

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL



OPTIMIZACIÓN DEL ENCALADO SOBRE EL
CONTROL DE ACIDEZ DEL SUELO ARROCERO EN
BELLAVISTA - PROVINCIA DE JAÉN, 2019

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. MEZONES PACHECO, Mariliz del Solar

ASESOR:

Dr. GARAY ROMÁN, Juan Manuel

Jaén – 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 27 de noviembre del año 2019, siendo las 18:10 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Wilfredo Ruiz Camacho

Secretario: Dr. Segundo Edilberto Vergara Medrano

Vocal: Mg Jorge Antonio Delgado Soto, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

"Optimización del encalado sobre el control de acidez del suelo arrocero en Bellavista-Provincia de Jaén, 2019", presentado por la Bachiller Mariliz del Solar Mezones Pacheco de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (<u>15</u>) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 18:51 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

INDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. OBJETIVOS.....	8
III.MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
IV.RESULTADOS	34
V. DISCUSIÓN.....	54
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
DEDICATORIA.....	59
AGRADECIMIENTO	60

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en las parcelas arroceras del caserío de San Pablo distrito de Bellavista, provincia de Jaén y región de Cajamarca (INEI, 2019), ubicada a latitud de -5.67424 S longitud de -78.68551 W, altitud de 867 m; con temperaturas entre 27 y 30 °C. se desarrolló con los objetivos de neutralizar la acidez de los suelos que se volvieron ácidos por la continua fertilización de sustancias nitrogenadas; como son, la urea $((\text{NH}_2)_2\text{CO})$, el sulfato de amonio $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, el fosfato diamónico $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ y el fosfato amónico $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$. La investigación se realizó en 120 m², con el trazado de 18 bloques, divididos en 3 columnas y 6 filas, a cada bloque se le extrajo 1 kg de tierra a tres profundidades diferentes: 10, 20 y 30 centímetros. Para la medida del pH más representativo se midió el pH por cada profundidad y se sacó un promedio. El que dio como resultado 5.4; para los demás análisis se tomó un muestreo representativo de 6 bloques para su lectura (T_3 , T_6 , T_9 , T_{12} , T_{15} y T_{18}). Entre las sustancias encalantes se utilizaron sales en base al calcio, como: Dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$), cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y roca fosfórica (RF). El encalado mostró valores óptimos para la acidez del suelo: Para el uso de la dolomita la cantidad óptima fue 149.7 gr $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3/\text{m}^2$ [ó 1.49 TM $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3/\text{Ha}$. ó 1.6 TM CaCO_3/Ha .]; cuando el encalado utilizó cal apagada la dosis óptima fue 115.9 gr $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{m}^2$ [ó 1.15 TM $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{Ha}$. ó 1.59 TM CaCO_3]; y, cuando el encalado utilizó roca fosfórica (RF), la dosis óptima de encalado de suelos arroceros fue utilizando 276.9 gr /m² ó 2.76 TM/Ha. ó 3.2 TM CaCO_3/Ha . Por otra parte, la caracterización física química del suelo, fue: Humedad promedio del suelo: 26.20 %; la textura del suelo fue franco arcilloso (arcilla: 39 %, limo: 33 % y arena: 28 %), el pH fue 5.4, la salinidad del suelo fue: 0.05 %.

Palabras claves: Encalado, suelo, calcio, carbonato de calcio.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the rice plots of the hamlet of San Pablo district of Bellavista, province of Jaén and Cajamarca region (INEI, 2019), located at latitude of -5.67424 S longitude of -78.68551W, altitude of 867 msnm. with temperatures between 27 and 30 ° C. It was developed with the objectives of neutralizing the acidity of soils that became acidic by the continuous fertilization of nitrogen substances; as they are, urea ((NH₂)₂CO), ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄), diammonium phosphate ((NH₄)₂HPO₄) and ammonium phosphate (NH₄H₂PO₄). The investigation was carried out in 120 m², with the layout of 18 blocks, divided into 3 columns and 6 rows, each block was extracted 1 kg of land at three different depths: 10, 20 and 30 centimeters. For the most representative pH measurement, the pH was measured for each depth and an average was taken. The one that resulted in 5.4; for the other analyzes, a representative sample of 6 blocks was taken for reading (T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ and T₁₈). Among the lightening substances, calcium-based salts were used, such as: Dolomite (CaCO₃.MgCO₃), slaked lime (Ca(OH)₂) and phosphoric rock (RF). Liming showed optimal values for soil acidity: For the use of dolomite the optimal amount was 149.7 gr CaCO₃.MgCO₃ m² [or 1.49 MT CaCO₃.MgCO₃/Ha. or 1.6 TM CaCO₃/Ha.]; when liming used lime off the optimum dose was 115.9 gr Ca (OH) 2 / m² [or 1.15 MT Ca (OH)₂ /Ha. or 1.59 TM CaCO₃]; and, when liming used phosphoric rock (RF), the optimum liming dose of rice soils was using 276.9 gr / m² or 2.76 MT / Ha. or 3.2 MT CaCO₃ / Ha. On the other hand, the physical chemical characterization of the soil was: Average soil moisture: 26.20%; the texture of the soil was clay loam (clay: 39%, silt: 33% and sand: 28%), the pH was 5.4, the salinity of the soil was: 0.05%.

keywords: Liming, soil, calcium, calcium carbonate

I. INTRODUCCIÓN

El área de trabajo de la investigación se desarrolló en la provincia de Jaén, la cual cuenta con localidades, centros poblados, caseríos con una actividad común entre los agricultores: Cultivo del arroz, entre otros.

El cultivo de arroz es una actividad que da el sustento de vida a miles de familias dedicadas a la agricultura. La problemática se generó cuando ésta actividad está catalogada como una de las que produce contaminación en aguas, suelos y atmósfera. Para la presente investigación, el objetivo se dirigirá a remediar la calidad de suelo contaminado por la acidez formada como resultado de la adición continua y desmedida de fertilizantes como la urea y el sulfato de amonio, entre otros más.

Es decir, el desarrollo de esta investigación fue parte de la atención de una problemática vigente y de actualidad. En sí, la fertilización es buena y adecuada cuando esta se desarrolla sin los excesos que hoy se hace uso. Por ello, se realizó la investigación como una alternativa tecnológica para poner al alcance de los agricultores arroceros.

La generación de suelos ácidos es el resultado de una adición reiterada y cíclica de urea $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$, sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, opcionalmente, si la economía es buena la fertilización del cultivo de arroz se complementa con fosfato diamónico $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$, fosfato amónico $[(\text{NH}_4)\text{HPO}_4]$, o nitrato de amonio (NH_4NO_3) . Todos los fertilizantes nitrogenados contribuyeron con una dosis importante y elevada de nitrógeno, lo cual es beneficioso para el crecimiento biológico de las plantas (SERFOR). 2014). Sin embargo, es importante también y correcto conocer que aportan una apreciable concentración de iones hidrógeno $[\text{H}^+]$ (responsable de la acidez); impactándose de esta forma el suelo, elevando su acidez y haciéndola poco productiva, por la movilización que sufre el aluminio (Molina, 1998).

La ejecución del proyecto permitirá a los agricultores de Jaén de la región Cajamarca contar con una propuesta de poseer una agricultura sustentable y concordante a la protección del medio ambiente al no impactar los recursos naturales de suelos ni agua, con la reiterada aplicación de fertilizantes nitrogenados sin encalar en el tiempo. Paralelamente, neutralizar y corregir la acidez excesiva de los suelos traerá de forma práctica una mejor racionalidad de la adición de los fertilizantes y como consecuencia de ello mayor productividad en las cosechas (Tisdale et al., 1993).

La propuesta no será más onerosa ni causará mayores gastos económicos, pues entre

las sales el encalado de suelos se tienen sustancias como la cal apagada (CaO), la cal agrícola dolomita y la roca fosfórica, cuya adquisición es muy accesible en la provincia de Jaén.

Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados por los agricultores de arroz de forma que la reducción del impacto de los suelos tenga un efecto positivo para la localización geográfica designada para el trabajo de investigación. De esta manera, se contribuirá socialmente con una actividad tan común y corriente en la región de Cajamarca. Restaurar la acidez fue tecnológicamente posible, gracias al proceso del encalado, que consistió en determinar la concentración de iones hidrógeno en exceso en los suelos (pH), para luego mezclarlos con sustancias alcalinas con una concentración similar de iones hidroxilo (provenientes de las sustancias encalantes: Dolomita, cal apagada o roca fosfórica) que neutralizan los iones hidrógeno formando una molécula de agua (Millán et al., 2010).

Mantener una acidez adecuada del suelo, es muy importante para la nutrición de las plantas, como el arroz, dado que si la acidez baja a niveles menores pH 6.0; se empieza a presentar problemas con adsorción de aluminio, debido a la rápida movilización de éste catión Al^{+3} . Por ello, la problemática se vuelve seria, cuando se incide en una fertilización nitrogenada, pues todos los suelos fertilizados con nitrógeno por lo general se vuelven ácidos con el tiempo

Debido a que la aplicación de urea que es el fertilizante obligado de los cultivos de arroz (aporte de nitrógeno: 46 % en peso N) cuando se mezcla con la humedad del suelo tiende en una primera etapa hacia la amonificación hasta que las sustancias se presentan como NH_4^+ (Cristóbal et al., 2011). Lo que obliga al agricultor a ingresar a un ciclo de trabajo que lo único que asegura es la contaminación reiterada de sus suelos productivos, convirtiéndolos en suelos con problemas de acidez. Esto significó, que la adición de urea, al descomponerse genera reacciones aeróbicas y anaeróbicas, de las cuales se evidencia la producción de iones hidrógeno que al no ser neutralizados con el tiempo su acumulación genera un factor de contaminación de los suelos denominado acidez de suelo (Garbeva et al. 2004).

De un lado las plantaciones absorben y depuran los suelos a excepción de la acidez, obligando al productor corregir ésta circunstancia agregando más fertilizante nitrogenado, que como se mencionó es de fácil adquisición en el mercado local. Por ello, es importante remediar los suelos que son fertilizados continuamente con altas dosis de nitrógeno como la urea.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la concentración óptima de encalado sobre el control de acidez de suelo arrocerero en 2019.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente un suelo arrocerero ácido, del distrito de Bellavista, provincia de Jaén.
- Evaluar el contenido de materia orgánica y conductividad del suelo ácido por aporte de fertilizantes.
- Evaluar químicamente sustancias encalantes para suelos arroceros ácidos: cal dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio) y cal agrícola (hidróxido de calcio) y roca fosfórica (RF).

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Población, muestra y muestreo

3.1.1 Población:

La población estuvo constituido por el universo de tierras de cultivo de arroz de ésta provincia con un monocultivo arrocerero, que garantice rutina nutritiva de las plantas de arroz típica, es decir, que lleva muchos años en la misma labor y utilizando urea y sulfato de amonio, además de los plaguicidas y foliares.

Por lo general el ciclo biológico de las plantaciones de arroz dura alrededor de cuatro meses, donde previamente se realizaron labores de labranza para remover la superficie de suelo.

Descripción del ámbito de estudio:

La investigación se realizó en las parcelas en el caserío de San Pablo distrito de Bellavista, provincia de Jaén y región de Cajamarca (INEI, 2019), ubicada a latitud de -5.67424 S longitud de -78.68551W, altitud de 867 m; con temperaturas entre 27 y 30 °C, propiedad del señor Iduballer Pacheco Santos. El acceso al caserío, fue por trocha carrozable. El itinerario para acceder al terreno en experimentación fue a través de unidades vehiculares que se dirigen al distrito de Bellavista. Desde allí se continua en la dirección al caserío San Pablo. Que se puede hacer en vehículos menores o a pie. La muestra de arroz para conocer el comportamiento típico de un arroz se muestreo el terreno cuando éste había recibido el plantón hacía 30 días. Posteriormente, se hizo uso de una poza de arroz a la cual se le manipuló para los trabajos de la investigación (trazos, muestreo, señalización, entre otros).

Ecosistema

Presentó zonas intervenidas con características de zona agrícola, esta comprendió las áreas dedicadas a cultivos permanentes o transitorios.

Suelos

RGe-CLh, Regosol éutrico - Calcisol háplico, posee paisajes de lomadas, colinas y montañas, su pendiente fue de 8-25, 25 a +75 grados.

Clima

C(o,i,p) A' H3: clima semiseco (otoño, invierno y primavera seca), cálido húmedo
A continuación, se graficó la zona de estudio.

PLANO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio de la presente investigación.

3.1.2 Muestra y muestreo

La muestra por condiciones imprevistas estuvo representada por una poza de arroz previamente seleccionada y delimitado para realizar un trazado (3 columnas por 6 filas) de forma que se pueda tener distribuido 18 bloques de un metro cuadrado cada uno.

3.1.3 Diseño de la investigación

El diseño del experimento fue realizado con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) que consistió en la señalización de 18 bloques de 1 metro cuadrado cada uno.

El área experimental tuvo un área de 120 m², que fue el tamaño de una poza de arroz. luego se procedió a dividirlo en bloques formados por 6 filas y 3 columnas, cada columna está conformada por 2 filas.

Para la ejecución del muestreo fue necesario tomar seis (6) bloques de suelo representativos tomados por el criterio del zigzag. Los bloques seleccionados aleatoriamente mediante la función (= aleatorio. enter) en excel fueron: T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

A los bloques de la fila T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ y T₆, se les adicionó la dolomita [CaCO₃.MgCO₃] como sustancia encalante.

A los bloques de la fila T₇, T₈, T₉, T₁₀, T₁₁ y T₁₂, se les adicionó la cal apagada [Ca(OH)₂] como sustancia encalante.

