P en hojas verdes – P en hojarasca)/P en hojas verdes] x 100

Fuente: León (2007), Vera *et al.* (1999), Castellanos (2009).



Fósforo inorgánico

La clasificación del P inorgánico es clasificada de acuerdo a su disponibilidad inmediata para las plantas en: P soluble, P intercambiable y P insoluble (Sanzano, 2006).

Fósforo soluble o disponible

Según Sanzano (2006), indica que el P soluble puede ser aprovechado por las plantas de forma inmediata de la solución del suelo que está en forma de fosfatos. Para que los cultivos se desarrollen es necesario que el P sea renovado en la solución. Las formas químicas aprovechables son en fosfatos diácidos (H_2PO_4^-) y monoácidos ($\text{HPO}_4^{=}$). Estos iones fosfatos en la solución del suelo está ligada con el pH. Además, el ion H_2PO_4^- es favorecido por pH bajos y el ion $\text{HPO}_4^{=}$ está favorecido por pH con valores altos.

Fósforo intercambiable

Según Sanzano (2006), menciona que el P intercambiable es también conocido como P adsorbido, cuya disponibilidad es muy lenta que al P soluble. Sin embargo, la adsorción de fosfatos en el suelo, es un proceso que depende de la reacción del suelo o pH. Cuando la reacción es ácida aumentan las cargas positivas de los coloides y aumenta la adsorción. También, el P lábil puede estar adsorbido por óxidos e hidróxidos de Fe y Al, que pueden fijar en gran cantidad que las arcillas.

Fósforo insoluble

Según Sanzano (2006), menciona que hace parte de los minerales primarios y secundarios que no están disponibles para las plantas. Por la tanto, la insolubilización puede ser a la precipitación de fosfatos cálcico en pH básico o alcalino, o también puede precipitarse en fosfatos de Fe y Al en pH ácido. Además,



en suelos ácidos o alcalinos el P reaccionar en cadenas y pueden producir compuestos fosforados de solubilidad baja. Por ende, durante el tiempo, el P permanece en formas menos fosforo solubles y no están el fosforo disponible para los cultivos.

2.2.5. Factores que influyen en la disponibilidad del fósforo

Textura

Según Sanzano (2006), menciona que la textura influye en la absorción del P, por el contenido de agua y las partículas de arcillas puede retener como contribución del P en el suelo. Los suelos con textura gruesa retendrán menos agua que las de textura fina. Además, el P intercambiable será menor en textura de gruesa.

El pH

Según Osorio (2018), considera que la solubilidad del P es mayor entre el rango de pH de 5.5 a 6.5, mientras que en los suelos ácidos no está disponible por lo que se deberá neutralizar el Al intercambiables para mejorar el aprovechamiento de la fertilización fosfatada.

Materia orgánica

Según Osorio (2018), indica que el contenido de materia orgánica al aumentar disminuye la capacidad de fijación P en el suelo. Esto ocurre cuando las sustancias húmicas recubren las superficies de las arcillas y óxidos e hidróxidos de Fe y Al. Adicionalmente, los iones de Fe y Al pueden ser complejados por las sustancias húmicas.



Humedad

Según Sanzano (2006), menciona que el movimiento del P incrementa con el contenido del agua en el suelo. Sin embargo, la absorción del P por los cultivos incrementa cuando succión de la matriz del suelo baja. Por lo que concluye, que la transferencia del P a las raíces es a través del agua.

2.2.6. Métodos para la determinación de fósforo disponible

Método Bray II

El método Bray II determina el P en los suelos mediante la reacción de un extractante y su posterior cuantificación por colorimetría. Las cantidades extraídas dependen del suelo y su manejo. Las mediciones realizadas por el método Bray II pueden ser empleadas en campo de la agronomía y el medio ambiente. Su interpretación de los valores altos, medios o bajos, es conocida como la calibración. Cuando la calibración es realizada correctamente, la cantidad de P extraída sirve como índice de fertilidad del suelo y como orientación para la fertilización de los cultivos (Cate y Nelson, 1965; Nelson y otros, 1953).

Principio

Son muchas las soluciones que se ha propuesto para extraer las diferentes formas que el P tiene en los suelos. El agua fue el primer extractante utilizado en las investigaciones para evaluar la disponibilidad de este elemento esencial para las plantas. La baja concentración de P extraído y la dificultad de relacionarla con el contenido en la planta limitó su uso (Black, 1965):

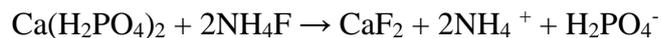
Bray y Kurtz (1945) sugirieron que la combinación de HCl y NH_4F podría remover el P de los distintos compuestos que este elemento forma en el suelo. Esta cantidad extraída se relaciona con las cantidades de este elemento absorbidas por la planta. Posterior al uso de este extractante, se propusieron otros basados en el



mismo principio. Fue así, como aparecieron los métodos de Mehlich, Olsen y otros más (Olsen y otros, 1954; Mehlich, 1984).

La solución extractora Bray II es una mezcla de fluoruro de amonio y ácido clorhídrico. El empleo de esta solución extractora del P se basa en la solubilidad de los compuestos que forma este elemento por la acción complejante del ion F^- y de la acidez de la solución, la cual tiene un pH menor de 3 (Kuo, 1996). Este bajo pH y la presencia de iones fluoruros mantienen en solución al P extraído facilitando su real cuantificación colorimétrica.

Según Bazán (2017), las reacciones con los extractantes se resumen en:



Determinación analítica del fósforo

Para cuantificar el P extraído se utiliza principalmente el método colorimétrico, en los cuales se aprovecha la propiedad del ion fosfato, de reaccionar con el molibdato y formar un complejo soluble de fosfomolibdato de color azul en medio ácido y en la presencia de un reductor. La intensidad del color azul aumenta con la concentración del P. Es el método analítico más utilizado para cuantificar el fósforo extraído por los distintos métodos. Murphy y Raley (1962), realizaron un estudio sobre las condiciones analíticas de dicho método y hallaron que el pH y otros iones influyen en el desarrollo del color.

Método Olsen

(Cate *et al.*, 1953), menciona que este método Olsen determina el P en los suelos mediante la acción de dicho extractante y su posterior cuantificación por



colorimetría. Las cantidades extraídas dependen del suelo y sus manejos. Las mediciones realizadas por este método pueden ser empleadas en campos relacionados con la agricultura y el medio ambiente. Su interpretación dependerá de los niveles de investigación o estudios, para determinar los niveles de altos, medios o bajos es conocida como la calibración.

Principio

Olsen *et al.* (1954, 1982), utilizaron una solución de 0.5 M de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) a pH 8.5 para extraer el P de suelos calcáreos, alcalinos y neutros. Esta extracción precipita al calcio como carbonato favoreciendo la liberación del P de los compuestos que lo tienen precipitado. Además, se espera que el alto valor de pH de la solución extractora favorezca la extracción del P adsorbido y ocluido. El hecho de haberse utilizado en suelos de reacción neutra y alcalina ha llevado a que se crea que este método es específico para este tipo de suelos.

Los fosfatos de calcio son los compuestos principales de P en suelos alcalinos y calcáreos, mientras que los suelos neutros y ligeramente ácidos, pH entre 6 y 7, puede contener tantos fosfatos de Ca, Fe y Al. En suelos con pH inferiores a 5.5 predominan compuesto de fosfatos unidos al Fe y al Al. El extracto se NaHCO_3 (Black, 1965; Jackson, 1958; Linsay, 1979; Olsen *et al.*, 1954) puede extraer fosfato de estos compuestos, además del adsorbido en la superficie de los coloides. Se ha desarrollado el método Olsen con la presencia de un quelatante como el EDTA, denominado Olsen Modificado para la determinación de P y microelementos.

Acción de la solución extractora de fósforo

La solución extractora del método Olsen, es una solución alcalina de bicarbonato de sodio, que favorece la solubilidad de los compuestos de fósforo presentes en el suelo. El medio alcalino precipita al hierro y al aluminio como



hidróxidos y el ion bicarbonato controla la solubilidad del calcio, dejando en solución al fosfato. Según Bazán (2017), la ecuación que corresponde es:





CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR EXPERIMENTAL

El presente estudio de investigación se realizó en suelos representativos de las regiones de Puno y Moquegua (Figura 1):

1) Estación Experimental Agraria-INIA Moquegua, ubicado en el distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto y Departamento de Moquegua (región costa).

Altitud	: 1275 m.s.n.m.
Latitud Sur	: 17° 12' 43.4"
Longitud Oeste	: 70° 57' 55.9"
Región natural	: Costa

2) El Centro Experimental Illpa de la UNA Puno, ubicado en el Distrito de Paucarcolla, Provincia y Departamento de Puno (región sierra).