A los bloques de la fila T₁₃, T₁₄, T₁₅, T₁₆, T₁₇ y T₁₈, se les adicionó la roca fosfórica (es una mezcla de varias sustancias, que tiene como base a los fosfatos y al calcio) como sustancia encalante.

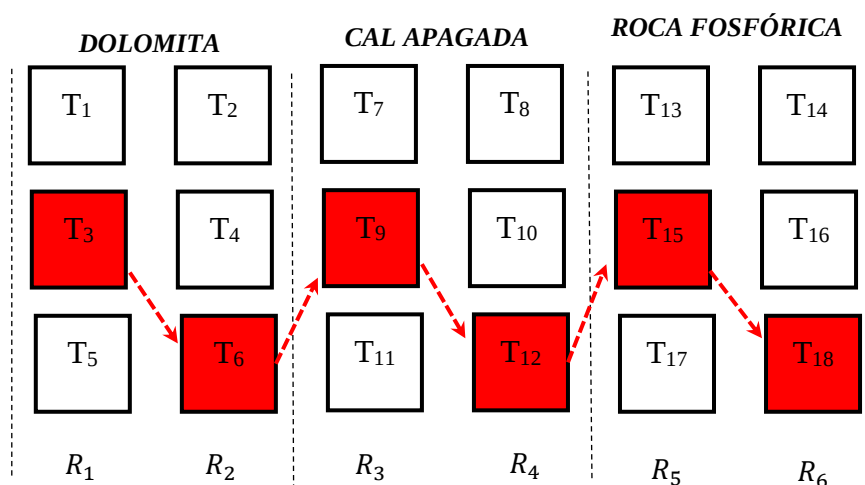


Fig. 2. Experimentación de dosis de sustancias encalantes.

Actividad N° 1: Caracterizar física y químicamente un suelo arrozero ácido, del distrito de Bellavista, provincia de Jaén

Para el cumplimiento del primer objetivo, se procedió a aplicar la técnica del muestreo de suelo, formulado por ISO 11464. (1994).

Muestreo de suelo:

El muestreo fue diseñado de acuerdo a la figura N° 2, para ello fue necesario plantar estacas en los vértices de cada bloque de suelo. Luego, se delimito cada bloque para separar uno de otro.

La toma de muestras se realizó de la siguiente manera:

Se realizó una calicata a 10, 20 y 30 centímetros de profundidad desde la superficie del suelo, tomándose en cada una de ellas una muestra de 1 kg. de suelo, preservándolas mediante el sellado en una bolsa de plástico.



Fig. 3. Muestreo mediante calicatas en el suelo arrozero

De forma que por cada metro cuadrado de suelo se obtuvieron 3 muestras de suelo a 10, 20 y 30 centímetros de profundidad de suelo. El área de experimentación tuvo una distribución de 18 bloques. Finalmente, en total se obtuvieron 54 muestras de suelo.

Acondicionamiento de la muestra de suelo en el laboratorio:

Se utilizó los siguientes materiales de trabajo:

- Bandejas de aluminio.
- Bolsas de plástico y cintas de embalaje.
- Tamiz de acero inoxidable o de otro material inerte, con orificios de 2 mm (recomendable ASTM N° 10 diámetro 8”).
- Mortero y pistilo de porcelana.
- Bolsas o frascos de plástico con tapa para almacenar las muestras, debidamente identificadas.

A continuación, se procedió a realizar el secado de cada una de las muestras de suelo, se trasladaron las muestras al laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, para la caracterización físico química del suelo. En el laboratorio, se realizó una depuración de las muestras eliminando raíces u vegetales secos de las muestras de suelo. Seguidamente se realizó una operación de molienda del suelo con un mortero y su pistilo de porcelana. El objetivo fue moler las muestras por presión sin recurrir a golpes sobre el suelo, buscando desmoronar los terrones grandes de suelo. Finalmente, cada una de las muestras de los 18 bloques (54 muestras) se colocó sobre la torre de análisis para composición granulométrica con el fin de obtener la muestra de suelo más fina con el tamiz de acero inoxidable con orificios de 2 mm.



Fig. 4. Acondicionamiento del suelo

De los 18 bloques, se tomaron 6 bloques al azar en zic zac representativas para desarrollar un análisis físico y químico para tener un promedio representativo del suelo estudiado.

Muestras evaluadas: Bloques T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

3.1.4 Caracterización física – química del suelo:

3.1.4.1 Determinación de la humedad.

Muestras evaluadas: Bloques T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

La fundamentación consistió en pesar el suelo en las condiciones originales que llegó al laboratorio y luego se evaporó la humedad para finalmente pesar el residuo seco, después de la evaporación y hallar el contenido de la humedad del suelo por diferencia de peso.

Equipos y materiales:

- Dos vasos de 250 ml.
- Una cápsula de porcelana de 8 cm de diámetro.
- Una balanza de precisión.
- Desecador.
- Una estufa de desecación.

Reactivos químicos:

- Cloruro de calcio anhidro.

Procedimiento:

De cada muestra de suelo (T_3 , T_6 , T_9 , T_{12} , T_{15} y T_{18}) se obtuvo una quinta parte y se procedió a mezclar las muestras de suelo en sus tres niveles de profundidad: 10, 20 y 30 cm.

Las muestras se secaron en una estufa a una temperatura de 110 °C, durante 3 horas. Cada muestra se pesó en una cápsula de porcelana y sobre ella se pesó un aproximado de 100 gramos del suelo fino para depositarlo en una cápsula de porcelana (crisol). El peso final exacto fue determinado por diferencia de pesos entre la muestra y la cápsula que contuvo la muestra de suelo.

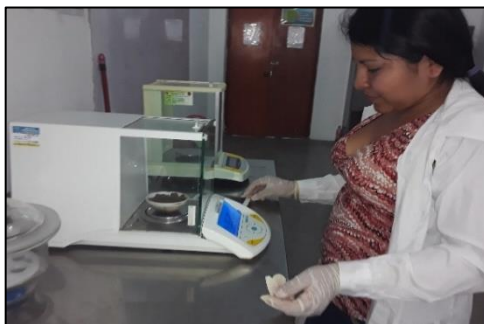


Fig. 5. Pesado de muestras de suelo.

Se programó una temperatura de 110 °C en la estufa con 30 minutos de anticipación para darle el tiempo de alcanzar la temperatura deseada.

Las muestras se mantuvieron en la estufa por un lapso de 3 horas, con el objetivo de evaporar toda la humedad remanente en la muestra.

Después se extrajeron las muestras y se enfriaron al interior de un desecador de vidrio, en cuyo interior se depositó una sal de cloruro de calcio, para evitar que nueva humedad se incorpore a las muestras de suelo seco.

Se volvió a pesar la muestra con la cápsula de porcelana y por diferencia de peso entre el peso final y el peso de la cápsula. Se determinó el peso del residuo que correspondió al contenido de sales disueltas en la muestra de suelo.



Fig. 6. Secado del suelo son secadas en la estufa.

3.1.4.2 Determinación de la textura.

La metodología empleada fue el método de Bouyoucos, por ser directa al evaluar la densidad de la arcilla, limo y arena.

Equipos y materiales:

- Estufa.
- Batidora o licuadora de mínima velocidad.
- Probetas para sedimentación de 1 L.
- Termómetro 0-100°C.
- Bagueta de un largo aproximado de 60 cm y provista de un disco perforado en un extremo.
- Hidrómetro estándar (ASTM N° 1, 152 H), con escala Bouyoucos en g/L.
- Piceta.
- Vaso de precipitación de 500 ml.
- Fiola de 1000 ml.
- Papel parafilm.

Reactivos químicos:

- Dehexametafosfato de sodio $[(\text{NaPO}_3)_6]$.

Metodología:

Inicialmente, se procedió a preparar una disolución con la solución dispersante del dehexametafosfato de sodio $[(\text{NaPO}_3)_6]$, para ello, se pesó 50 gramos de la sal para luego disolverla en 500 ml de agua destilada; y, finalmente se taró a 1000 ml dentro de una fiola.

El procedimiento continuó con el pesado de 50 gramos de suelo como muestra representativa del suelo y tamizados a un particulado de 2 mm de espesor.

- Seguidamente, la muestra se trató con 100 ml de la disolución dispersante de dehexametafosfato de sodio $[(\text{NaPO}_3)_6]$, y vaciando todo el contenido de la solución con la ayuda de una piceta llena de agua destilada.
- La mezcla se dejó reposar 24 horas para su estabilización química.
- Al procedimiento se utilizó un Blanco con los mismos reactivos: Dehexametafosfato de sodio $[(\text{NaPO}_3)_6]$,
- La mezcla tratada del suelo se transfirió al vaso de la batidora para realizar una agitación de 2 minutos.

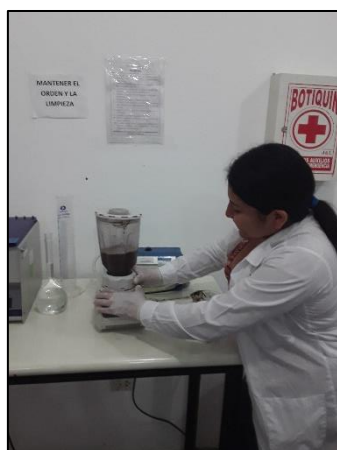


Fig. 7. Batido de la mezcla suelo-agua- dehexametafosfato de sodio.

- Luego, la mezcla se trasladó a una probeta de 1000 ml, diluyéndose con agua destilada hasta 1000 ml.
- Con un agitador se agitó la mezcla por dentro de la probeta.
- Luego, se introdujo el hidrómetro de Bouyoucos en g/L, a la solución de la probeta y con un termómetro se midió la temperatura. Lo mismo se realizó con el Blanco.



Fig. 8. Medida del hidrómetro de Bouyucus de la muestra de suelo.

- Se tomó lectura del hidrómetro después de la agitación en el tiempo 40 segundos, luego se dejó reposar la muestra en probeta y se volvió a leer el hidrómetro al cabo de 7 horas.

3.1.4.3 Determinación del pH.

Se tomaron muestras de suelo de 1 kilogramo cada uno, y la forma de extracción de las muestras de suelo, fue a distintas profundidades: 10 cm, 20 cm y 30 cm. Es decir, que se obtuvieron 3 muestras por cada bloque de suelo (1 m^2), de forma que el muestreo originó 54 muestras de suelo en total.



Fig. 9. Trazo de los 18 bloques de suelo, con 1 m^2 de área.

El trazo del terreno arrocero, se hizo en concordancia al planificado en la figura 2. Para ello se sacrificó los plantones sembrados 30 días antes. De forma que se pudo manipular a libertad toda la parcela de arroz.



Fig. 10. Muestreo 18 bloques de 1 m² de suelo.



Fig. 11. Muestras de suelo para la medida del pH.

Metodología:

Se utilizó un potenciómetro de propiedad de la Universidad Nacional de Jaén, cuyas características fueron las siguientes:

- Rangos de medición: -2,00 ... 16,00 pH / -20 ... +120,00 °C. 0 ... 13 pH / 0 ... 80 °C con el electrodo HI 1230B.
- Resolución: 0,01 pH / 0,1 °C y precisión (a 20 °C): ±0,01 pH / ± 0,4 °C.
- Electrodo HI 1230B: de plástico, relleno de gel, con un cable de 1 m y conexión BNC para el medidor pH, y de dimensiones: 192 x 71,6 x 36 mm.

Acondicionamiento del suelo:

La muestra de suelo fue acondicionada antes de proceder a medir el pH. Para ello, en primer lugar, se empezó a realizar una homogenización del suelo, con el fin que permita realizar la operación del tamizado con bandejas.

A continuación, se procedió a triturar la muestra de suelo con un mortero para posteriormente, pasarlo por el tamiz 2 mm. Tal como se ilustra a continuación:



Fig. 12. Muestreo 18 bloques de 1 m² de suelo.

una vez realizada la molienda se realizó el tamizado de la muestra de suelo, según la recomendación formulada por ISO 11464. (1994), que recomendó el diámetro máximo de 2 mm para continuar con el análisis de suelos.



Fig. 13. Trituración del suelo y tamizado a 2 mm.

Calibración del potenciómetro:

El potenciómetro debidamente lavado con detergente líquido, se enjuagó con abundante agua destilada y se procedió a estandarizarlo con tres soluciones buffer: 4; 7 y 10; teniendo el cuidado de ajustarlo a 20 °C.

Procedimiento:

Suelo a 10 cm. Relación suelo / agua 1:2.

Se pesó 10 gramos de suelo y se mezcló en un vaso de precipitación de 50 ml. con 20 ml. de agua destilada. Se agitó con una varilla de vidrio durante 30 minutos hasta lograr la máxima disolución del suelo en el agua. Seguidamente se introdujo el electrodo del potenciómetro del pH debidamente calibrado y se tomó lectura de la pantalla digital.

Suelo a 20 cm. Relación suelo / agua 1:2.

Se pesó 10 gramos de suelo y se mezcló en un vaso de precipitación de 50 ml. con 20 ml. de agua destilada. Se agitó con una varilla de vidrio durante 30 minutos hasta lograr la máxima disolución del suelo en el agua. Seguidamente se introdujo el electrodo del potenciómetro del pH debidamente calibrado y se tomó lectura de la pantalla digital.