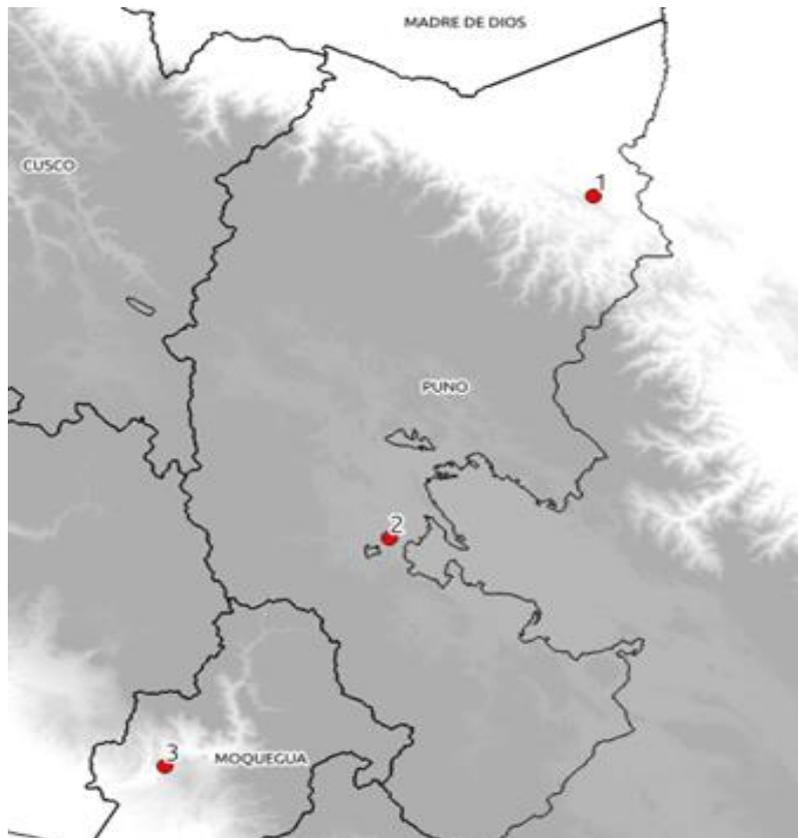
Altitud	: 3829 m.s.n.m.
Latitud Sur	: 15°42'39.24"
Latitud Oeste	: 70°04'30"
Región natural	: Sierra

3) El Centro Experimental Tambopata de la UNA Puno, ubicado en el Distrito de San Juan del Oro, provincia de Sandía y departamento de Puno (región selva).

Altitud	: 1442 m.s.n.m.
Latitud Sur	: 14°13'04.85"
Latitud Oeste	: 69°9'55.18"
Región natural	: Selva

Figura 1.

Ubicación de puntos de muestreo de suelos



Las muestras se analizaron y evaluaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la incubación en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional del Altiplano.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Material experimental

- Suelos de la costa (EEA-Moquegua)
- Suelos de la sierra (CE Illpa-Puno)
- Suelos de la selva (CE Tambopata-Puno)
- Fosfato diamónico (fertilizante)

3.2.2. Materiales de campo

- Barreno muestreador



- Tabla Munsell
- Sistema de Posicionamiento Global - GPS
- Pico
- Pala
- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica

3.2.3. Equipos de laboratorio

- Balanza de precisión ± 0.01 g
- Recipientes plásticos de 1000 ml.
- Pissetas
- probeta

3.3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Calicata y muestreo de suelos

Para la caracterización de parámetros físicos y químicos se realizó las calicatas en cada punto de estudio, para ello se realizó la excavación del suelo en forma rectangular de 1m x 1.5m de largo con una profundidad de 1.50m aproximadamente, con orientación al sol, concluido con la lectura de los perfiles de suelos se procedió a la toma de muestras por cada horizonte, donde colectó 1 kg aproximadamente para luego ser analizados en el laboratorio con la finalidad de realizar el análisis de caracterización de dichos suelos.

Para la incubación de los suelos, el muestreo se realizó en las regiones de Puno y Moquegua (EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata).

Primeramente, una vez definido los límites de cada parcela, se procedió a tomar las submuestras de la capa arable o primer horizonte en un recorrido al azar



en Zig-Zag sobre el terreno, tomando una submuestra en cada vértice donde se cambie la dirección del recorrido. Para el caso de EEA Moquegua se identificó un terreno homogéneo del cultivo de palto, ubicada en la llanura con una superficie de una hectárea. Para el caso de la CE Illpa se consideró un terreno homogéneo ubicado en la llanura de aproximadamente dos hectáreas. Finalmente, para la parcela del CE Tambopata corresponde a un terreno de ladera de montaña en cultivo de café.

En cada sitio de muestreo se removió las plantas y hojarasca fresca de la superficie terrestre (1-3 cm) de un área de 40 x 40 cm, y luego se introdujo el barreno para el caso de la EEA Moquegua y el CE Tambopata y para el CE Illpa se utilizó la pala.

Para el caso de los cultivos agrícolas (CE Illpa) se realizó a una profundidad de 20 cm, ya que en los años anteriores se cultivaron quinua y avena, por lo tanto, la profundidad de muestreo es con relación a la profundidad de las raíces absorbentes. Para el caso de los cultivos permanentes como frutales (CE Tambopata y la EEA Moquegua) se realizó a una profundidad de 20-40 cm en la mitad de la gotera o copa del árbol (la sombra proyectada a medio día), dicha profundidad de muestreo es con relación a la profundidad de las raíces del cultivo de palto y café. Finalmente, se obtuvo una muestra compuesta representativa por cada terreno homogéneo de 12 a 15 kg de suelo para la incubación.

Las muestras que se recolectaron se llevaron en una bolsa hermética con su respectiva etiqueta para sus respectivos análisis en el laboratorio. Las muestras de suelos se dividieron en dos partes:



Primero: La caracterización de parámetros físicos y químicos se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y la incubación de muestras con el fertilizante fosfatado se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional del Altiplano.

Segundo: El análisis de las soluciones extractoras se realizó en el Laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.3.2. Distribución de tratamientos e Incubación

La distribución de las dosis y repeticiones se presenta en la Tabla 2, donde se consideró como factor uno a los tipos de suelo: EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata, como factor dos, se consideró a los métodos de extracción de P: Bray II y Olsen y como factor tres se consideró a las dosis de fosfato diamónico: 0 kg/ha, 250kg/ha, 500kg/ha y 750kg/ha. Las dosis crecientes que se aplicó son con la finalidad de corregir el nivel de suficiencia de los suelos.

Tabla 2.*Distribución de los tratamientos en estudio*

TIPO DE SUELO	MÉTODO	DOSIS	REPETICIÓN
EEA MOQUEGUA	Bray II	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3
	Olsen	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3
CE ILLPA	Bray II	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3
	Olsen	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3
CE TAMBOPATA	Bray II	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3
	Olsen	Dosis 0 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 250 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 500 kg/ha	R1, R2, R3
		Dosis 750 kg/ha	R1, R2, R3

Para la incubación se pesó 500g de suelo en vasos de plástico con dosis crecientes y con sus respectivas repeticiones. La aplicación de fertilizante de fosfato diamónico se aplicó molido (dosis crecientes) para cada repetición, luego se mezcló el suelo con el fertilizante para que esté homogéneo, como también se le echo agua a capacidad de campo por semana. Después de 30 días de incubación se determinó el contenido de P disponible con los extractantes de: Ácido clorhídrico HCl y fluoruro de amonio NH₄F (Método Bray II) y Bicarbonato de sodio NaHCO₃ (Método Olsen).



3.3.3. Variables de respuesta y estudio

- a) Variables para la clasificación de los tipos de suelos de EEA Moquegua, CE

Illpa y CE Tambopata

Variable de respuesta:

Parámetros físicos químicos de tipos de suelo:

- Clasificación de suelos
- Textura
- pH
- CIC
- Materia orgánica
- P disponible
- K disponible

- b) Variables para la determinación de extracción de fósforo disponible (BRAY II y OLSEN) en los tipos de suelo

Variable de respuesta:

- P disponible ppm

- c) Variables para la determinación del mejor extractante de P disponible por dosis de fertilización fosfatada en los tipos de suelo

Variable de respuesta:

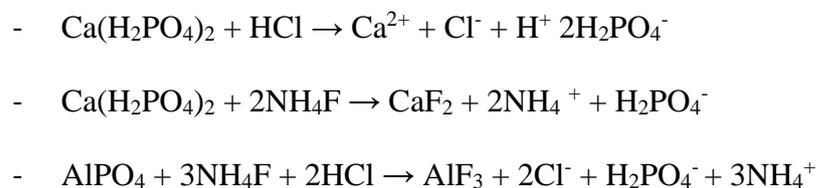
- Relación dosis de fertilizante y P disponible
- Relación tipo de suelo por dosis de fertilizante por método



3.3.4. Determinación del Fósforo (ppm)

a) Procedimiento Método Bray II:

- Tome 2.0 gr de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm
- Adicione 20 ml de solución extractora
- Agite durante un minuto
- Filtre con papel de filtración rápida, a través de papel Whatman N° 2
- Tome 2.0 ml de filtrado, adicione 18.0 ml de agua desionizada y 4.0 ml de solución reveladora del color.
- Lea la absorbancia a 882 nm después de 5 minutos y antes de 3 horas de haber desarrollado el color.
- Prepare una curva de calibración tomando alícuotas de las soluciones de 0.5 Molaridad hasta 10 ppm de P.
- Adicione a cada balón 5.0 ml de solución extractora y los reactivos para desarrollar color. Lea la absorbancia a 882 nm y haga una gráfica de absorbancia versus concentración de P en ppm. Con los espectrofotómetros actuales no hay necesidad de hacer la curva de calibración. Estos equipos tienen programas que almacenan la absorbancia de los patrones y crean la curva. Las reacciones con los extractantes se resumen de la siguiente manera:



Cálculos:

$$\text{ppm de P (suelo)} = 40 \times \text{ppm P}$$



b) Procedimiento Método Olsen:

- Tome 2.5 g de suelo seco y tamizado a 2 mm
- Adiciónese 50 ml de solución extractora
- Agite durante 30 minutos
- Filtre con papel
- Tome 2.0 ml del filtrado, adiciónese 19.0 ml de agua y 4.0 ml de solución reveladora de color.
- Lea % T a 882 nm después de 5 minutos y antes de 3 horas.
- Prepare una curva de calibración tomando alícuotas de las soluciones de 0.5 Molaridad hasta 10 ppm de P. Adicione a cada balón 5.0 ml de solución extractora y los reactivos para desarrollar color. Lea la absorbancia a 882 nm y haga una gráfica de absorbancia versus concentración de P en ppm. Con los espectrofotómetros actuales no hay necesidad de hacer la curva de calibración. Estos equipos tienen programas que almacenan la absorbancia de los patrones y crean la curva.
- La solución coloreada que resulta de la extracción de materia orgánica con la solución alcalina de Olsen no interfiere en el desarrollo del color cuando se hace la determinación a 882 nm. La ecuación que corresponde a esta reacción es la siguiente:



Cálculos:

$$\text{ppm de p (suelo)} = 250 \times \text{ppm P}$$



3.3.5. Análisis de datos

Se realizó el análisis de varianza factorial de 3 tipos de suelo x 2 métodos x 4 dosis con 3 repeticiones. La variable de respuesta fue el contenido de P ppm (Método Bray II y Método Olsen).

Según Zapata (2018), menciona que no existe reglas establecidas para determinar qué tipo de modelo de respuesta es el mas apropiado para usar en la interpretación de la respuesta de los fertilizantes, si se va evaluar un experimento, el investigador puede probar los datos para ajustar con varios modelos lineales y curvilíneos y seleccionar la función que proporcione el mejor R^2 para la regresión.

Para el análisis de esta investigación se consideró las pautas de Ph.D. Osorio, que indica que un método será más adecuado que otro cuando el coeficiente de correlación (r) sea más alto. Por lo tanto, en esta tesis se considera el mejor extractante quién proporcione el valor cercano a 1 ($r \rightarrow 1$), para una fuente de fertilizante fosfatada y bajo las condiciones de suelos (EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS DE LA EEA MOQUEGUA, CE ILLPA Y CE TAMBOPATA

4.1.1. Clasificación de los suelos

En la Tabla 3, los suelos evaluados en las regiones Puno y Moquegua (EEA Moquegua, Centro Experimental Illpa y Centro Experimental Tambopata), se clasificaron según al Soil Taxonomy (SSS, 2014). En la presente investigación se han identificado tres sub-grupos de suelos e identificándose dos órdenes de suelos como son: Inceptisol y Mollisol.

Tabla 3.

Clasificación taxonómica de los suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata

NOMBRE	ORDEN	SUB ORDEN	GRAN GRUPO	SUB-GRUPO
EEA Moquegua	Inceptisol	Udepts	Eutrudepts	Fluventic Eutrudepts
CE Illpa	Mollisol	Ustolls	Haplustolls	Entic Calcic Haplustolls
CE Tambopata	Inceptisol	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts

4.1.2. Características físico químicas de cada tipo de suelo

En la Tabla 4, se presenta la clasificación de los suelos de EEA Moquegua Centro Experimental Illpa y Centro Experimental Tambopata mostrándose sus principales parámetros, donde se detalla los siguientes parámetros:

Tabla 4.

Características físico – químicas de los suelos de EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata

Suelo	Horiz.	Prof. (cm)	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	M.O. %	P ppm	K ppm	Clase Textural	CIC
EE Agraria Moquegua	Ap	0-15	7.85	3.46	1.69	17.9	515	Franco	16.00
	Bw1	15-35	8.41	0.62	1.01	2.9	306	Franco	14.40
	Bw2	35-75	8.08	0.74	0.54	1.8	235	Franco Arenoso	18.24
	C	75-115	7.67	0.72	0.54	1.9	184	Franco Arenoso	16.00
CE Illpa	Ap	0-25	7.35	0.69	2.93	9.7	686	Arcilloso	29.60
	A	25-64	7.47	0.57	1.89	7.7	642	Arcilloso	29.92
	Ck	64-82	8.07	0.50	0.78	8.1	212	Franco Arcilloso	25.60
	C1	82-110	8.41	0.65	0.52	5.3	199	Franco Arcilloso	24.00
	C2	110- 138	8.29	0.72	0.46	3.8	237	Franco	22.40
CE Tambopata	Ap	0-12	3.20	0.90	21.13	55.8	120	Franco Arenoso	14.80
	AB	12-36	3.70	0.24	3.49	18.4	40	Arcilloso	11.94
	Bw1	36-58	3.90	0.20	3.25	15.1	51	Arcilloso	12.68
	BW2	58-85	4.20	0.09	0.72	6.6	34	Franco Arcilloso	10.45
	C	85-142	4.50	0.04	0.62	5.4	30	Franco Arcilloso	10.40

a) Clasificación de suelo EEA Moquegua

El suelo está situado en una pendiente de plana a casi a nivel de 0-4%. Se ubica en las superficies del depósito aluvial principalmente.

Suelo EEA Moquegua (Fluventic Eutrudepts).

El suelo se ha originado a partir de depósitos aluviales, constituidos por materiales que fueron transportados y depositados por acción del agua, constituidos por materiales redondeados de gravas y partículas de arenas, limos y arcilla principalmente como material parental, con un régimen de humedad arídico y régimen de temperatura térmico.



Presenta un perfil tipo Ap/Bw1/Bw2/C con ligero desarrollo genético, con epipedón ócrico y con horizonte de diagnóstico subsuperficial cámbico, profundo, con pendiente plana a casi a nivel de 0-4%, con contenido de arena mayor de 40% y contenido de arcilla mayor de 14%, permeabilidad moderada y drenaje bueno.

La capa superficial es de color pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo, sin estructura, grano simple, con consistencia suelta, de textura franco, con una reacción ligeramente alcalina (pH 7.85), con una capacidad de intercambio de cationes de 16.00 meq/100g, ligeramente salino (3.46 dS/m), con una saturación de bases de 100% por acetato de amonio.

El material subyacente es de color pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo, con estructura de bloques angulares, media, moderada, de consistencia dura (en seco), de textura franca, con una reacción moderadamente alcalino (pH 8.41), con una capacidad de intercambio de cationes de 14.40 meq/100g, no salino (0.62 dS/m), con una saturación de bases de 100% por acetato de amonio.

La capa superficial posee contenido bajo de materia orgánica (1.69%), contenido alto de fósforo disponible (17.9 ppm) y contenido alto de potasio disponible (515 ppm), condiciones que determinan una fertilidad natural baja.

En el presente trabajo de investigación los resultados obtenidos son similares a INRENA (2002), quien obtuvo en el sub orden de Fluvents. Sin embargo, fue clasificado en el orden Entisol. En dicho trabajo de evaluación de recursos naturales presenta una pendiente ligeramente inclinada 2-4%, en cuanto al pH fue ligeramente alcalina, y bajo en materia orgánica y fósforo.



b) Clasificación de Suelo CE Illpa

El suelo está situado en una pendiente de plana a casi a nivel de 0-2%. Se ubica en las superficies del depósito aluvial principalmente.

Suelo Centro Experimental Illpa (Entic Calcic Haplustolls)

El suelo se ha originado a partir de depósitos aluviales, constituidos por materiales que fueron transportados y depositados por acción del agua, constituidos por partículas de arenas, limos y arcilla principalmente como material parental, con un régimen de humedad ústico y régimen de temperatura métrica.

Presenta un perfil tipo Ap/A/Ck/C1/C2 con ligero desarrollo genético, con epipedón mollico y sin horizonte de diagnóstico subsuperficial, moderadamente profundo, con pendiente plana o casi a nivel (0-2%), con contenido de arena mayor de 15% y contenido de arcilla mayor de 40%, permeabilidad moderada y drenaje bueno.

La capa superficial es de color negro (7.5YR 2.5/1) en húmedo, con estructura de bloques subangulares grueso, fuerte, de consistencia muy firme (en húmedo), de textura arcillosa, con una reacción neutra (pH 7.5), con una capacidad de intercambio de cationes de 29.60 meq/100g, no salino (0.69 dS/m), con una saturación de bases de 100% por acetato de amonio.