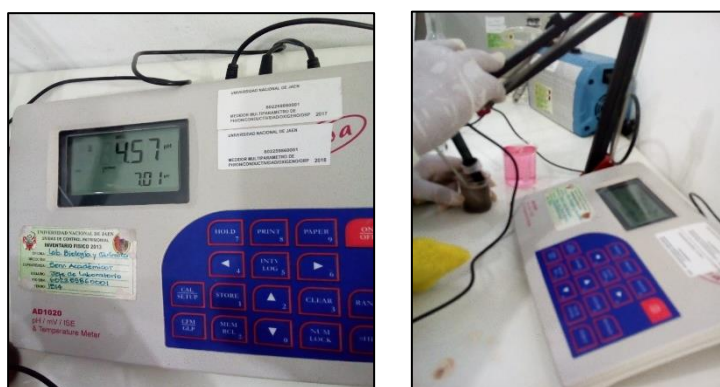


Fig. 14. Medida del pH de las muestras de suelo.

Suelo a 30 cm. Relación suelo / agua 1:2

Se pesó 10 gramos de suelo y se mezcló en un vaso de precipitación de 50 ml. con 20 ml. de agua destilada. Se agitó con una varilla de vidrio durante 30 minutos hasta lograr la máxima disolución del suelo en el agua. Seguidamente se introdujo el electrodo del potenciómetro del pH debidamente calibrado y se tomó lectura de la pantalla digital.

Actividad N° 2: *Evaluar el contenido de materia orgánica y conductividad eléctrica y salinidad del suelo ácido por aporte de fertilizantes.*

3.1.4.4 Determinación de la materia orgánica.

Para determinar el contenido de materia orgánica del suelo arrocero, se utilizó la metodología recomendada por Motsara & Roy. (2008) y el uso de la pérdida de peso por calentamiento de la materia orgánica.

Materiales y equipos:

- Un juego de tamices para ensayos de suelos y granulometría.
- Un vaso de precipitación.
- Un horno de mufla.
- Una balanza de precisión.
- Crisol de porcelana.
- Desecador de vidrio.

Reactivos químicos:

- Cloruro de calcio anhidro.
- Agua destilada.

Procedimiento:

Se procedió a evaluar las muestras: Bloques T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈, mezclamos los suelos de 10,20 y 30 obteniendo 6 muestras de suelo. Tendiéndose en cuenta que representan a toda la parcela de arroz.

- Se pesó 6 muestras de suelo de 10 gr de tierra tamizada (2 mm), las cuales se colocaron en un crisol de porcelana.
- El crisol de porcelana con las muestras de suelo se calentó en una estufa a 105 °C, durante 4 horas.
- Secada las muestras se colocaron en un desecador con cloruro de calcio por el lapso de 30 minutos hasta su enfriamiento.
- Se pesaron las muestras de suelo debidamente frías.
- Luego, nuevamente. Las muestras de suelo pesadas se colocaron al interior de una mufla hasta calentamiento de 400 °C por el lapso de 4 horas.
- Finalizado el calentamiento, se procedió de la misma forma anterior. A enfriar las muestras al interior de un desecador con cloruro de calcio anhidro en su interior, por el tiempo de 30 minutos.
- Nuevamente, se pesaron las muestras de suelo debidamente frías.

- El porcentaje de materia orgánica M.O. viene dado por la siguiente relación:

$$\% \text{ MO} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

Donde:

W_1 : Es el peso del suelo a 105 °C.

W_2 : Es el peso del suelo a 400 °C.

El porcentaje de C orgánico viene dado por: $OM \times 0,58$.

De forma general, Motsara & Roy. (2008), sostienen que la materia orgánica casi siempre contiene en un 58 % de carbono orgánico. La diferencia lo conforman otras sustancias orgánicas.

3.1.4.5 Determinación de la conductividad eléctrica.

Muestras evaluadas: Bloques T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈. La fundamentación consistió en determinar el contenido total de sales disueltos en la solución del suelo.

Materiales y equipos:

- Vaso de precipitación de 250 mL.
- Un agitador de vidrio.
- Papel filtro N° 1.
- Solución de cloruro de potasio, KCl, 0,1 mol/L.
- Conductímetro de exactitud de al menos 0,01 dS/m (10 µS/cm).

Reactivos químicos:

- Cloruro de potasio.

Procedimiento:

Se pesó una tara con papel de aluminio y sobre él se pesó 40 gramos de suelo tamizado a 2 mm., el cual se vertió en un vaso de precipitación de 250 ml y sobre él se agregó 80 ml de agua destilada y se tapó el frasco para la agitación durante 60 minutos. Luego, se procedió a filtrar la suspensión del suelo en un filtro N° 1.

Standarización del potenciómetro:

Preparación de las soluciones:

Solución de cloruro de potasio, KCl, 0,1 mol/L.

Se pesó 7,45 g de cloruro de potasio (KCl), luego se llevó a la estufa a una temperatura de 105 °C. y se disolvió en un matraz aforado de 1000 ml, enrazado

con agua destilada. La conductividad eléctrica específica de esta solución fue 1.412 mS/cm corregido a 25°C.

Con éste parámetro denominado constante de celda del conductímetro se realizó el ajuste al conductímetro del laboratorio. Y se procedió a medir la conductividad eléctrica de la solución de suelo-agua (1:52), para cada bloque (T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈).

3.1.4.6 Determinación de la salinidad del suelo.

La fundamentación consiste en que el contenido de sales se asocia al valor de la conductividad eléctrica del suelo.

Equipos y materiales:

- Dos vasos de 250 ml.
- Un embudo Büchner de 5 cm de diámetro.
- Un matraz de Kitasato de 250 ml.
- Una cápsula de porcelana de 8 cm de diámetro.
- Una balanza de precisión.
- Desecador.
- Una estufa de desecación.
- Papel de filtro.

Procedimiento:

Se extrajo una muestra representativa de suelo mezclando una parte de suelo de todos los bloques asignados para este fin: T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

Es decir, se tuvo una muestra uniforme de toda la parcela de investigación.

Se pesó una cápsula de porcelana y sobre él se pesó 100 gramos del suelo fino para depositarlo en un vaso de precipitación de 250 ml.

Luego, sobre la muestra de suelo se añadió agua destilada hasta su punto de saturación, se procedió a mezclar el agua con el suelo y se dejó reposar por un lapso de 15 minutos, para volver a saturar con más agua destilada.

Paralelamente, se armó una unidad de filtración a vacío para separar la solución líquida del suelo. El filtrado del matraz kitasato permitió continuar con la evaluación de la salinidad a través de la medida de la conductividad eléctrica. Para ello, se tomó como referencia la siguiente tabla.

Tabla 1.**Influencia de las sales disueltas en el pH de suelos**

Suelo	Conductividad eléctrica (dS/m)	(%) de sodio intercambiable	pH
Salino	> 4.0	< 15	< 8.5
Sódico (no salino)	4 - 7	> 15	> 8.5
Sódico y salino	8 - 15	> 15	< 8.5

Fuente: Richars (1954).

Tabla 2.**Valores típicos sobre salinidad de suelos.**

Suelo	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Contenido de sales (%)	Reacción de cultivo
Libre de sales	0 - 3	< 0.15	Efecto de salinidad insignificante, excepto en cultivos más sensibles.
Ligeramente salino	4 - 7	0.15–0.35	Rendimiento de muchos cultivos restringido.
Moderadamente salino	8 - 15	0.35–0.65	Solo los cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente.
Altamente salino	> 15	> 0.65	Solo los cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente.

Fuente: (Cristóbal et al., 2011).

Actividad N° 3: Evaluación química de sustancias enalantes para suelos arroceros ácidos: Roca fosfórica (RF), cal agrícola dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio) y cal agrícola apagada (hidróxido de calcio).

Se realizó una investigación para conocer el comportamiento de las sustancias enalantes utilizadas en la presente investigación:

Dolomita:

El carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) se denomina dolomita. El material puro contiene 21.6 % de Ca y 13.1 % de Mg. Aunque la dolomita reacciona más lentamente en el suelo que la calcita, tiene la ventaja que suministra Mg, elemento con frecuencia deficiente en suelos ácidos. Existen otros materiales de contenidos

menores de Mg que se usan frecuentemente para encalar el suelo.

De acuerdo con su contenido de Mg, los materiales de encalado se clasifican en las categorías señaladas en la tabla 3. La calidad de la dolomita depende del contenido de impurezas como arcillas y material orgánico. Ello da lugar a varios tipos de dolomita: Dolomita calcítica (< 3 % Mg), dolomita magnesiana (3 – 7 % Mg) y la dolomítica (> 7 % Mg).

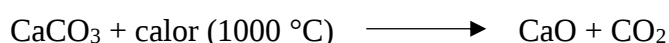
Tabla 3.
Clasificación de cales en base al magnesio.

Tipo de cal	% Mg	% MgO	% MgCO ₃
Calcítica	< 3	< 5	< 10
Magnesiana	3 - 7	5 - 12	10 - 25
Dolomítica	> 7	> 12	> 25

Fuente: Castro y Munevar (2013).

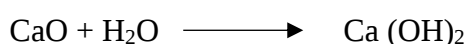
Cal apagada:

El hidróxido de calcio [Ca(OH)₂] se conoce también como cal apagada o cal hidratada y se obtiene a partir de la reacción del óxido de calcio con agua de acuerdo con el siguiente procedimiento: El óxido de calcio (CaO), también conocido como cal viva o cal quemada, es un polvo blanco muy difícil y desagradable de manejar. Se fabrica calcinado al horno piedra caliza lo que produce la siguiente reacción:



Cuando se aplica en suelo ácido reacciona de inmediato y por esta razón este material es ideal cuando se desean resultados rápidos (iguales resultados se obtienen con el hidróxido de calcio). La velocidad de la reacción se debe a que, por ser un óxido, reacciona rápidamente al ponerse en contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica que libera iones OH⁻. Este material debe mezclarse inmediatamente debido a que se endurece rápidamente al ponerse en contacto con la humedad del suelo, haciéndose inefectivo. El óxido de calcio puro contiene 71% de Calcio (Ca).

Luego, el hidróxido de calcio [Ca(OH)₂] o cal apagada, se forma a partir de la siguiente reacción:



Es una sustancia blanca, polvorienta y desagradable de manejar al voleo. Este material también reacciona en el suelo rápidamente y se debe también incorporar inmediatamente. Este material tiene un efecto intermedio entre óxido de calcio y el carbonato de calcio para neutralizar la acidez del suelo. En forma pura presenta 56 % de Ca.

Roca fosfórica:

Es una mezcla de sustancias nutritivas para los cultivos, tiene en su composición: Fósforo (P_2O_5): 18 - 20 %; calcio: 26 – 30 %; magnesio (Mg): 0.6 % y azufre (S): 5.5 %. Físicamente, es una arena fina con un promedio de humedad entre el 8 – 10 %; su color varía entre el marrón a plomo, es inodoro y presenta una densidad promedio de 1.49 a 1.51 TM/m³.

La presencia de calcio, la convierte fácilmente en una sustancia encalante de suelos ácidos.

Por lo general tiene una presentación granulada, tamizada en malla N° 20.

Actividad N° 4. Determinar la concentración óptima de encalado sobre el control de acidez de suelo arrocero en Bellavista.

El encalado fue una propuesta para remediar el contenido de acidez del suelo arrocero, el que fue resultado de la fertilización agresiva con sustancias nitrogenadas. Los fertilizantes típicos de un cultivo de arroz, que fueron usados.

- Urea.
- Sulfato de amonio.
- Fosfato diamónico (opcional).
- Fosfato amónico (opcional).
- Nitrato de amonio (opcional).

Tabla 4.

Acidez residual producida por fertilizantes nitrogenados

Fuente de N	N %	Reacción de nitrificación	Índice de acidez*
Sulfato de amonio	21	$(NH_4)_2SO_4 + 4 O_2 \rightarrow 4H^+ + 2NO_3^- + SO_4^{2-} + 2 H_2O$	-112
Urea	46	$(NH_2)_2CO + 4 O_2 \rightarrow 2H^+ + 2NO_3^- + CO_2 + H_2O$	-84
Fosfato diamónico	18	$(NH_4)_2HPO_4 + O_2 \rightarrow 3H^+ + 2NO_3^- + H_2PO_4^- + 2H_2O$	-74
Fosfato amónico	12	$NH_4H_2PO_4 + 2 O_2 \rightarrow 2H^+ + NO_3^- + H_2PO_4^- + H_2O$	-65
Nitrato de amonio	33.5	$NH_4NO_3 + 2 O_2 \rightarrow 2H^+ + 2NO_3^- + H_2O$	-63

Fuente: Tisdale et al., 1993.

* Índice de acidez fisiología = (-) kg CaCO₃ / 100 kg. Fertilizante.

Análisis: Al examinar las reacciones químicas que se desarrollan en la humedad del suelo arrocero, se puede deducir el aporte de carga de hidrogeniones al suelo. Sobre todo, si el cultivo de arroz fue fertilizado con dos fertilizantes (Sulfato de amonio y urea) o con cuatro fertilizantes (Sulfato de amonio, urea, fosfato diamónico y fosfato amónico). En el primer caso, que usó 2 fertilizantes, el aporte total de hidrógenos [H⁺] fue de 6 H⁺ en total y en el segundo caso fue de 12 H⁺ aportados al cultivo de arroz. La tabla anterior especificó el porcentaje de nitrógeno que aporta cada fertilizante al arroz. Asimismo, mostró la reacción química que genera acidez al suelo que hace uso de fertilizantes nitrogenados.

Encalado del suelo

Para realizar la técnica del encalado fue necesario recurrir a las recomendaciones formuladas por Shoemaker et al., 1961.

Tabla 5.

Cantidad de cal a añadirse según el pH de la suspensión suelo-solución y a donde se desea llegar.

Medida del pH	pH de la solución después de agregar (TM CaCO ₃ / Ha)		
	A un pH de 6.0	A un pH de 6.4	A un pH de 6.8
4.8	22.5	26.2	30.6
4.9	21.3	24.9	29.2
5.0	20.6	23.7	27.7
5.1	19.3	22.5	26.2
5.2	18.3	21.3	24.7
5.3	17.0	20.3	23.2
5.4	16.1	19.0	22.0
5.5	14.8	17.8	20.5
5.6	13.8	16.6	19.0
5.7	12.8	15.3	17.5
5.8	11.9	14.1	16.1
5.9	10.9	12.8	14.8
6.0	9.6	11.6	13.3
6.1	8.6	10.4	11.9
6.2	7.7	9.1	10.4
6.3	6.7	7.9	9.1
6.4	5.7	6.7	7.7
6.5	4.5	5.4	6.2
6.6	3.5	4.2	4.7
6.7	2.5	3.0	3.5

Fuente: Shoemaker et al., 1961.

Este documento, fue un estudio formulado para suelos de Ohio, Estados Unidos, y que aplicados al suelo arrocero materia de estudio, habrá un valor óptimo solamente de uno de ellos al pH deseado 6.0, que será en función a la calidad de suelo arrocero ensayado. De la tabla 5 se dedujo la cantidad de calcio necesario para alcanzar en la solución del suelo, el pH de 6.0. Es decir, se tomó como referencia utilizar 16.1 TM CaCO_3 ./Ha. Seguidamente, se realizó la conversión de unidades de TM CaCO_3 / Ha hacia gramos CaCO_3 / Ha suelo (denominado su equivalente).

$$\begin{aligned}
 &= \frac{16.1 \text{ TM Ca}}{\text{Ha de suelo}} \times \frac{1 \text{ Ha de suelo}}{10000 \text{ m}^2 \text{ suelo}} \times \frac{10^3 \text{ kg CaCO}_3}{1 \text{ TM CaCO}_3} \times \frac{10^3 \text{ gr CaCO}_3}{1 \text{ kg CaCO}_3} \\
 &= \frac{(16.1) (1) (10^3) (10^3)}{(10^4)} \\
 &= \frac{1610 \text{ gramos CaCO}_3}{\text{m}^2 \text{ suelo}}
 \end{aligned}$$

Seguidamente se buscó el equivalente de las sustancias encalantes respecto al carbonato de calcio, a partir de la información brindada por Molina, E. (1998).

Tabla 6.

Materiales encalantes y su equivalente en carbonato de calcio (CaCO_3)

Material encalante en base al calcio (Ca)	Cantidad del corrector en 100 kg de CaCO_3	Cantidad expresado % CaCO_3	Contenido de calcio (%)	Contenido de magnesio (%)
Carbonato de calcio CaCO_3	100	100 %	40	0
Cal dolomita CaCO_3 y MgCO_3	93	93 %	21	13
Cal viva CaO	55	55 %	71	0
Cal apagada Ca(OH)_2	72	72 %	54	0
Hidróxido de magnesio Mg(OH)_2	58	58 %	0	41
Carbonato de magnesio MgCO_3	84	84 %	0	28
Óxido de magnesio	40	40 %	0	60
Roca fosfórica	86	86 %	28	0.6

Fuente: Molina, E. (1998).

Sin embargo, las sustancias encalantes materia de la investigación fueron:

- Dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio).
- Cal agrícola apagada (hidróxido de calcio).
- Roca fosfórica (RF)

Se aplicó la fracción porcentual expresado en CaCO_3 a cada sustancia encalante utilizada:

- **Dolomita (carbonato de calcio y carbonato de magnesio: CaCO_3 y MgCO_3):**

$$= \frac{1610 \text{ gramos } \text{CaCO}_3 \times (0.93 \%) \text{ dolomita}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

$$= \frac{1497.3 \text{ gr dolomita}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

- **Cal agrícola apagada [hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$]:**

$$= \frac{1610 \text{ gramos } \text{CaCO}_3 \times (0.72 \%) \text{ cal apagada}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

$$= \frac{1159.2 \text{ gr. cal apagada}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

- **Roca fosfórica (RF):**

$$= \frac{1610 \text{ gramos } \text{CaCO}_3 \times (0.86 \%) \text{ roca fosfórica}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

$$= \frac{1384.6 \text{ gr roca fosfórica}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

Tabla 7.

Resumen de las sustancias encalantes a utilizar.

Sustancia encalante	Cantidad equivalente al CaCO_3 / m^2 de suelo
Dolomita	1497.3 gr.
Cal apagada	1159.2 gr.
Roca fosfórica	1384.6 gr.

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Para cada sustancia encalante, se tomaron 6 bloques de suelo para su aplicación. De forma que de acuerdo al diseño se formaron 6 bloques por cada fila.

A los bloques T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ y T₆ se les aplicó la sustancia encalante dolomita. (CaCO_3 y MgCO_3).

A los bloques T₇, T₈, T₉, T₁₀, T₁₁ y T₁₂ se les aplicó la sustancia encalante cal apagada [$\text{Ca}(\text{OH})_2$].

A los bloques T₁₃, T₁₄, T₁₅, T₁₆, T₁₇ y T₁₈ se les aplicó la sustancia encalante roca fosfórica.

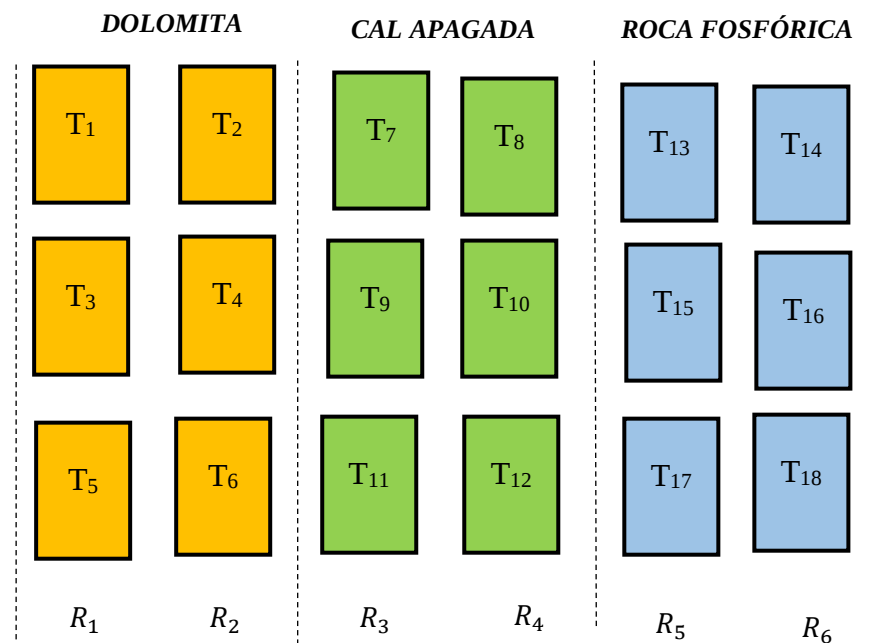


Fig. 15. Análisis de la conductividad eléctrica del suelo.

Descripción: El color por columnas indican la aplicación de dolomita, cal apagada y roca fosfórica respectivamente.

Cada sustancia encalante fue agregada tomando en cuenta al promedio sugerido que representó al 100 % y se agregó en cantidades inferiores a la propuesta de encalado (100 %, 80 %, 60 %, 40 %, 20 % y 10 %).

Tabla 8.

Cantidad de dolomita a utilizar por cada bloque.

N° de cada bloque	Cantidad de dolomita (gr) / m².	Porcentaje del total
Bloque 1	1497.3	100 %
Bloque 2	1197.8	80 %
Bloque 3	898.3	60 %
Bloque 4	598.9	40 %
Bloque 5	299.4	20 %
Bloque 6	149.7	10 %

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: Cada bloque de suelo recibió un porcentaje del total recomendado por (Shoemaker et al., 1961) para alcanzar de un pH 5.4 hasta un pH de 6.0. El bloque 1 recibió 1497.3 gr de dolomita; el bloque 2 recibió 1197.8 gr; el bloque 3 recibió 898.3 gr; el bloque 4 recibió 598.9 gr; el bloque 5 recibió 299.4 gr y el bloque 6 recibió 149.7 gr de dolomita.

Tabla 9.

Cantidad de cal apagada [Ca(OH)₂] a utilizar por cada bloque.

N° de cada bloque	Cantidad de cal apagada (gr) / m².	(%)
Bloque 7	1159.2	100 %
Bloque 8	927.3	80 %
Bloque 9	695.5	60 %
Bloque 10	463.6	40 %
Bloque 11	231.8	20 %
Bloque 12	115.9	10 %

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: Cada bloque de suelo recibió un porcentaje del total recomendado por (Shoemaker et al., 1961) para alcanzar de un pH 5.4 hasta un pH de 6.0. El bloque 7 recibió 1159.2gr de dolomita; el bloque 8 recibió 927.3 gr; el bloque 9 recibió 695.5 gr; el bloque 10 recibió 463.6 gr; el bloque 11 recibió 231.8 gr y el bloque 12 recibió 115.9 gr de dolomita.

Tabla 10.

Cantidad de roca fosfórica (RF) a utilizar por cada bloque

N° de cada bloque	Cantidad de roca fosfórica (gr) / m ² .	(%)
Bloque 13	1384.6	100 %
Bloque 14	1107.6	80 %
Bloque 15	830.7	60 %
Bloque 16	553.8	40 %
Bloque 17	276.9	20 %
Bloque 18	138.4	10 %

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: Cada bloque de suelo recibió un porcentaje del total recomendado por (Shoemaker et al., 1961) para alcanzar de un pH 5.4 hasta un pH de 6.0. El bloque 13 recibió 1384.6 gr de roca fosfórica; el bloque 14 recibió 1107.6 gr; el bloque 15 recibió 830.7 gr; el bloque 16 recibió 553.8 gr; el bloque 17 recibió 276.9 gr y el bloque 18 recibió 138.4 gr de roca fosfórica.

Para aplicar las dosis de encalado, se tomó como base los cálculos realizados.

1.- Se aplicó las sustancias encalantes de acuerdo al peso y poder alcalino que se determinó previamente.



Fig. 16. Adición del encalante en el suelo.

2.- Una vez que se agregó las sustancias encalantes se procedió al mecanizado del suelo para lograr uniformidad de mezcla entre el encalante y el suelo.



Fig. 17. Adición del encalante en el suelo.

3.- Una vez mezclado las sustancias encalantes, se procedió a regar el suelo con la ayuda de una mochila para garantizar la disolución de las sustancias encalantes.



Fig. 18. Riego de la parcela en investigación.

La única forma de garantizar efectos sobre el pH de parte de las sustancias encalantes es a través de un contenido de humedad en el suelo superior al 20 %. Debido a que todas las sustancias por su contenido de calcio garantizaron la presencia de los iones hidróxilo (OH^-), los cuales al unirse a los protones (H^+) responsables de la acidez, formaran moléculas de agua, generando neutralización de la acidez del suelo afectado.

Por ello, fue necesario mecaniza el suelo manualmente, y regar la parcela con una mochila.

IV. RESULTADOS

4.1 Humedad del suelo.

De cada muestra de suelo se obtuvo la cuarta parte y se mezcló en sus tres niveles de profundidad: 10, 20 y 30 cm.

Las muestras fueron sometidas a la estufa a una temperatura de 110 °C, durante 3 horas.

Resultados de humedad de T_3 y T_6 con dolomita

Muestra T_3 :

Peso de la porcelana	65.1232 gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	164gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	98.8768 gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	91.2343 gr.
Peso de agua evaporada	26.1111 gr.
% humedad	26 %

Muestra T_6 :

Peso de la porcelana	60.2030 gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	148.5594 gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	88.3564 gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	80.5432 gr.
Peso de agua evaporada	20.3402gr.
% humedad	23.02%

Resultados de humedad de T_9 y T_{12} con cal apagada

Muestra T_9 :

Peso de la porcelana	67.324 gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	163gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	95.676gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	85. gr.
Peso de agua evaporada	17.676gr.
% humedad	18.47%

Muestra T_{12} :

Peso de la porcelana	48.2298gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	160.2066 gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	111.9768gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	95gr.
Peso del agua evaporada	46.7702gr.
% humedad	41.76 %

Resultados de humedad de T_{15} y T_{18} con roca fosfórica

Muestra T_{15} :

Peso de la porcelana	70 gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	164.1237 gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	94.1237 gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	85gr.
Peso del agua evaporada	15gr.
% humedad	15.94%

Muestra T_{18} :

Peso de la porcelana	58.9544 gr.
Peso de la porcelana más muestra de suelo	165.8455 gr.
Peso de la muestra de suelo húmedo	106.8911 gr.
Peso de la porcelana con suelo evaporado	92.7344 gr.
Peso del agua evaporada	33.78 gr.
% humedad	31.60 %

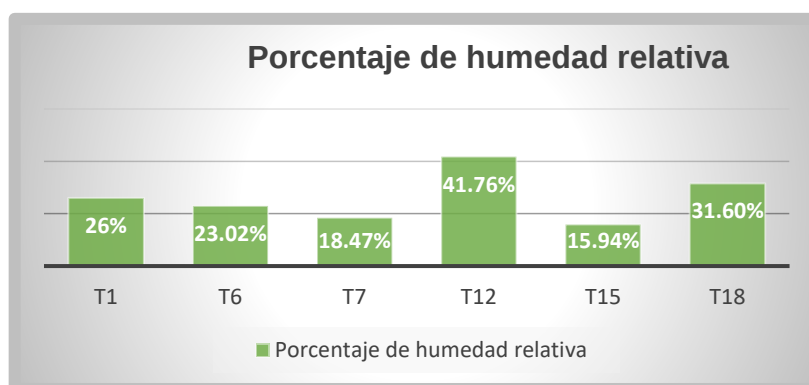
Tabla 11.