El material subyacente es de color negro (7.5YR 2.5/1) en húmedo, con estructura de bloques subangulares grueso, fuerte, de consistencia muy firme (en húmedo), de textura arcillosa, con una reacción ligeramente alcalino (pH 7.47), con una capacidad de intercambio de cationes de 29.92 meq/100g, no salino (0.57 dS/m), con una saturación de bases de 100% por acetato de amonio.



La capa superficial posee contenido medio de materia orgánica (2.93%), contenido medio de fósforo disponible (9.7 ppm) y contenido alto de potasio disponible (686 ppm), condiciones que determinan una fertilidad natural media.

Tanto que para los resultados obtenidos son similares a GORE PUNO (2015), quien clasificó en el sub orden de Haplustoll y orden Mollisol, ubicándose en una pendiente ligeramente inclinada 2-4%, en cuanto pH obtuvo ligeramente alcalina, y bajo en materia orgánica y fósforo.

c) Suelos de suelo CE Tambopata

El suelo está situado en una pendiente empinada (25-50%). Se ubica en las superficies del depósito coluvial principalmente.

Suelo Centro Experimental Tambopata (Typic Dystrudepts).

El suelo se ha originado a partir de depósitos coluviales, constituidos por presentar clastos que van desde guijarros a limos heterogéneos que es producto de la meteorización de las rocas circundantes o de la geoforma que presenta, con un régimen de humedad údico y régimen de temperatura térmico.

Presenta un perfil tipo Ap/AB/Bw1/Bw2/C con ligero desarrollo genético, con epipedón ócrico y con horizonte de diagnóstico subsuperficial cámbico, moderadamente profundo, con pendiente empinada (25-50%), con contenido de arena mayor de 30% y contenido de arcilla mayor de 15%, permeabilidad moderada y drenaje bueno.

La capa superficial es de color pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, con estructura, granular, muy fino, moderado, con consistencia firme, de textura franco arenoso, con una reacción ultra ácida (pH 3.7), con una capacidad de



intercambio de cationes de 14.8 meq/100g, no salino (0.9 dS/m), con una saturación de bases de 9.32% por acetato de amonio.

El material subyacente es de color pardo intenso (7.5YR 4/6) en húmedo, con estructura granular y bloques subangulares, media, moderada, de consistencia firme (en húmedo), de textura arcillosa, con una reacción extremadamente ácida (pH 3.7), con una capacidad de intercambio de cationes de 11.94 meq/100g, no salino (0.24 dS/m), con una saturación de bases de 3.27% por acetato de amonio.

La capa superficial posee contenido alto de materia orgánica (21.13%), contenido alto de fósforo disponible (55.8 ppm) y contenido medio de potasio disponible (120.4 ppm), condiciones que determinan una fertilidad natural medio.

Para GORE PUNO (2015), quien clasificó en el sub orden de Dystrudepts y orden Inceptisol, ubicándose en un paisaje de montaña con una inclinación de más de 50% de pendiente, una característica particular fue por el bajo porcentaje de saturación de base, por la lixiviación de los cationes cambiabiles siendo similar ala la investigación realizada.

Esta caracterización y clasificación taxonómica sirve como insumo para evaluar los métodos de extracción de fósforo disponible. Los tipos de suelos tienen reacciones diferentes a los diferentes métodos de extracción.

4.2. DETERMINACIÓN DE LOS DOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE EN LOS TIPOS DE SUELO

4.2.1. Fósforo disponible en el suelo

En la Tabla 5, se muestra la significancia del análisis de varianza de efectos principales y efectos simples para la determinación de P disponible en el suelo (ppm), extraídos por los métodos de Olsen y Bray II de los suelos de EEA



Moquegua, Centro Experimental Illpa y Centro Experimental Tambopata, en donde en el tipo de suelos (S), métodos de extracción (M) y las dosis (D) de fertilizante fosfatado, resultan altamente significativas, en la interacción del S*M y S*D resultan altamente significativas y la interacción M*D resulta significativa. El coeficiente de variabilidad es de 7.93% y una media general de 73.64 ppm. Así mismo, se muestra los efectos simples dentro del método Bray II y el Método Olsen que son altamente significativos, estos métodos dentro del suelo EEA Moquegua, CE Illpa y CE Tambopata resultan altamente significativos, las dosis dentro del suelo EEA Moquegua y CE Illpa resultan altamente significativos y para CE Tambopata resulta no significativo. Método dentro de dosis 0 kg/ha, 250 kg/ha, 500 kg/ha y 750 kg/ha resultan altamente significativos.

Tabla 5.

Significancia del Análisis de variancia de efectos principales y efectos simples para el fósforo disponible de los suelos

Efectos principales		Efectos simples	
Fuente de Variación	Sig.	Fuente de Variación	Sig
Suelo (S)	**	Suelo dentro del método BRAY II	**
Método (M)	**	Suelo dentro del método OLSEN	**
Dosis (D)	**	Métodos dentro del suelo EEA Moquegua	**
Interacción S * M	**	Métodos dentro del suelo CE Illpa	**
Interacción S * D	**	Métodos dentro del suelo CE Tambopata	**
Interacción M * D	*	Dosis dentro del suelo EEA Moquegua	**
Interacción S * M * D	ns	Dosis dentro del suelo CE Illpa	**
Coefficiente de variabilidad	7.93	Dosis dentro de cada suelo CE Tambopata	ns
Media general	73.64	Método dentro de dosis 0 kg/ha	**
R ²	0.99	Método dentro de dosis 250 kg/ha	**
Desviación estándar	5.84	Método dentro de dosis 500 kg/ha	**
		Método dentro de dosis 750 kg/ha	**

En la Tabla 6, se muestra la comparación de medias para el efecto métodos de extracción de P disponible del suelo, encontrando como resultado que, de los dos métodos, que el mejor método fue Bray II, que consiguió extraer 128.65 ppm de P disponible, siendo superior estadísticamente al método Olsen que consiguió 18.622 ppm de fósforo disponible.

Tabla 6.

Comparación de medias para el efecto métodos de extracción de P disponible del suelo

Orden de merito	Método extracción	Fósforo disponible (ppm)	
1	Bray II	128.65	a
2	Olsen	18.622	b

En la Tabla 7, se muestra la comparación múltiple de medias para el efecto métodos de extracción dentro de cada tipo de suelo que el método Bray II y Olsen expresan sus valores por P disponible en el suelo de manera diferente, en los suelos de la Estación Experimental Agraria Moquegua resulta el método Bray II con una media de 277.02 ppm de P a diferencia del Olsen con 20.70 ppm de P, el mismo resultado se da en los suelos del Centro Experimental Illpa y Centro Experimental Tambopata en la cual siempre resalta el método Bray II siendo estas diferentes estadísticamente.

Tabla 7.

Comparación múltiple de medias para el efecto métodos de extracción dentro de cada tipo de suelo para el P disponible

Suelo	Método	Media	Grupo tukey
EEA Moquegua	Bray II	277.02	a
EEA Moquegua	Olsen	20.70	b
CE Illpa	Bray II	93.68	a
CE Illpa	Olsen	27.08	b
CE Tambopata	Bray II	15.25	a
CE Tambopata	Olsen	8.09	b

En la Tabla 8, se muestra la comparación múltiple de medias para el efecto dosis por método Bray II y Olsen donde expresan sus valores por P disponible en las dosis aplicadas de manera diferente, en las dosis 0 kg/ha resulta el método Bray II con una media de 115.44 ppm de P, a diferencia de Olsen con 12.72 ppm de P,

de la misma manera en la dosis 250 kg/ha resulta el método de Bray II con una media de 126.19 ppm de P, a diferencia de Olsen con 16.59 ppm de P, en las dosis 500 kg/ha resulta el método Bray II con una media de 133.73 ppm de P, a diferencia de Olsen con 20.10 ppm de P y en las dosis 750 kg/ha resulta el método Bray II con una media de 139.23 ppm de P, a diferencia de Olsen con 25.08 ppm de P.

Tabla 8.

Comparación múltiple de medias del método de extracción de P según dosis de fertilización

Dosis	Método	Media de P ppm	
Dosis 0 kg/ha	Bray II	115.44	a
Dosis 0 kg/ha	Olsen	12.72	b
Dosis 250 kg/ha	Bray II	126.19	a
Dosis 250 kg/ha	Olsen	16.59	b
Dosis 500 kg/ha	Bray II	133.73	a
Dosis 500 kg/ha	Olsen	20.10	b
Dosis 750 kg/ha	Bray II	139.23	a
Dosis 750 kg/ha	Olsen	25.08	b

4.3. DETERMINACIÓN DEL MEJOR MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE FÓSFORO DISPONIBLE CON LA APLICACIÓN DE LA FUENTE FOSFATADA EN CADA TIPO DE SUELO

En la Tabla 9, se muestra la correlación de Pearson y coeficiente de determinación de la disponibilidad de P según el método extractante, donde para el suelo EEA Moquegua (0.98) y CE Illpa (0.95) donde el mejor método extractante es Olsen y para el suelo de CE Tambopata (0.88) el mejor método extractante es Bray II.