Humedad relativa del suelo estudiado

Bloques	% humedad en extracto de suelo
T_1	26 %
T_6	23.02%
T_7	18.47%
T_{12}	41.76 %
T_{15}	15.94%
T_{18}	31.60 %
Promedio humedad	26.20%

Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Gráfico 1: Porcentaje de humedad relativa



Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Análisis: El porcentaje alto de humedad se explica por qué el suelo en estudio estuvo dedicado al cultivo de arroz, y su principal característica fue la humedad presente en el suelo. La humedad se explica por qué al momento de tomar la muestra el terreno tuvo 30 días de haber sido alimentado con agua para la germinación de las plántulas de arroz. Se puede observar en las fotografías lo difícil que fue desplazarse por el terreno arrocero, dada la humedad del terreno.



Fig. 19. Humedad presente el suelo arrocero

4.2 Textura del suelo.

La textura del suelo fue determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos. Para ello, se aplicó la siguiente relación matemática basada en la diferencia de densidades que ofreció la arcilla, respecto a la arena y al limo; todos ingredientes del suelo que reunidos en una misma área generaron la textura del suelo estudiado.

$$\text{Concc.} = \frac{[A_{40\text{seg}} + \{ (20 - T^{\circ}_{A40\text{seg}}) \times 0,35 \}] - [B_{40\text{seg}} + \{ (20 - T^{\circ}_{B40\text{seg}}) \times 0,35 \}]}{m} \times 100 \times Fh_{\text{suelo}}$$

Arcilla + limo

Donde:

$A_{40\text{seg}}$ = Lectura del hidrómetro de la muestra a 40 segundos: 20 g/L.

$B_{40\text{seg}}$ = Lectura del hidrómetro del testigo a 40 segundos: 5 g/L.

$T^{\circ}_{A40\text{seg}}$ = Temperatura °C, de la muestra a 40 segundos: 23 °C

$T^{\circ}_{B40\text{seg}}$ = Temperatura °C, del blanco a 40 segundos: 23 °C

0.35 = Factor de corrección de la temperatura.

m = Masa de la muestra: 50 gramos

Fh_{suelo} = Factor de corrección por humedad: 1.5

Reemplazando datos:

$$\text{Concc.}_{\text{Arcilla + limo}} = \frac{[29 + \{ (20-23) \times 0.35 \}] - [5 + \{ (20-23) \times 0.35 \}]}{50} \times 100 \times 1.5$$

$$= 72.0 \% \text{ de arcilla y limo.}$$

Luego, para determinar la concentración porcentual de arcilla se aplicó la siguiente relación matemática:

$$\text{Concc.}_{\text{Arcilla}} = \frac{[A_{7\text{hr}} + \{ (20-T_{7\text{hr}}) \times 0.35 \}] - [B_{7\text{hr}} + \{ (20-T_{7\text{hr}}) \times 0.35 \}]}{m} \times 100 \times F_{h\text{suelo}}$$

Donde:

$A_{7\text{hr}}$ = Lectura del hidrómetro de la muestra a 7 horas: 18.0 g/L.

$B_{40\text{seg}}$ = Lectura del hidrómetro del testigo a 7 horas: 5 g/L.

$T_{7\text{hr}}$ = Temperatura °C, de la muestra a 7 horas: 23.5 °C

$T_{7\text{hr}}$ = Temperatura °C, del blanco a 7 horas: 23 °C

0.35 = factor de corrección de la temperatura.

m = masa de la muestra: 50 gramos

$F_{h\text{suelo}}$ = Factor de corrección por humedad: 1.5

$$\text{Concc.}_{\text{Arcilla}} = \frac{[18 + \{ (20-23) \times 0.35 \}] - [5 + \{ (20-23) \times 0.35 \}]}{50} \times 100 \times 1.5$$

$$= 39 \% \text{ de arcilla.}$$

$$\text{Arcilla y limo} = 72.0 \%$$

$$\text{Arcilla} = 39 \%$$

$$\text{Limo} = 72.0 \% - 39 \% = 33 \%$$

$$\text{Arena} = 100 \% - (56.1 \% + 15.9 \%)$$

$$\text{Arena} = 28 \%$$

Resumen de los componentes del suelo:

$$\text{Arcilla} = 39 \%$$

$$\text{Limo} = 33 \%$$

Arena = 28 %

Con estos valores se encontró la textura del suelo arrocero, haciendo coincidir las líneas según sus porcentajes.

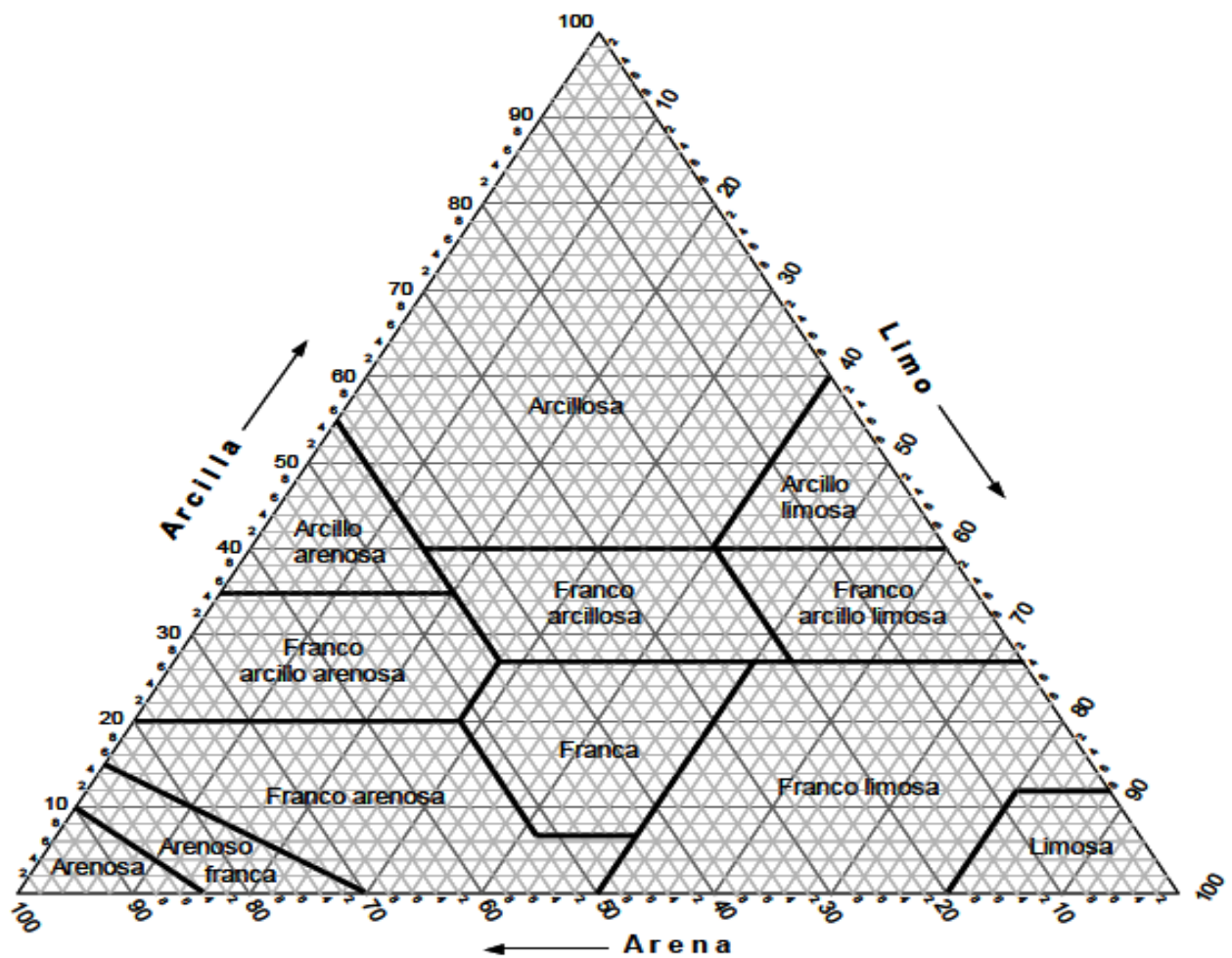


Fig. 20. Triángulo textural de suelos (Motsara & Roy, 2008).

Textura del suelo: Franco arcillosa

4.3 pH del suelo.

Tabla 12.

Medida del pH del suelo a evaluar su acidez

Muestra de suelo	pH a 10 cm Suelo / agua 1:2	pH a 20 cm Suelo / agua 1:2	pH a 30 cm Suelo / agua 1:2	pH promedio de cada muestra
Muestra T₁	5.42	5.41	5.43	5.42
Muestra T₂	5.42	5.4	5.41	5.41
Muestra T₃	5.41	5.42	5.4	5.41
Muestra T₄	5.45	5.48	5.46	5.46
Muestra T₅	5.29	5.41	5.34	5.35
Muestra T₆	5.61	5.33	5.34	5.43
Muestra T₇	5.32	5.3	5.33	5.32
Muestra T₈	5.42	5.41	5.4	5.41
Muestra T₉	5.50	5.51	5.53	5.51
Muestra T₁₀	5.35	5.36	5.38	5.36
Muestra T₁₁	5.23	5.47	5.34	5.35
Muestra T₁₂	5.41	5.33	5.34	5.36
Muestra T₁₃	5.42	5.41	5.4	5.41
Muestra T₁₄	5.43	5.41	5.42	5.42
Muestra T₁₅	5.4	5.41	5.5	5.44
Muestra T₁₆	5.44	5.41	5.45	5.43
Muestra T₁₇	5.34	5.47	5.34	5.38
Muestra T₁₈	5.41	5.33	5.34	5.36
Promedio del pH del suelo arrocero				5.40

Fuente: Realizado por la tesista.

Análisis: El pH del suelo, materia de estudio de la presente investigación tiene un carácter fuertemente ácido, de acuerdo a la tabla formulada en la bibliografía Motsara, M.R. & Roy, R.N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO. Fertilizer and plant nutrition bulletin. N° 19. pág. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy.

Tabla 13.

Niveles de acidez en el suelo

Rango de pH	Grado de acidez
< 4.6	Extremadamente ácido
4.6 – 5.5	<i>Fuertemente ácido</i>
5.6 – 6.5	Moderadamente ácido
6.6 – 6.9	Ligeramente ácido
7.0	Neutral
7.1 – 8.5	Moderadamente alcalino
> 8.5	Fuertemente alcalino

Fuente: Motsara & Roy. (2008).

4.4 Materia orgánica (MO) del suelo.

El contenido de la materia orgánica del suelo fue el resultado de promediar el análisis de 6 muestras de suelo, denominadas: T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

Determinación de la materia orgánica:

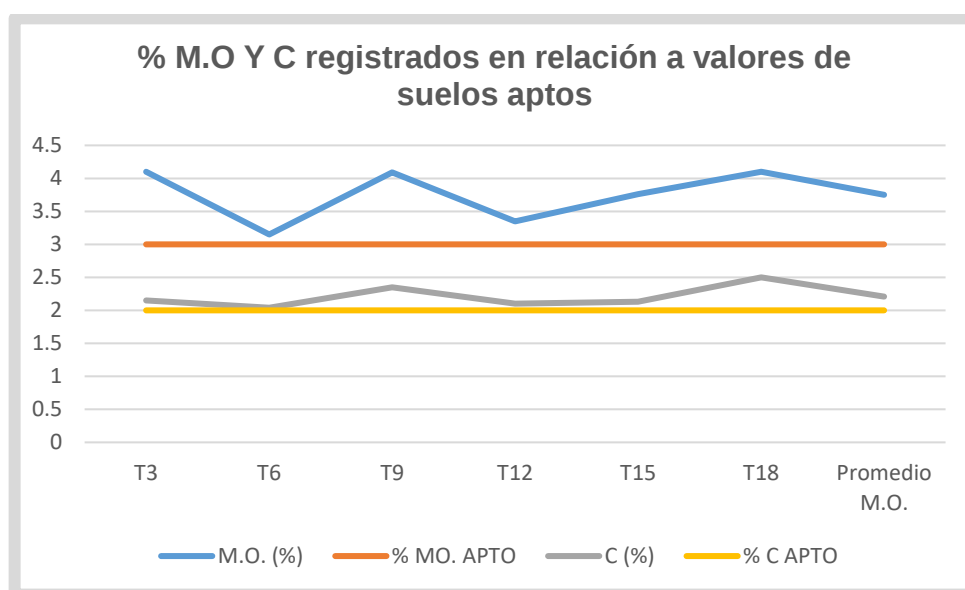
Tabla 14.

Materia orgánica (MO) del suelo, a 25 °C.

N° de muestra	M.O. (%)	C (%)
T ₃	4.10	2.15
T ₆	3.15	2.04
T ₉	4.09	2.35
T ₁₂	3.35	2.10
T ₁₅	3.76	2.13
T ₁₈	4.10	2.50
Promedio M.O.	3.75	2.21

Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Gráfica 2: % M.O Y C registrados en relación a valores de suelos aptos



Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Análisis: La materia orgánica de cada bloque, brindó un resultado con un contenido de materia orgánica de buena calidad. Se explica por la fuerte fertilización que requieren los terrenos arroceros. El porcentaje de carbono orgánico fue el típico 58 % del total de materia orgánica.

4.5 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del suelo fue el resultado de promediar el análisis de 6 muestras de suelo, denominadas: T₃, T₆, T₉, T₁₂, T₁₅ y T₁₈.

Determinación de la conductividad eléctrica:

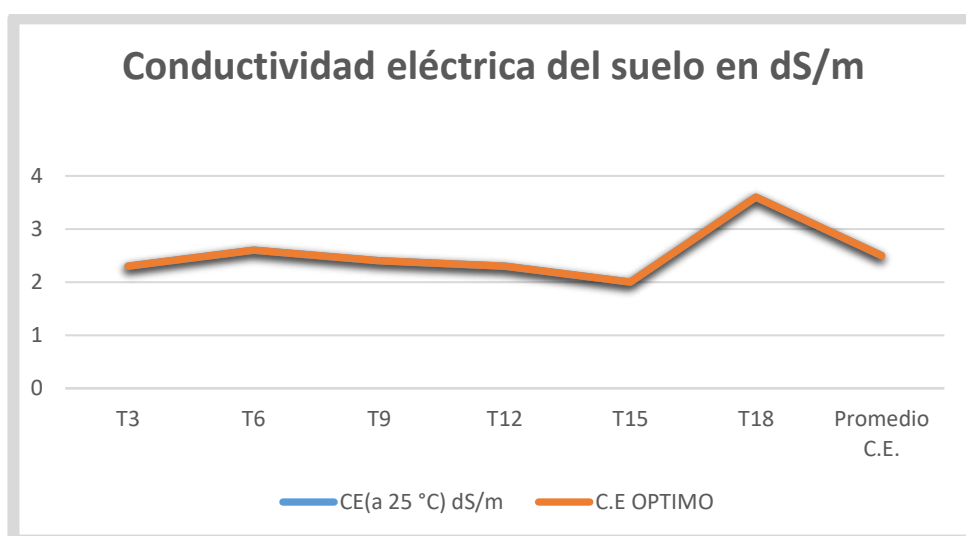
Tabla 15.

Conductividad eléctrica del suelo, a 25 °C.

Nº de muestra	CE _(a 25 °C) dS/m
T ₃	2.3
T ₆	2.6
T ₉	2.4
T ₁₂	2.3
T ₁₅	2.0
T ₁₈	3.6
Promedio C.E.	2.5

Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Gráfica 3: Conductividad Eléctrica del suelo en dS/M



Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Análisis: La conductividad del extracto de suelo de cada bloque, da un resultado compatible con la conductividad eléctrica típica de suelos arcillosos, que de acuerdo a la tabla 2 no representa una salinidad fuera de los límites.

4.6 Salinidad

El contenido salino es importante por ser una variable que grafica la facilidad o dificultad que tienen las plantas para la absorción de agua. Fenómeno asociado al potencial osmótico. Para el análisis se utilizó 20 ml de solución filtrada de suelo-agua (1:5).

Resultados de salinidad de T_3 y T_6 con dolomita

Muestra T_3 :

Peso de la porcelana	68.6961gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	89.4783 gr.
Peso del filtrado	20.7822 gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	68.6977 gr.
Contenido de sales del suelo	0.0016 gr.
% de sales	0.008 %

Muestra T_6 :

Peso de la porcelana	66.2756 gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	87.1182 gr.
Peso del filtrado	20.8426 gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	66.2794 gr.
Contenido de sales del suelo	0.0038 gr.
% de sales	0.0018 %

Resultados de salinidad de T_9 y T_{12} con cal apagada**Muestra T_9 :**

Peso de la porcelana	58 gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	65.1213 gr.
Peso del filtrado	7.1213 gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	65.012 gr.
Contenido de sales del suelo	0.0013 gr.
% de sales	0.013 %

Muestra T_{12} :

Peso de la porcelana	56.8421 gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	76.5322 gr.
Peso del filtrado	19.6901gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	56.84gr.
Contenido de sales del suelo	0.0025gr.
% de sales	0.012 %

Resultados de salinidad de T_{15} y T_{18} con cal apagada**Muestra T_{15} :**

Peso de la porcelana	64.8767 gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	85.8715 gr.
Peso del filtrado	20.9948 gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	64.9025 gr.
Contenido de sales del suelo	0.0258 gr.
% de sales	0.123 %

Muestra T_{18} :

Peso de la porcelana	66.3475 gr.
Peso de la porcelana más 20 ml filtrado	86.8164 gr.
Peso del filtrado	20.4689 gr.
Peso de la porcelana con el residuo de la evaporación	66.3859 gr.
Contenido de sales del suelo	0.0384 gr.
% de sales	0.188 %

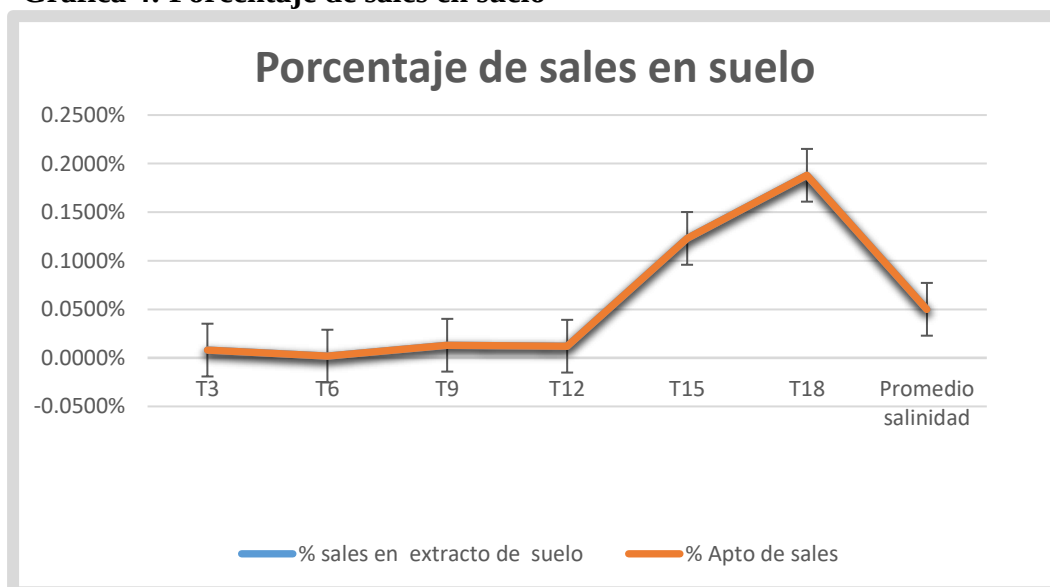
Tabla 16.

Salinidad del suelo estudiado

N° de muestra	% sales en extracto de suelo
T ₃	0.008%
T ₆	0.0018 %
T ₉	0.013 %
T ₁₂	0.012 %
T ₁₅	0.123 %
T ₁₈	0.188 %
Promedio salinidad	0.05 %

Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Gráfica 4: Porcentaje de sales en suelo



Fuente: Elaboración personal de la tesista.

Análisis: El porcentaje de sales disueltas del suelo estudiado a través de 6 bloques fue del 0.05 %, lo que comparado con la bibliografía de la tabla 2, se concluye que el contenido salino del suelo es insignificante, respecto a la siembra del arroz.

A continuación, se realizó una evaluación química de las sustancias encalantes, que son sales que aportan calcio para la generación de OH⁻

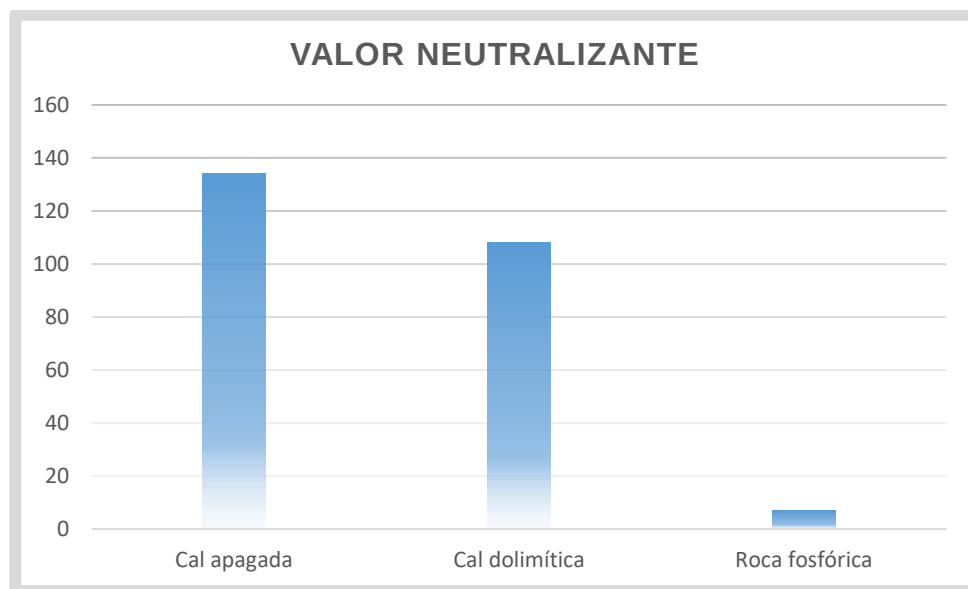
Tabla 17.

Sustancias para el encalado de suelos.

Material	Formula	Valor neutralizante (equiv. % CaCO_3)
Calcita	CaCO_3	100
Cal viva	CaO	178
Cal apagada	Ca(OH)_2	134
Carbonato de magnesio	MgCO_3	119
Cal dolomítica	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	108-95
Conchas marinas molidas	CaCO_3	88-80
Escorias de silicato de calico	CaSiO_3	80-71
Escorias básicas	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3$	70-67
Marga	CaCO_3	71-40
Roca fosfórica	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)\text{-F}_2$	7
Cenizas de madera	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{KCO}_3 \cdot \text{MgSO}_4$	40
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ninguno

Fuente: (Salazar et al., 2011).

Gráfica 5: Valor Neutralizante (equiv. % CaCO_3)



Fuente: (Salazar et al., 2011).

La concentración óptima de encalado se determinó a partir de una nueva lectura del pH en un nuevo muestreo del suelo de cada bloque estudiado.

Tabla 18.

Medida del pH del suelo a evaluar su acidez

	Muestra de suelo	Dosis aplicada gr / m ²	pH medido Suelo / agua 1:1	pH medido Suelo / agua 1:5	pH medido Suelo / Agua 1:10	pH promedio de cada muestra
DOLOMITA	Muestra T ₁	1497.3	6.62	6.69	6.52	6.61
	Muestra T ₂	1197.8	6.39	6.44	6.44	6.42
	Muestra T ₃	898.3	6.32	6.35	6.27	6.31
	Muestra T ₄	598.9	6.21	6.22	6.24	6.22
	Muestra T ₅	299.4	6.24	6.12	6.21	6.19
	Muestra T ₆	149.7	5.99	6.03	6.02	6.01
CAL APAGADA	Muestra T ₇	1159.2	6.73	6.47	6.68	6.63
	Muestra T ₈	927.3	6.61	6.54	6.68	6.61
	Muestra T ₉	695.5	6.43	6.42	6.44	6.43
	Muestra T ₁₀	463.6	6.29	6.34	6.32	6.32
	Muestra T ₁₁	231.8	6.26	6.23	6.22	6.24
	Muestra T ₁₂	115.9	5.82	6.12	6.11	6.02
ROCA FOSFÓRICA	Muestra T ₁₃	1384.6	6.32	6.31	6.27	6.30
	Muestra T ₁₄	1107.6	6.28	6.31	6.25	6.28
	Muestra T ₁₅	830.7	6.24	6.22	6.32	6.26
	Muestra T ₁₆	553.8	6.21	6.27	6.26	6.25
	Muestra T ₁₇	276.9	6.06	6.08	5.98	6.04
	Muestra T ₁₈	138.4	5.78	5.75	5.64	5.72

Fuente: Realizado por la tesista.

Análisis: La tabla muestra la dosis óptima de sustancias enalantes:

Dolomita = 149.7 gr /m² (ó 1.49 TM/Ha.).

Cal apagada = 115.9 gr /m² (ó 1.15 TM/Ha.).

Roca fosfórica = 276.9 gr /m² ó (2.76 TM/Ha.).