Tabla 9.

Correlación y significancia de la disponibilidad de Fósforo según el método extractante.

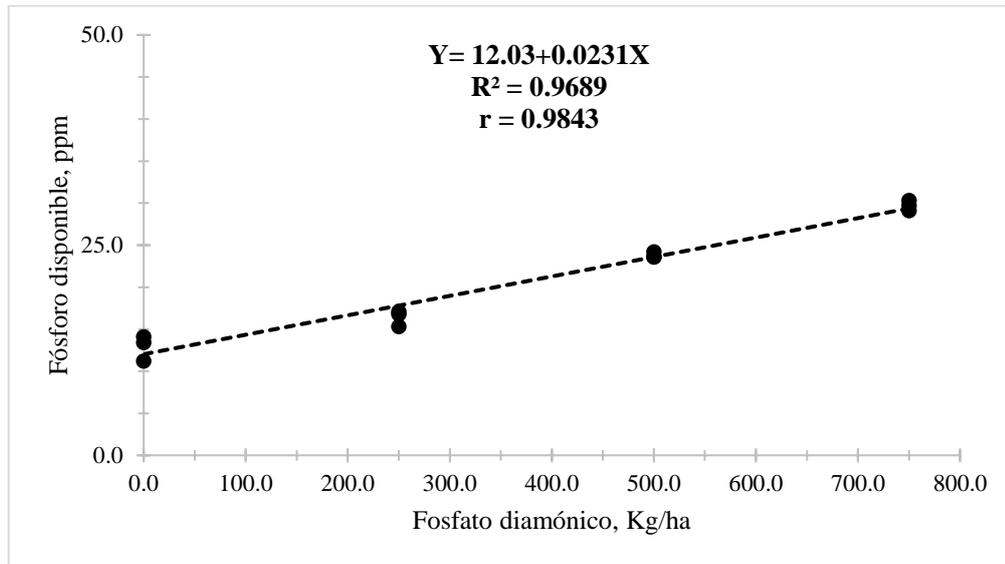
Suelos	Correlación	
	Bray II	Olsen
Suelo de EEA Moquegua	0.77 **	0.98 **
Suelo de CE Illpa	0.95 **	0.95 **
Suelo de CE Tambopata	0.88 **	0.85 **

4.3.1. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo de la EEA Moquegua

En la Figura 2, se observa la correlación según método Olsen para suelo EEA Moquegua, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.9843$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamonico también aumenta la disponibilidad de fosforo.

Figura 2.

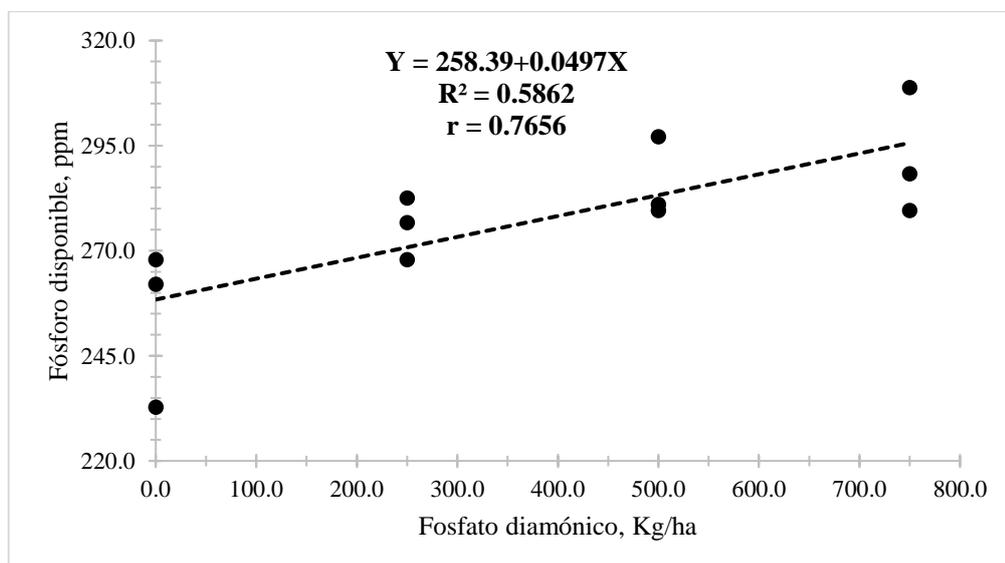
Correlación según método Olsen para suelo EEA Moquegua



En la Figura 3, se observa la correlación según método Bray II para suelo EEA Moquegua, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.7656$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamónico también aumenta la disponibilidad de fosforo.

Figura 3.

Correlación según método Bray II para suelo EEA Moquegua

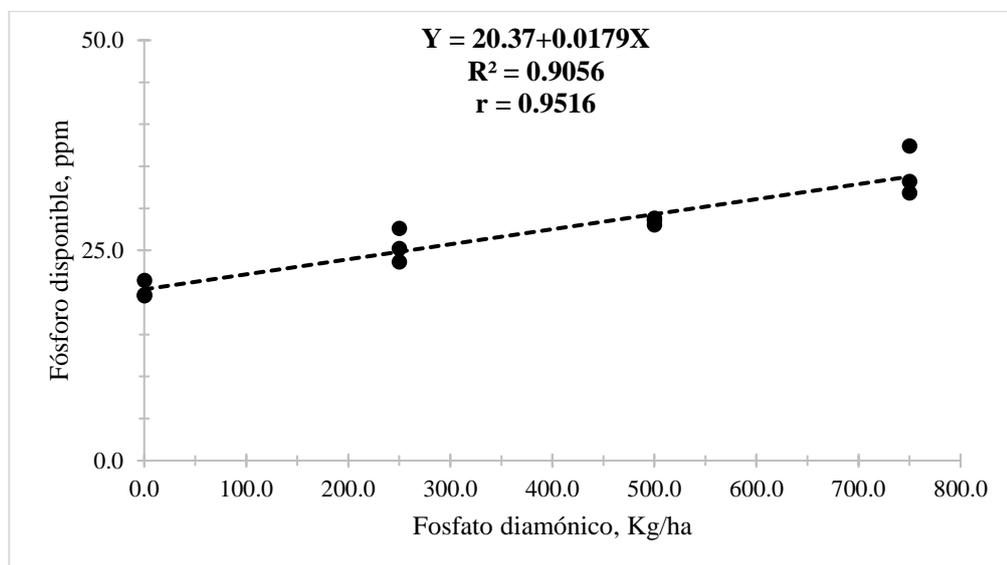


4.3.2. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo de CE ILLPA - sierra

En la Figura 4, se observa la correlación según método Olsen para suelo CE Illpa, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.9516$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamónico también aumenta la disponibilidad de fósforo.

Figura 4.

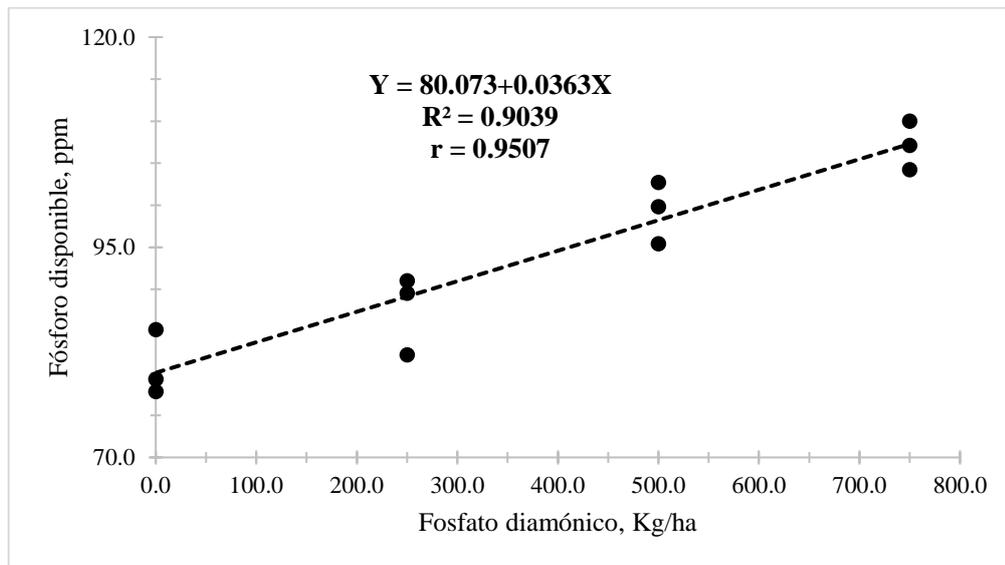
Correlación según método Olsen para suelo CE Illpa



En la Figura 5, se observa la correlación según método Bray II para suelo CE Illpa, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.9507$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamónico también aumenta la disponibilidad de fósforo.

Figura 5.