Por otra parte, es muy corriente expresar el encalado en función del CaCO_3 , por consiguiente, tomando como referencia la tabla N° 6, se realizó la respectiva conversión de cantidades y unidades por cada sustancia encalante:

1.- Dolomita:

$$\begin{array}{lcl} 100 \text{ TM } \text{CaCO}_3 & \text{-----} & 93 \text{ TM dolomita (de la tabla N° 6).} \\ X & \text{-----} & 1.49 \text{ TM dolomita} \end{array}$$

$$X = 1.6 \text{ TM } \text{CaCO}_3$$

Luego, la dosis óptima de dolomita fue:

$$\text{Dolomita} = 149.7 \text{ gr dolomita /m}^2 \text{ ó } 1.49 \text{ TM dolomita /Ha. ó } 1.6 \text{ TM } \text{CaCO}_3 \text{ /Ha.}$$

2.- Cal apagada

$$\text{Cal apagada} = 115.9 \text{ gr /m}^2 \text{ ó } 1.15 \text{ TM/Ha.}$$

$$\begin{array}{lcl} 100 \text{ TM } \text{CaCO}_3 & \text{-----} & 72 \text{ TM cal apagada (de la tabla N° 6).} \\ X & \text{-----} & 1.59 \text{ TM cal apagada} \end{array}$$

$$X = 1.59 \text{ TM } \text{CaCO}_3$$

Luego, la dosis óptima de cal apagada fue:

$$\text{Cal apagada} = 115.9 \text{ gr cal apagada /m}^2 \text{ ó } 1.59 \text{ TM cal apagada /Ha. ó } 1.23 \text{ TM } \text{CaCO}_3$$

3.- Roca fosfórica:

$$\begin{array}{lcl} 100 \text{ TM } \text{CaCO}_3 & \text{-----} & 86 \text{ TM roca fosfórica (de la tabla N° 6).} \\ X & \text{-----} & 2.76 \text{ TM roca fosfórica} \end{array}$$

$$X = 3.20 \text{ TM } \text{CaCO}_3$$

Luego, la dosis óptima de roca fosfórica fue:

$$\text{Roca fosfórica} = 276.9 \text{ gr RF /m}^2 \text{ ó } 2.76 \text{ TM RF /Ha. ó } 3.2 \text{ TM } \text{CaCO}_3 \text{ /Ha.}$$

Georreferencia del área de trabajo:

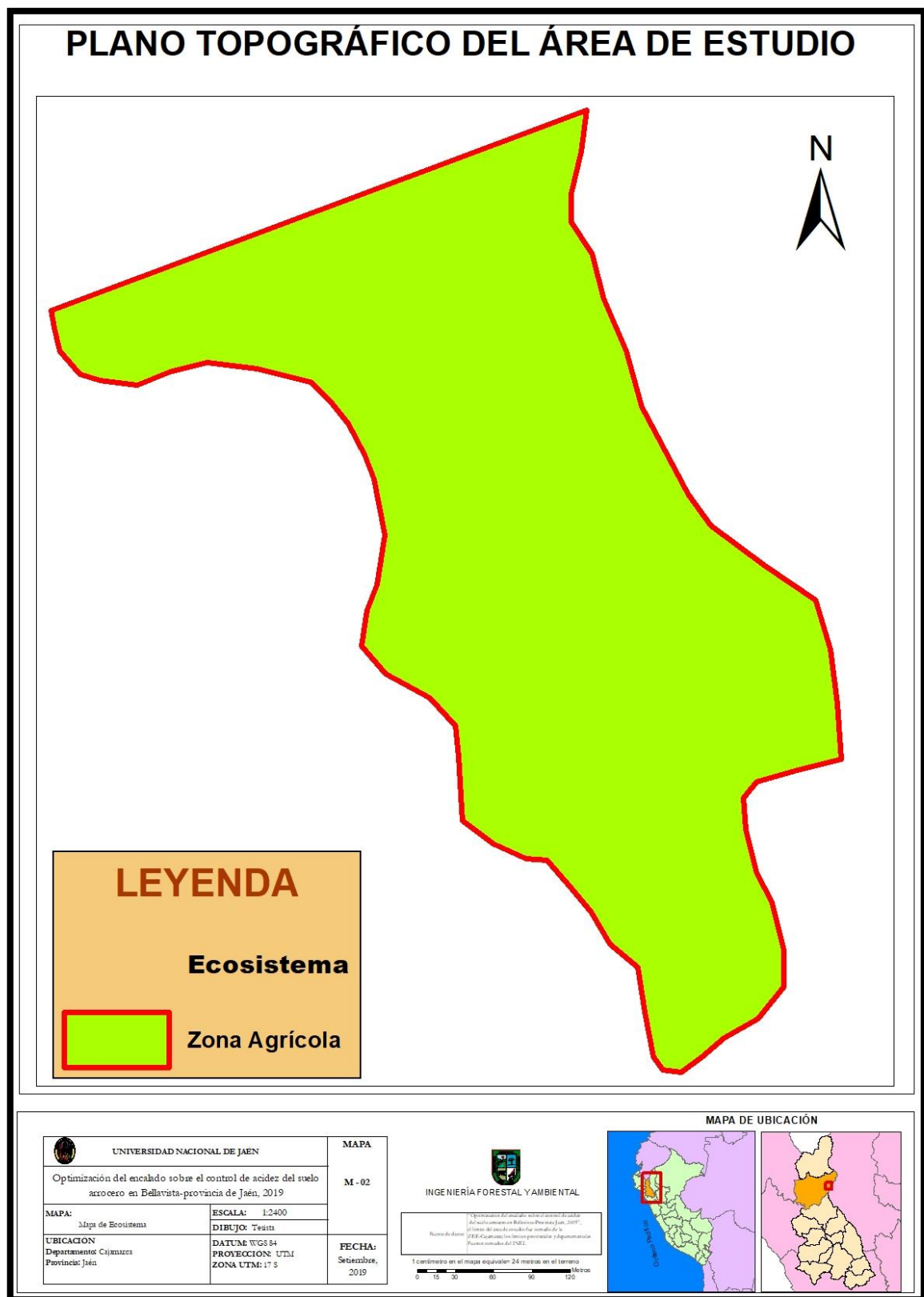


Fig. 21. Mapa del ecosistema de la parcela de arroz en la investigación

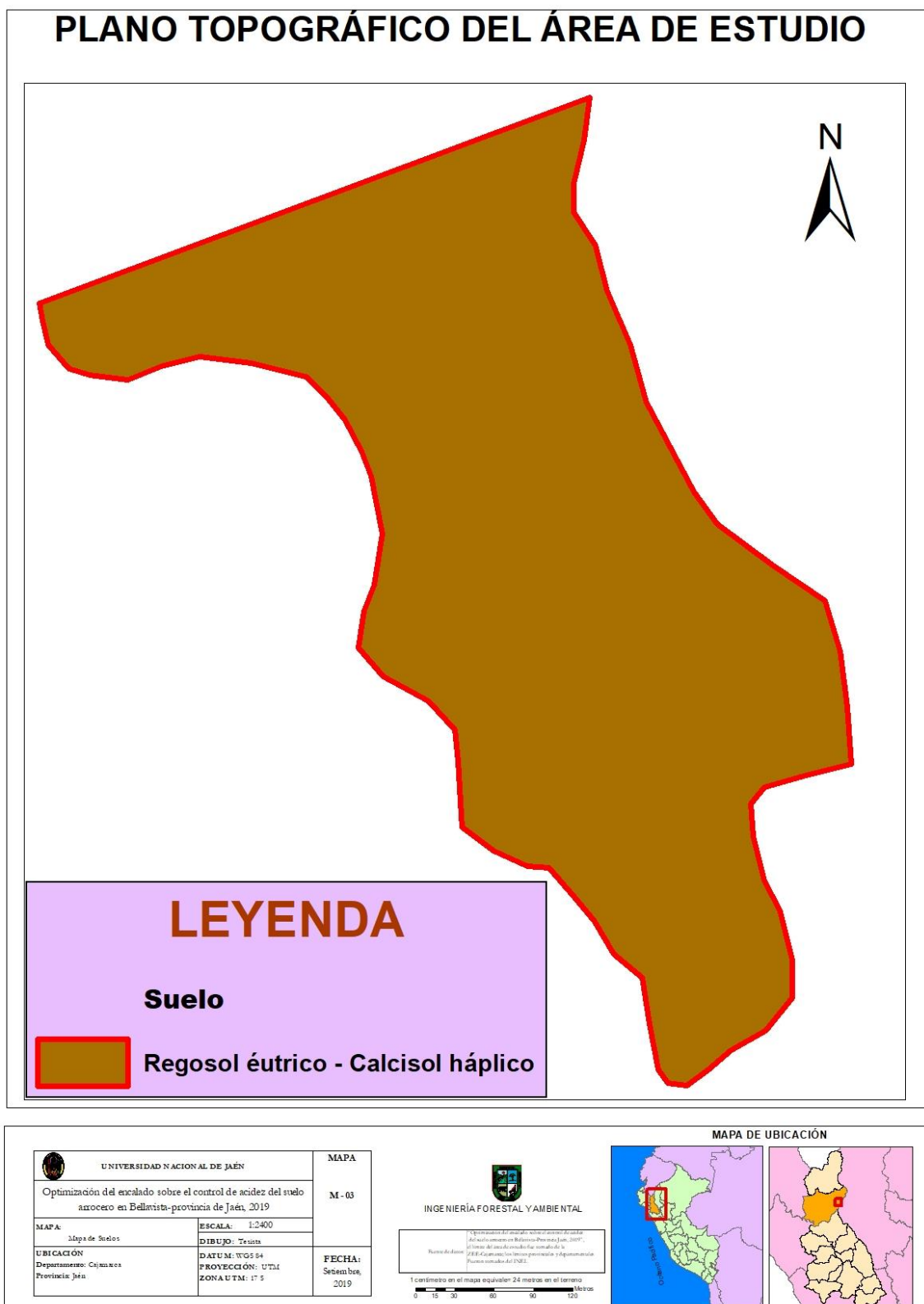


Fig. 22. Mapa de suelos de la parcela de arroz en la investigación

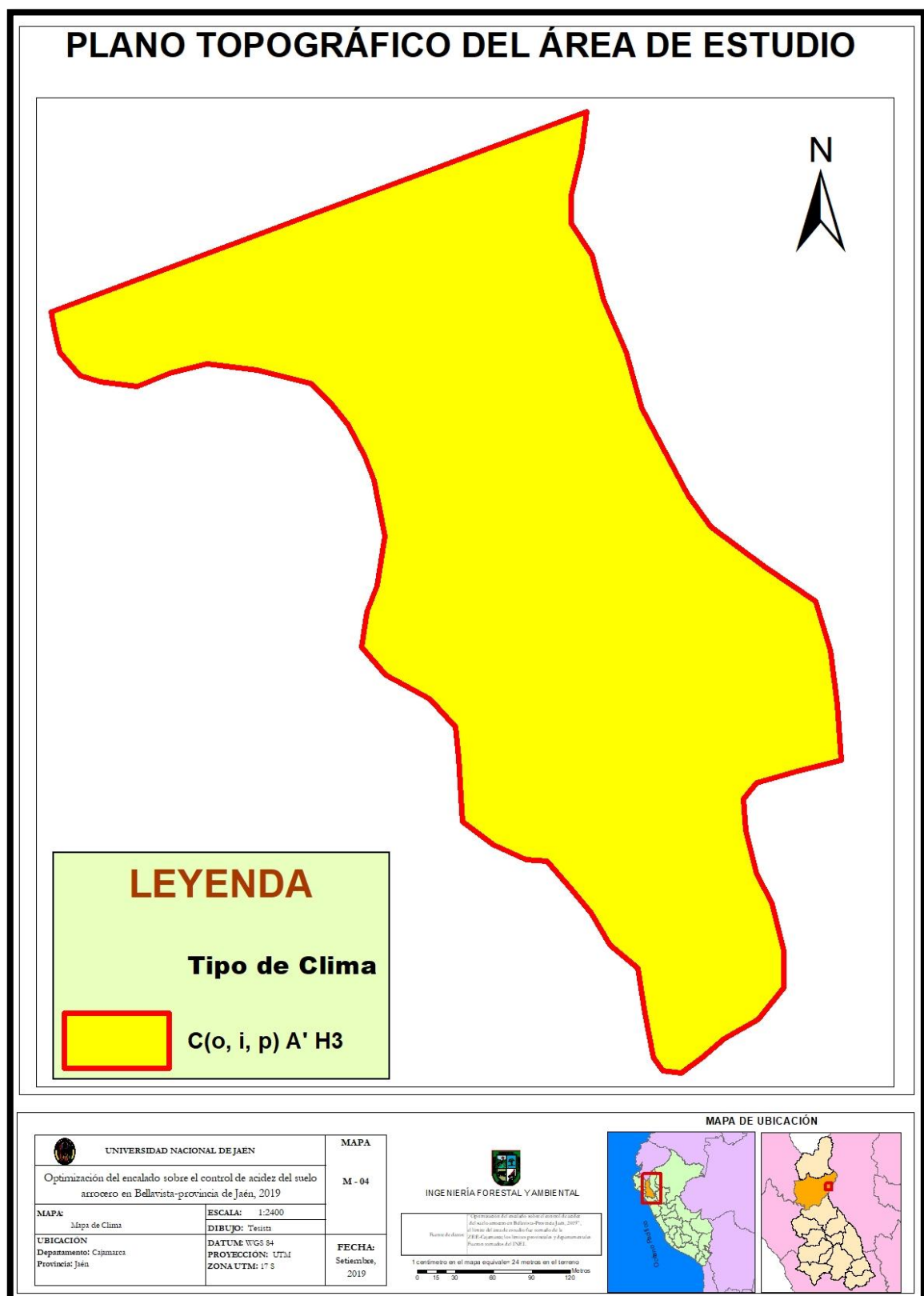


Fig. 23. Mapa de suelos de la parcela de arroz en la investigación

Análisis estadístico

FREQUENCIES VARIABLES=VAR00001 VAR00002 VAR00003
/ORDER=ANALYSIS.

T-TEST

/TESTVAL=0
/MISSING=ANALYSIS
/VARIABLES=pH
/CRITERIA=CI (.95).