Correlación según método Bray II para el suelo del CE Illpa

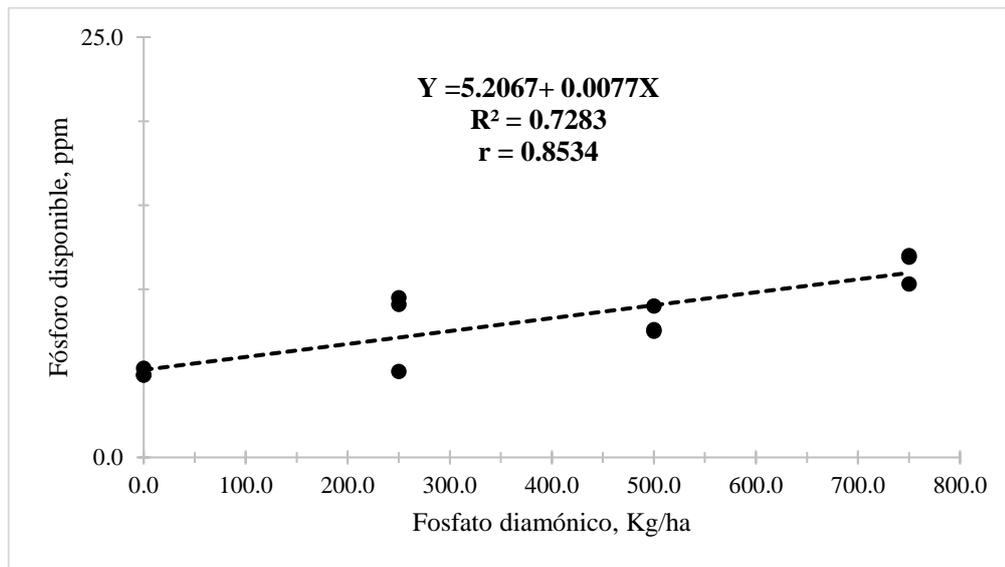


4.3.3. Disponibilidad de Fósforo (P) del suelo del CE Tambopata

En la Figura 6, se observa la correlación según método Olsen para suelo CE Tambopata, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.8534$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamónico también aumenta la disponibilidad de fósforo.

Figura 6.

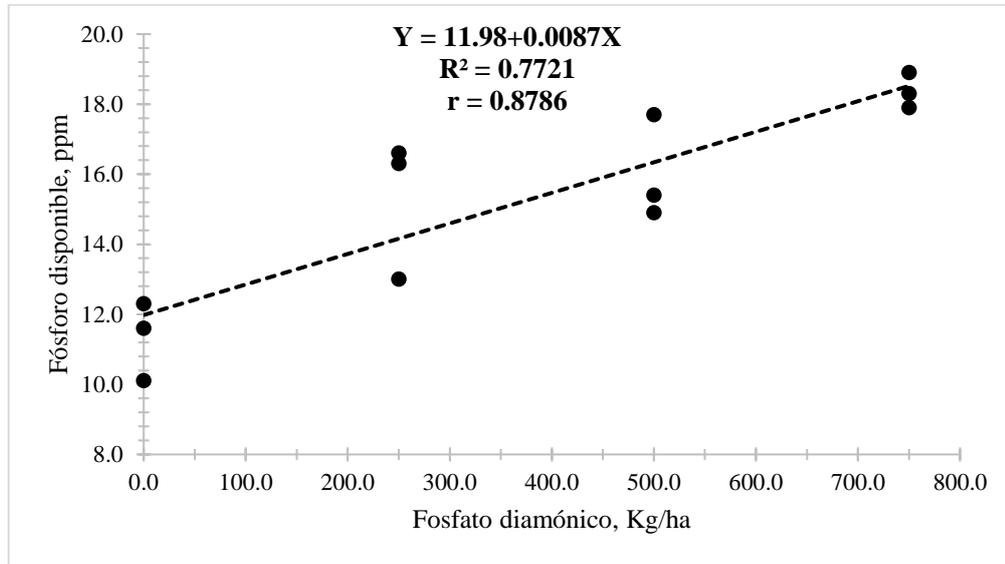
Correlación según método Olsen para suelo CE Tambopata



En la Figura 7, se observa la correlación según método Bray II para suelo CE Tambopata, las dosis de aplicación de Fosfato diamónico sobre la variable dependiente el Fósforo disponible (ppm), con el método Olsen indicando que tiene una tendencia positiva, y con $r = 0.8786$ el cual nos indica que existe una alta asociación entre las variables, es decir a medida que se aumenta las dosis de fosfato diamónico también aumenta la disponibilidad de fósforo.

Figura 7.

Correlación según método Bray II para suelo CE Tambopata



Rone *et al.* (1992), notaron que al correlacionar cuatro soluciones extractoras, Bray I, Olsen (NaHCO_3 0.5M a pH 8.5), Mehlich I y Bray II para P disponible en suelos de los campos cañeros del Ingenio “Los Mochis” de Sinaloa, encontraron que el método que presenta un coeficiente de correlación más alto entre el fósforo extraído del suelo y el fósforo absorbido por la planta es el Bray I con un coeficiente de correlación $r = 0.77$, por lo que recomendaron adoptar el método Bray I como prueba química de rutina de análisis de P aprovechable del suelo en la región de estudio.

Finalmente, el presente trabajo de investigación los resultados obtenidos en relación a los métodos de extracción son debido al pH, textura y entre otros factores, según Lindsay (1979), menciona que las diferentes soluciones extractoras son ácidas, básicas o sales que pueden actuar generalmente de las siguientes maneras: incrementando la solubilidad, por ejemplo, el extractante Bray es una solución ácida que es capaz de extraer el P, porque el ion flúor (F) compleja al catión fosfato y en la solución ácida incrementa la solubilidad del compuesto de P que se encuentra en



el suelo. Mientras que en el extractante Olsen es una solución alcalina de bicarbonato de sodio que libera al P del catión que lo hace insoluble. Como también indica en su investigación que el método Olsen normalmente es utilizado para muestras con pH neutro alcalino ya que el bicarbonato favorece la solubilización del enlace $\text{Ca}^2\text{-P}$ haciendo precipitar el Ca, pero subestima la cantidad de P extraíble en suelos ácidos, donde el P se encuentra habitualmente en forma de $\text{Al}^3\text{-P}$, $\text{Mn}^2\text{-P}$ o $\text{Fe}^3\text{-P}$. El método Bray ha sido criticado por subestimar la cantidad de fósforo en suelos de origen calcáreo debido a la rápida neutralización del F y la formación de CaF_2 por reacción entre NH_4F y CaCO_3 , como era esperado, los métodos Mehlich 3 y Bray P1 extraen más P que el Olsen (que emplea NaHCO_3 para la extracción de P), ya que la mayoría de los suelos sometidos a estudio son suelos ácidos y además los iones H^+ y F^- de la disolución y Bray P1 son más efectivos a la hora de disolver los minerales que contienen P que los iones bicarbonato. Por lo tanto, se deben tener en cuenta otros factores, como el pH y la textura de los suelos, a la hora de establecer ecuaciones de conversión entre estos extractantes.



V. CONCLUSIONES

La caracterización de los suelos de la costa, sierra y selva, muestra una diferencia notable en cuanto a sus características físicas, químicas y taxonómicas, clasificándose que: el suelo de la costa se clasificó como sub-grupo Fluventic Eutrudepts por la formación del horizonte B pertenece al orden Inceptisol, el suelo de la sierra fue clasificado en sub-grupo Entic Calcic Haplustolls por presentar un epipedón móllico pertenece al orden Mollisol y el suelo de la selva se clasificó como sub-grupo Typic Dystrudepts por la formación del horizonte B pertenece al orden Inceptisol.

En la determinación de los dos métodos de extracción de fósforo disponible del suelo, la mayor extracción de P fue por el método Bray II que extrajo 128.65 ppm, siendo superior estadísticamente al método Olsen que extrajo 18.622 ppm de fósforo disponible.

En la evaluación del mejor extractante, el método adecuado para los suelos de la EEA Moquegua y CE Illpa es Olsen por la correlación alta de $r=0.98$ y $r=0.95$, indicando que al aumentar o disminuir la dosis de fertilizante fosfatado afectara a la concentración del fósforo disponible en dichos suelos. Mientras para el suelo del CE Tambopata el método más adecuado es Bray II por la correlación alta de $r=0.87$.



VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar estudios de suelos o caracterización de suelos en diferentes regiones altitudinales para conocer la variabilidad de respuesta a los diferentes métodos de extracción.

Según los resultados obtenidos para los suelos del orden Inceptisol y Mollisol de las regiones de costa y sierra, se recomienda usar el método Olsen. Para las condiciones de la selva en suelos del orden Inceptisol se recomienda usar el método Bray II.