Estadísticos para una muestra

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
pH	18	6,2700	,23134	,05453

Prueba para una muestra

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
pH	114,989	17	,000	6,27000	6,1550	6,3850

Medias

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Incluidos		Excluidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
pH * VAR00001	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
pH * VAR00002	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%
pH * VAR00003	18	100,0%	0	0,0%	18	100,0%

pH * VAR00001

pH

VAR00001	Media	N	Desv. típ.
5,78	5,7200	1	.
5,82	6,0200	1	.
5,99	6,0100	1	.
6,06	6,0400	1	.
6,21	6,2350	2	,02121
6,24	6,2250	2	,04950
6,26	6,2400	1	.
6,28	6,2800	1	.
6,29	6,3200	1	.
6,32	6,3050	2	,00707
6,39	6,4200	1	.
6,43	6,4300	1	.
6,61	6,6100	1	.
6,62	6,6100	1	.
6,73	6,6300	1	.
Total	6,2700	18	,23134

pH * VAR00002

pH

VAR00002	Media	N	Desv. típ.
5,75	5,7200	1	.
6,03	6,0100	1	.
6,08	6,0400	1	.
6,12	6,1050	2	,12021
6,22	6,2400	2	,02828
6,23	6,2400	1	.
6,27	6,2500	1	.
6,31	6,2900	2	,01414
6,34	6,3200	1	.
6,35	6,3100	1	.
6,42	6,4300	1	.
6,44	6,4200	1	.
6,47	6,6300	1	.
6,54	6,6100	1	.
6,69	6,6100	1	.
Total	6,2700	18	,23134

pH * VAR00003

pH

VAR00003	Media	N	Desv. típ.
5,64	5,7200	1	.
5,98	6,0400	1	.
6,02	6,0100	1	.
6,11	6,0200	1	.
6,21	6,1900	1	.
6,22	6,2400	1	.
6,24	6,2200	1	.
6,25	6,2800	1	.
6,26	6,2500	1	.
6,27	6,3050	2	,00707
6,32	6,2900	2	,04243
6,44	6,4250	2	,00707
6,52	6,6100	1	.
6,68	6,6200	2	,01414
Total	6,2700	18	,23134

Media cuadrática esperada^{a,b}

Origen	Componente de la varianza			
	Var(VAR00002)	Var(VAR00001 * VAR00002)	Var(Error)	Término cuadrático
Intersección	1,004	1,000	1,000	Intersección, VAR00001
VAR00003	,000	,000	,000	VAR00001
VAR00001	,000	1,000	1,000	
VAR00002	1,088	1,000	1,000	
VAR00001 *	,000	,000	,000	
VAR00002	,000	,000	,000	
Error	,000	,000	1,000	

a. Para cada fuente, la media cuadrática esperada es igual a la suma de los coeficientes de las casillas por las componentes de la varianza, más un término cuadrático que incluye los efectos de la casilla Término cuadrático.

b. Las medias cuadráticas esperadas se basan en la suma de cuadrados tipo III.

V. DISCUSIÓN

La característica de la acidez de un suelo es el riesgo de afectar la salud de los cultivos como el arroz. La acidez de un terreno arrocero fue el resultado de la fertilización reiterada y cíclica en cada campaña, a través de fertilizantes nitrogenados como la urea o el sulfato de amonio. El suelo estudiado tuvo un pH de 5.4, que está considerado como fuertemente ácido Motsara, M.R. & Roy, R.N. (2008).

El encalado fue realizado empleando tres sustancias encalantes: Dolomita, cal apagada y roca fosfórica. La acidez del suelo arrocero se expresa por el bajo rendimiento de arroz en las cosechas, probablemente porque a un pH ácido se moviliza el Al^{3+} , produciendo problemas de alimentación de las plantaciones. En este sentido, (Millán et al., 2010), concluyó que la acidez edáfica causa problemas productivos derivados de disturbios microbiológicos, aspectos nutricionales y hasta fitotoxicidad de Al^{3+} . Analizó el pH actual/potencial, el complejo de cambio y Al^{3+} intercambiable en 10 suelos Argiudoles y Hapludoles seleccionados por su acidez. Además, evaluó la capacidad de intercambio catiónico a cada nivel de pH del suelo. Las dosis de encalado más eficientes para reducir el contenido de Al^{3+} intercambiable fueron las de 1.5 y 2.0 TM CaCO_3 /ha. En la presente investigación, cuando se utilizó dolomita la dosis óptima equivalente fue 1.6 TM CaCO_3 /Ha, cuando se utilizó cal apagada fue la dosis equivalente fue 1.59 TM CaCO_3 y al utilizar a la roca fosfórica su equivalente en carbonato de calcio fue 3.2 TM CaCO_3 /Ha.

La mayor cantidad de roca fosfórica se explica por la baja concentración de calcio en la R.F. y la menor dosis de cal apagada se explica por el alto poder cáustico que contiene el hidróxido de calcio.

(Salazar et al., 2011), al investigar el impacto de adicionar cal a plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en Andisoles de la cuenca alta del río Virilla, Costa Rica. Realizó los tratamientos 0 (testigo), 0.75, 1.5 y 2.25 TM CaCO_3 . MgCO_3 (dolomita) /ha; 1.5 TM CaCO_3 /ha y 1.5 kg CaSO_4 /ha. Concluyeron que la adición de fuentes y niveles de cal no afectó significativamente las variables diámetro, altura y volumen. Es decir, que la dosis óptima de dolomita empleada en esta investigación coincide con Salazar et al., (2011). En cambio, los resultados obtenidos por Huerta (2011), variaron por un pequeño margen de 6 décimas al utilizar la dolomita. Esto es, que concluyó que la dosis recomendada de dolomita fue 1 TM dolomita/Ha y que su equivalente fue

1.5 TM CaCO_3 /Ha. además, afirma que es posible mediante el encalado elevar el nivel de pH en 1.4 unidades.

(Fernández et al., 1994), investigó el encalado de suelos ácidos. recomendó dosis de 2.5 TM CaCO_3 /Ha en suelos de pH 4.5 y 5.5 para reducir el porcentaje de saturación en AI a valores próximos al 20%, incrementando el pH del suelo en valores del orden de 5.5 a 5.6. Recomendó dosis entre 2-3 TM CaCO_3 /ha para praderas, 2 TM CaCO_3 /ha para maíz y 1 TM CaCO_3 /ha para papas y viñedos. Es decir, sus recomendaciones van desde 1 a 3 TM CaCO_3 /ha, lo coincide con nuestros resultados (1.59 - 3.2 TM CaCO_3 /ha).

Similarmente, (Castro y Munevar, 2013), evaluaron la técnica del encalado, es decir el mejoramiento de la fertilidad química de suelos ácidos del Altiplano Boyacense (Colombia), los resultados mostraron que el encalado está relacionado directamente con los procesos químicos, que caracterizan la acidez de cada suelo. El mejor efecto correctivo de la acidez, se presentó a 3 TM/ha de CaCO_3 , para el suelo de características óxicas. Además, exploraron dosis suministradas por la combinación de materiales encalantes. Esta propuesta también enmarca nuestros resultados de encalado. Finalmente, (Villa y Vidal, 2010), realizaron ensayos de campo encaminados a la corrección de la acidez de un *Typic Palexerult*, El cultivo ensayado fue una variedad local de centeno, empleándose como materiales calizos en la enmienda del suelo el yeso, dolomita, caliza y espumas de azucarería, con dosis de 6 TM CaCO_3 /ha. La explicación de la alta dosis del equivalente de carbonato de calcio se debe a que como enmienda encalante una mezcla de sustancias lo cual merma su eficiencia alcalina.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El suelo: Humedad promedio del suelo: 26.20%, la textura fue franco arcilloso (arcilla: 39 %, limo: 33 % y arena: 28 %), el pH 5.4, la salinidad: 0.05 %.
- El contenido de materia orgánica fue: 3.75 % y la conductividad eléctrica del suelo tuvo un promedio de 2.5 dS/m, medidos a 25 °C.
- La evaluación química de la dolomita fue que su fórmula es ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), contiene 21.6 % de Ca y 13.1 % de Mg.; por lo general contiene > 7 % de Mg, >12 % MgO y > 25 % MgCO_3 . Por otra parte, la evaluación química de la cal apagada fue que su fórmula fue: Ca(OH)_2 , en forma pura presenta 56 % de Ca; es el resultado de la calcinación del óxido de calcio, en su etapa de hidratación. Y la roca fosfórica, es una mezcla de sustancias, bajo la siguiente concentración: Fósforo (P_2O_5): 18 - 20 %; calcio: 26 – 30 %; magnesio (Mg): 0.6 % y azufre (S): 5.5 %.
- La dosis óptima de encalado para un suelo arrocero cuando se utilizó dolomita fue de 149.7 gr $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 / \text{m}^2$ [ó 1.49 TM $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 / \text{Ha}$. ó 1.6 TM $\text{CaCO}_3 / \text{Ha}$.]; cuando el encalado fue utilizando cal apagada la dosis óptima fue 115.9 gr $\text{Ca(OH)}_2 / \text{m}^2$ [ó 1.15 TM $\text{Ca(OH)}_2 / \text{Ha}$. ó 1.59 TM CaCO_3]; finalmente, cuando el encalado se realizó utilizando roca fosfórica (RF), la dosis óptima de encalado de suelos arroceros fue utilizando 276.9 gr / m^2 ó 2.76 TM/Ha. ó 3.2 TM $\text{CaCO}_3 / \text{Ha}$.
- El pH del suelo arrocero estudiado tuvo un valor promedio de pH = 5.4; considerado fuertemente ácido por Motsara & Roy. (2008). El pH fue resultado del promedio de medir el pH en 54 muestras de suelo, de las cuales 18 muestras fueron tomadas a 10 cm de la superficie; de otra parte 18 muestras fueron tomadas a 20 cm del suelo y las otras 18 muestras fueron tomadas a 30 cm. de suelo. Es decir, el pH del suelo fue el resultado de promediar el pH a tres profundidades diferentes.
- Se recomienda a la Universidad Nacional de Jaén, promover con más ahínco investigaciones en actividades productivas, por ser el motor generador de la economía de la provincia.
- Se recomienda a los agricultores encalar sus suelos agrícolas ya que no causará mayores gastos económicos, estas cales son muy accesible y cómodos en la provincia de Jaén, obteniendo como resultado un mejor producto en su cosecha en poco tiempo y obteniendo una estabilidad económica estable y no teniendo una perdida como hoy en día lo tienen algunos de los agricultores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro H., y Munevar O. (2013). *Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. Vol. 16. N° 2 Bogotá Julio - Diciembre. 2013.
- Cristóbal A. D., Álvarez M., Hernández E. y Améndola R. (2011). Concentración de N en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana* 29(3).
- Fernández M., M. L., Fuentes C., R., López M., M.E. (1994). Los suelos de Galicia. Problemas de fertilidad y corrección. *Revista Agricultura*, pág. 388. Feria Internacional Semana verde de Galicia. España.
- Garbeva, P., Veen, J. A. y Van E. Jan. (2004). Microbial diversity in soil: Selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Journal Annual Review of Phytopathology*. 42(1):243-70 · February 2004.
- Huerta P., J. (2011). Mejoradores potenciales de pH para suelos ácidos y alcalinos. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo especialista en suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de suelos. México.
- ISO 11464. (1994). Soil quality. Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland. 9 p.
- INEI (2019). Anuario de Estadísticas Ambientales 2013.
- Millán Guillermo; Vázquez Mabel; Terminiello Antonino y Sbuscio Diego. (2010). *Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la Región Pampeana*. Revista Ciencia del suelo. Vol. 28 N° 2. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Agosto - Diciembre. 2010.
- Molina, E. (1998). Encalado para la corrección de la acidez del suelo. San José, Costa Rica, ACCS.
- Motsara, M.R. & Roy, R.N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. FAO. Fertilizer and plant nutrition bulletin. N° 19. pág. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy.
- Salazar Marlon; Cabalceta Gilberto; Alvarado Alfredo; Segura Manuel y Castillo Álvaro. (2011). *Efecto de la adición de cal a plantaciones de jaúl (Alnus Acuminata) en andisoles de la cuenca alta del Río Virilla, Costa Rica*. Revista Agronomía Costarricense Vol. 35. N° 1. San Pedro de Montes de Oca Junio. 2011.
- Servicio Nacional Forestal de Fauna Silvestre (SERFOR). 2014.
<https://andina.pe/agencia/noticia-incendios-forestales-arrasaron-942399-hectareas-cobertura-vegetal-736629.aspx>.
- Shoemaker, H.E., McLean, E.O. & Pratt, P.F. (1961). Buffer methods for determining lime requirement of soils with appreciable amounts of extractable aluminium. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 25: 274–277.

Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook. No. 60. USDA.

Tisdale, S. L., L. W. Nelson & J. H. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5a. Edición. Macmillan. New York. USA.

Villa, E., y Vidal, M. (2010). *Modelo de producción de biomasa en suelos ácidos de raña corregidos con productos calizos*. Revista de Ciencias Agrarias. Vol. 33. N° 1. enero 2010. Lisboa.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis Padres:

Cleofe Mezones Ticliahuanca y Doralinda Pacheco Santos, por su apoyo incondicional; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este; me formaron con reglas, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Y a mi Hermana Corina Trinidad Huamán Pacheco, por ser parte de mi fortaleza, mi mejor amiga y por sus enseñanzas para ser una mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Jaén, por el apoyado en la ejecución de mi tesis tanto en materiales como en instrumentos de laboratorio, culminando este proyecto positivamente; También por los conocimientos adquiridos para la vida profesional, además de darme la oportunidad de desarrollar lazos de amistad entre maestros y compañeros de clases.

Un especial agradecimiento a mi familia por siempre haberme apoyado en mis estudios y en mis metas, especialmente a mi madre por enseñarme que la honestidad y la disciplina son los valores más importantes en la vida.

Además, agradecer a mi asesor de Tesis el Ingeniero Juan Manuel Garay Román, por guiarme, por su paciencia, por sus enseñanzas; Y a los maestros encargados de la revisión de mi Tesis.

Finalmente, agradezco a mis amigas: Jessenia Gonzales Quiroz y Katiri Estela Carranza por su amistad que aporta bienestar a mi vida.