Finalmente, se recomienda investigar otros métodos de extracción de nutriente que estén disponibles en el país y esté al alcance de los laboratorios de suelos. Además, los estudios de correlación se deben continuar con la calibración para definir los niveles de fertilidad de los suelos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bazán-Tapia, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). [Fecha de acceso 27 de diciembre de 2022]. URL disponible en: <http://200.123.25.5/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual de procedimientos de los.pdf>
- Black, C. A. (1965). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 2v. (Agronomy, 9).
- Borges, L., Soria, M., Casanova, V., Villanueva, E., y Pereyda, G. (2008). Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia*, 42(1), 21-27.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Science* 59, 39-45.
- Castellanos, J. (2009). *Caracterización de los ciclos biogeoquímicos en plantaciones de Acacia mangium Wild. del Bajo Cauca Antioqueño* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Cate, R. B. y Nelson, L. A. (1965). *A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data*. North Carolina Agr. Exp Stn. International Soil Testing.
- Correndo, A. A. y García, F. (2012). *Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos*. Archivo Agronómico No. 14. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica No. 5. IPNI Cono Sur. Buenos Aires.
- Dahnke, W. C. y Olsen R. (1990). *Soil Test Correlation, Calibration and Recommendation*. P 45-71. In: R. L. Westerman (ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*, 3rd ed., SSSA Book Series: 3, Soil Science Society of America, Madison WI.
- Gobierno Regional Puno (GORE PUNO). (2015). *Estudio de suelos y capacidad de uso mayor (Departamento de Puno)*.



- González, J. V., Cajuste, L. J., Santos, A. T., y Reyes, F. G. (1999). Correlación y calibración de soluciones extractantes del fósforo aprovechable en Andisoles de la Sierra Tarasca. *Terra latinoamericana*, 17(4), 287-291.
- INRENA. (2002). *Tierras Eriazas con el Potencial Agropecuaria: Cuenca del Rio Moquegua*.
- Jackson, M. L. (1958). *Soil chemical analysis*. Prentice Hall. New York: 498p.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. A system of quantitative pedology. McGraw-Hill. New York.
- Jenny, H. (1980). *The Soil Resource, Origin and Behavior*. Springer, New York.
- Kuo, S. (1996). Phosphorus. In: Sparks, D. L. et al. (Eds.) *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America Book Series Number 5. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA, p.869-920.
- Hammond, L. L., Chien, S. H., y Mokwunye, A. U. (1986). *Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics*. In *Advances in Agronomy* (Vol. 40, pp. 89-140). Academic Press.
- Hedley, M., y McLaughlin, M. (2005). *Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils*. *Phosphorus: agriculture and the environment, (phosphorusagric)*, 181-252.
- León, J. (2007). *Contribución al conocimiento del ciclo de nutrientes en bosques montanos naturales de Quercus humboldtii y reforestados (Pinus patula y Cupressus lusitanica) de la región de Piedras Blancas, Antioquia (Colombia)*. [Tesis doctoral, Universidad de Salamanca].
- Lindsay, W.L. (1979). *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Murphy, J. y Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27, 31-36.
- Nelson, W.L., Mehlich, A. y Winters, E. (1953). The development, evaluation. and use of soil tests for phosphorus availability. *Agronomy* 4, 153-188.



- Osorio, N.W. (2018). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 408 p.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. y Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. U.S. Dep. of Agríc. Circ. 939.
- Olsen, S.R. y Sommers, L.E. (1982). Methods of Soil Analysis. *Agronomy*, 9, 403-430.
- Peck, T., Cope, J. y Whitney, D. (1977). *Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results*. Amer. Soc. Agron. Special Publ. No. 29. Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Rone, J. et al. (1992). *Correlación de cuatro métodos de análisis químico de fósforo aprovechable, con suelos de los campos cañeros del ingenio "LOS MOCHIS" de Sinaloa*. En Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. (25, 1991, Acapulco, Guerrero, México.). Memorias. México, CECSA. p. 72.
- Sanzano, A. (2006). El fósforo del suelo. *Química del suelo*. [Fecha de acceso 30 de octubre de 2022]. URL disponible en: <https://www.edafologia.org/app/download/7956239776/El+Fosforo+del+suelo.pdf?t=1563476239>
- Sardon, S. (2019). *Factores morfoclimáticos favorables para la preservación del carbono orgánico humificado en suelos de montaña, San Rafael (Perú)*. [Fecha de acceso 26 de diciembre de 2022]. URL disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75591>
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*, 12th ed. USDA- Natural Resources Conservation Service, Washigton, DC.
- Vera, M., Cavelier, J., y Santamaría, J. (1999) Reabsorción de nitrógeno y fósforo foliar en árboles de bosques montanos en los Andes centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 47, 33-43.
- Zapata, H. R. (2014). *Los procesos químicos del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Editado en: Medellín (Colombia). Medellín. 698 p.
- Zapata, H. R. (2018). *Evaluación química de la fertilidad del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Editado en: Medellín (Colombia).



Zapata, R. D. (2006). *Química de los procesos patogenéticos*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Editado en: Medellín (Colombia).



ANEXOS

DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DEL SUELO DE MOQUEGUA

SUELO MOQUEGUA

Lugar	: Estación Experimental Agraria Moquegua
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 290798, Norte: 8096535
Altitud	: 1247 m.s.n.m.
Suelo	: Moquegua
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2014): : Fluventic Eutrudepts
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Relieve	: Plano
Microrelieve	: Plano
Pendiente	: 0 - 4%
Vegetación	: Cultivo de Palto y Cultivo de Naranja.
Pedregosidad superficial	: libre

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Franco; pardo oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo; grano simple; suelto; gravas subredondeadas en un 1%; raíces gruesas, pocas; reacción del suelo ligeramente alcalina (pH 7.85) y contenido de materia orgánica bajo (1.69%). Límite de horizonte claro, suave al
Bw1	15-35	Franco; pardo rojizo oscuro (5YR 3/3), en húmedo; bloques angulares, media, moderada; duro; raíces gruesas, pocas; reacción del suelo moderadamente alcalina (pH 8.41); contenido de materia orgánica bajo (1.01%). Límite de horizonte difuso, suave al



Bw2	35-75	Franco arenoso; pardo rojizo oscuro (5YR 3/3), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; friable; gravas subangulares en un 10%; reacción del suelo moderadamente alcalina (pH 8.08); contenido de materia orgánica bajo (0.54%). Límite de horizonte gradual, suave al
C	75-115	Franco arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/3), en húmedo; masivo; friable; reacción del suelo ligeramente alcalina (pH 7.67), contenido de materia orgánica bajo (0.54%).



ANEXO 2. DESCRIPCIÓN DEL SUELO ILLPA

Lugar	: Centro Experimental Illpa
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 384892, Norte: 8262890
Altitud	: 3837 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2014): : Entic Calcic Haplustolls
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Relieve	: Plano
Microrelieve	: Plano a ondulado suave
Pendiente	: 1 %
Vegetación	: Pastizal en pastoreo.
Pedregosidad superficial	: libre

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Arcilloso; negro (7.5YR 2.5/1), en húmedo; bloques subangulares, grueso, fuerte; muy firme; neutro (pH 7.5); contenido de materia orgánica de 2.93%; raíces medias, comunes; fuertemente efervescente al HCl (8.11% de carbonatos); Límite de horizonte difuso, suave al
A	25-64	Franco Arcilloso; negro (7.5YR 2.5/1), en húmedo; bloques subangulares, grueso, fuerte; muy firme; ligeramente alcalino (pH 7.47); contenido de materia orgánica de 1.89%; raíces medias, pocas; ligeramente efervescente al HCl (0.95% de carbonatos); Límite de horizonte abrupto, suave al
Ck	64-82	Franco arcilloso; pardo (10YR 4/2), en húmedo; masivo; extremadamente firme; moderadamente alcalino (pH 8.07); contenido de materia orgánica de 0.78%; raíces medias a gruesas, pocas; fuertemente efervescente al HCl (5.82% de carbonatos); presencia de fragmentos rocosos de calizas, subangulares,



		guijarros en un 40%; manchas de óxidos de hierro en un 10%; Límite de horizonte gradual, suave al
C1	82-110	Franco; pardo (10YR 4/3), en húmedo; masivo; firme; moderadamente alcalino (pH 8.41); contenido de materia orgánica de 0.52%; raíces medias, pocas; ligeramente efervescente al HCl (2.86% de carbonatos); presencia de fragmentos rocosos de calizas, subangulares, grava gruesa en un 10%; manchas de óxidos de hierro en un 10%; Límite de horizonte claro, suave al
C2	110-138	Franco; pardo (10YR 4/3), en húmedo; masivo; friable; moderadamente alcalino (pH 8.29); contenido de materia orgánica de 0.46%; ligeramente efervescente al HCl (1.72% de carbonatos); presencia de fragmentos rocosos de calizas, grava gruesa en un 25%; manchas de óxidos de hierro en un 2%.



ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DEL SUELO TAMBOPATA

Lugar	: CE Tambopata
Ubicación geográfica	: UTM Zona 19S, Este: 481415, Norte: 8427652
Altitud	: 1488 m.s.n.m.
Suelo	: Tambopata
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2014): : Typic Dystrudepts
Material parental	: Coluvial
Paisaje	: Montaña
Relieve	: Ondulado
Microrelieve	: Ondulado Suave
Pendiente	: 25 - 50%
Vegetación	: Cultivo de Café.
Pedregosidad superficial	: libre

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-12	Franco arenoso; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en húmedo; granular, muy fino, moderado; firme; raíces finas y medias, abundantes; reacción del suelo ultra ácida (pH 3.2) y contenido de materia orgánica alto (21.13%). Límite de horizonte claro, suave al
AB	12-36	Arcilloso; pardo intenso (7.5YR 4/6), en húmedo; granular y bloques subangulares, media, moderada; firme; raíces medias a gruesas, comunes; reacción del suelo extremadamente ácida (pH 3.7); contenido de materia orgánica medio (3.49%). Límite de horizonte gradual, suave al
Bw1	36-85	Arcilloso; pardo oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; firme; guijarros angulares en un 30%; reacción del suelo extremadamente ácida (pH 3.9); contenido de materia orgánica medio (3.25%). Límite de horizonte claro, suave al
Bw2	58-85	Franco arcilloso; pardo rojizo (5YR 4/3), en húmedo; bloques subangulares, media,



		moderada; muy firme; guijarros angulares en un 35%; reacción del suelo extremadamente ácida (pH 4.2), contenido de materia orgánica bajo (0.72%). Límite de horizonte claro, suave al
C	85-142	Franco arcilloso; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; masivo; muy firme; guijarros angulares en un 40% reacción del suelo muy fuertemente ácida (pH 4.5), contenido de materia orgánica bajo (0.62%).

Tabla 10.

Resultados de análisis de caracterización de suelos

Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables meq/100g				Suma de Cationes	Suma de Bases	%	
									Arena %	Arcilla %				Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺				Al ⁺³ + H
										Limo %	Arcilla %										
MOQUEGUA	Ap	0-15	7.85	3.46	3.40	1.69	17.9	515	48	34	18	Fr.	16.00	12.51	1.76	1.50	0.23	0.00	16.00	16.00	100
	Bw1	15-35	8.41	0.62	3.67	1.01	2.9	306	52	28	20	Fr.	14.40	10.70	2.52	0.89	0.30	0.00	14.40	14.40	100
	Bw2	35-75	8.08	0.74	0.98	0.54	1.8	235	62	20	18	Fr.A.	18.24	14.07	2.91	0.92	0.34	0.00	18.24	18.24	100
	C	75-115	7.67	0.72	0.36	0.54	1.9	184	68	18	14	Fr.A.	16.00	12.19	3.06	0.47	0.28	0.00	16.00	16.00	100
ILLPA	Ap	0-25	7.35	0.69	8.11	2.93	9.7	686	23	34	43	Ar.	29.60	25.15	2.84	1.48	0.13	0.00	29.60	29.60	100
	A	25-64	7.47	0.57	0.95	1.89	7.7	642	27	32	41	Ar.	29.92	24.73	3.51	1.45	0.23	0.00	29.92	29.92	100
	Ck	64-82	8.07	0.50	5.82	0.78	8.1	212	41	30	29	Fr.Ar.	25.60	11.58	11.73	0.61	1.69	0.00	25.60	25.60	100
	C1	82-110	8.41	0.65	2.86	0.52	5.3	199	43	30	27	Fr.Ar.	24.00	6.45	3.84	0.18	2.47	0.00	12.94	12.94	54
	C2	110-138	8.29	0.72	1.72	0.46	3.8	237	43	32	25	Fr.	22.40	6.65	4.67	0.27	2.85	0.00	14.43	14.43	64
TAMBOPAT A	Ap	0-12	3.20	0.90	0.00	21.13	55.8	120.04	53	33	15	Fr.A.	14.80	0.41	0.70	0.25	0.02	8.70	1.38	1.38	9
	AB	12-36	3.70	0.24	0.00	3.49	18.4	39.74	30	28	43	Ar.	11.94	0.16	0.12	0.09	0.02	9.69	0.39	0.39	3
	Bw1	36-58	3.90	0.20	0.00	3.25	15.1	51.47	43	13	45	Ar.	12.68	0.10	0.08	0.11	0.02	9.14	0.31	0.31	2
	Bw2	58-85	4.20	0.09	0.00	0.72	6.6	33.86	43	20	37	Fr.Ar.	10.45	0.19	0.07	0.07	0.04	5.95	0.37	0.37	4
	C	85-142	4.50	0.04	0.00	0.62	5.4	29.86	35	28	38	Fr.Ar.	10.40	0.21	0.08	0.05	0.04	5.89	0.38	0.38	4

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Tabla 11.*Resultados del análisis del suelo EEA Moquegua*

Concentración de Fósforo de (ppm)			
Dosis	Claves	Método	
		Olsen	Bray II
Dosis 0 gr	R1, dosis 0 kg/ha	11.20	267.90
	R2, dosis 0 kg/ha	14.10	232.80
	R3, dosis 0 kg/ha	13.40	262.00
Dosis 250 gr	R1, dosis 250 kg/ha	17.10	276.70
	R2, dosis 250 kg/ha	16.80	282.50
	R3, dosis 250 kg/ha	15.30	267.90
Dosis 500 gr	R1, dosis 500 kg/ha	23.60	279.60
	R2, dosis 500 kg/ha	23.60	281.00
	R3, dosis 500 kg/ha	24.20	297.10
Dosis 750 gr	R1, dosis 750 kg/ha	29.10	288.30
	R2, dosis 750 kg/ha	29.70	279.60
	R3, dosis 750 kg/ha	30.30	308.80

Tabla 12.*Resultados del análisis del suelo CE Illpa*

Concentración de Fósforo de (ppm)			
Dosis	Claves	Método	
		Olsen	Bray II
Dosis 0 gr	R1, dosis 0 kg/ha	19.70	77.80
	R2, dosis 0 kg/ha	19.60	85.20
	R3, dosis 0 kg/ha	21.40	79.30
Dosis 250 gr	R1, dosis 250 kg/ha	23.60	82.20
	R2, dosis 250 kg/ha	25.20	91.00
	R3, dosis 250 kg/ha	27.60	89.50
Dosis 500 gr	R1, dosis 500 kg/ha	28.60	99.80
	R2, dosis 500 kg/ha	28.00	95.40
	R3, dosis 500 kg/ha	28.80	102.70
Dosis 750 gr	R1, dosis 750 kg/ha	31.80	107.10
	R2, dosis 750 kg/ha	33.20	110.00
	R3, dosis 750 kg/ha	37.40	104.20

Tabla 13.

Resultados del análisis del suelo CE Tambopata

Concentración de Fósforo de (ppm)			
Dosis	Claves	Método	
		Olsen	Bray II
Dosis 0 gr	R1, dosis 0 kg/ha	5.30	12.30
	R2, dosis 0 kg/ha	4.90	10.10
	R3, dosis 0 kg/ha	4.90	11.60
Dosis 250 gr	R1, dosis 250 kg/ha	9.50	13.00
	R2, dosis 250 kg/ha	9.10	16.30
	R3, dosis 250 kg/ha	5.10	16.60
Dosis 500 gr	R1, dosis 500 kg/ha	9.00	17.70
	R2, dosis 500 kg/ha	7.50	15.40
	R3, dosis 500 kg/ha	7.60	14.90
Dosis 750 gr	R1, dosis 750 kg/ha	12.00	18.90
	R2, dosis 750 kg/ha	10.30	17.90
	R3, dosis 750 kg/ha	11.90	18.30

Tabla 14.

Análisis de variancia para el Fósforo disponible del suelo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.
Suelo (S)	2	232171.80	116085.90	3403	3.23	5.18	**
Método (M)	1	217910.01	217910.01	6387	4.08	7.31	**
Dosis (D)	3	3233.67	1077.89	31.6	2.84	4.31	**
Interacción S * M	2	203206.86	101603.43	2978	3.23	5.18	**
Interacción S * D	6	824.99	137.50	4.03	2.34	3.29	**
Interacción M * D	3	376.17	125.39	3.68	2.84	4.31	*
Interacción S * M *D	6	257.57	42.93	1.26	2.34	3.29	ns
Error experimental	48	1637.54	34.12				
TOTAL	71	659618.61					
C.V.= 7.93%			Media =	73.64			

ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 8.

Paisaje de la Estación Experimental Agraria Moquegua



Figura 9.

Apertura de la calicata en la Estación Experimental Agraria Moquegua



Figura 10.

Materiales de trabajo para la apertura de calicata



Figura 11.

Apertura de la calicata del Centro Experimental Illpa



Figura 12.

Perfil de suelo del Centro Experimental Illpa



Figura 13.

Muestreo de suelo con barreno en Estación Experimental Agraria Moquegua



Figura 14.

Muestreo de suelo con barreno en Centro Experimental Tambopata



Figura 15.

Perfil de suelo del Centro Experimental Tambopata



Figura 16.

Secado de muestras de suelos



Figura 17.

Tamizado de muestras



Figura 18.

Secado de muestras de los tipos de suelo



Figura 19.

Pesaje del suelo para la incubación



Figura 20.

Pesaje de fosfato diamónico para la combinación para la incubación



Figura 21.

Mesclado de suelo y fosfato diamónico para la incubación



Figura 22.

Mezcla de suelo y fertilizante para la incubación



Figura 23.

Muestras listas para la incubación

