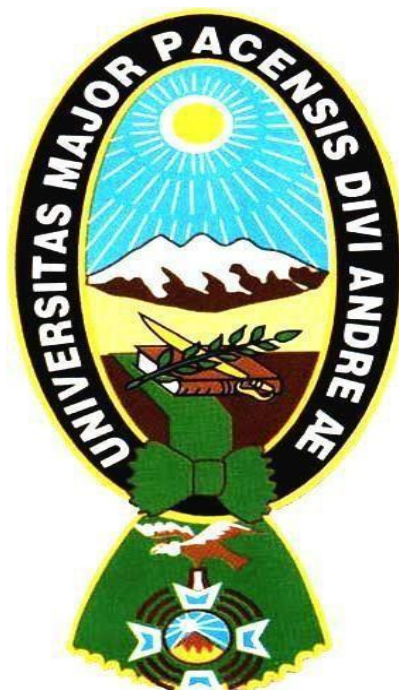


UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE TECNICAS DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE) Y LA RELACION DEL SUELO (pH) EN
PASTA SATURADA MEDIANTE ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA**

PRESENTADO POR:

ELVA BRIGIDA MARCA MAMANI

LA PAZ- BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE) Y LA RELACION DEL SUELO (pH) EN
PASTA SATURADA MEDIANTE ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA

*Tesis de Grado
Presentado como requisito
para optar el Título de Ingeniero Agrónomo*

Elva Brigida Marca Mamani

Asesores:

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. Elizabeth Yujra Ticona

Tribunal Examinador:

Ing. Ph. D. Vladimir Orsag Cespedes

Ing. Ph. D. Rene Nene Chipana Rivera

Ing. Williams Alex Murillo Oporto

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador:

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi querido padre Simón Marca Acho por su apoyo, amor y su esfuerzo para que salga adelante y a mi querida madre Juana Filomena Mamani Linarez (que hoy ya no se encuentra conmigo, pero con su vida me enseñó a no rendirme nunca y a luchar siempre por lo que quiero) esto es por ustedes.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza y ánimos para recorrer este camino, y haber podido concluir este trabajo de investigación

Agradezco a mi familia, a mis padres Simón Marca Acho y Juana Filomena Mamani Linarez y a mis hermanos Edith Deyne Marca Mamani y Rodrigo Marca Mamani por su apoyo y su ayuda a pesar de las pruebas que hemos pasado y habernos mantenido unidos.

Agradecer al laboratorio LAFASA por abrirme sus puertas y ayudarme a crecer, por la confianza depositada en mi persona, agradezco a mis Asesores Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas y la Ing. Elizabeth Yujra Ticona por el conocimiento y el apoyo brindado, y a todo el equipo de LAFASA por acompañarme, aconsejarme y darme un lugar dentro del grupo.

Agradecer a mis amigos: Elizabeth, Melisa, Mercedes, Limberth, William Torrez Yhovany qué me acompañaron en todo el transcurso de la carrera por su ayuda, apoyo por tantas alegrías que me dieron y no dejarme rendir frente a las adversidades.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.2 Objetivo general.....	4
1.1.3 Objetivos específicos.....	4
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
2.1 SUELO.....	5
2.1.1 La materia orgánica (M.O.) en el suelo.....	7
2.1.2 La materia orgánica (M.O.) del suelo y su relación con las propiedades físicas.....	8
2.2 ACIDEZ DEL SUELO.....	9
2.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SAL.....	10
2.3.1 Suelo salino.....	11
2.3.2 Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos.....	12
2.3.3 Parámetros principales para la evaluación de la salinidad.....	12
2.4 SODICIDAD.....	13
2.4.1 Medida y clasificación de la salinidad.....	13
2.5 MEDICIÓN DEL PH DEL SUELO EN SUSPENSIÓN SUELO-AGUA.....	13
2.6 MÉTODO DE PASTA DE SATURACIÓN.....	15
2.7 DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE EDAFOTRANSFERENCIA.....	18
2.7.1 Ecuaciones de predicción de Saxton y Rawls.....	19
3. LOCALIZACIÓN	21
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO.....	21
4. MATERIALES	22
4.1 MATERIAL EXPERIMENTAL.....	22
5. METODOLOGÍA	24
5.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	24
5.1.1 fase de campo (Muestreo del suelo.....	24
5.2 FASE DE LABORATORIO.....	24

5.2.1 Preparación de la muestra de suelo en laboratorio	24
5.2.2 Calibración de los equipos	25
5.2.2.1 Potenciómetro	25
5.2.2.2 Conductivímetro	26
5.2.3 análisis de parámetros físicos y químico	26
5.2.3.1 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:1	27
5.2.3.2 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:2,5.....	27
5.2.3.3 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:5	28
5.2.4 Selección de las 100 muestras de suelo tomadas de laboratorio	29
5.2.4.1 Condiciones de trabajo.....	29
5.2.4.2 Determinación de textura de suelo método Bouyucos.....	29
5.2.4.3 Determinación de materia orgánica método de Walkey Black	29
5.2.4.4 Determinación de pasta saturada para pH y extracto de saturación para Conductividad Eléctrica	30
a. Procedimiento de pH en pasta saturada	30
5.2.5 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia	32
5.2.5.1 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia.....	34
5.2.5.2 Análisis de varianza (ANOVA) y Tukey	36
5.2.5.3 Determinación de las mejores ecuaciones de edafotransferencia	36
6. RESULTADOS Y DISCUSION	37
6.1 VARIACIONES DE PH BAJO DIFERENTES RELACIONES SUELO: AGUA (1:1; 1:2,5; 1:5), EN DIFERENTES TIEMPOS DE AGITACIÓN Y REPOSO.....	37
6.2 VARIACIONES DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) BAJO DIFERENTES RELACIONES SUELO: AGUA (1:2,5; 1:5), EN DIFERENTES TIEMPOS DE AGITACIÓN Y TIEMPO DE REPOSO.....	42
6.3. DETERMINACIÓN DE PH EN PASTA SATURADA Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EXTRACTO DE SATURACIÓN	46

6.3.1 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia en pasta saturada	46
6.3.2 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP	48
6.3.3 Determinación de las variables independientes para pHp	52
6.3.4 Ecuaciones finales para la determinación de pH en pasta de saturación	55
6.4 DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA A PARTIR DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EXTRACTO DE SATURACIÓN (CEE)	56
6.4.1 Determinación de las mejores ecuaciones de edafotransferencia para CEe	58
6.4.2 Determinación de las variables independientes para CEe	62
6.4.2. Ecuaciones finales para la determinación de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación	65
7. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	67
7.1 CONCLUSIÓN	67
7.2 RECOMENDACIÓN	69
8. BIBLIOGRAFIA	70
9. ANEXOS	77

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS SEGÚN USDA	6
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS RANGOS DE PH DEL SUELO	10
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SAL	11
TABLA 4. MATERIALES DE LABORATORIO.....	22
TABLA 5. MATERIAL DE GABINETE	22
TABLA 6. CLASES TEXTURALES DEL SUELO	33
TABLA 7. DATOS DE PH EN DIFERENTES RELACIONES SUELO/AGUA	37
TABLA 8. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN DIFERENTES RELACIONES, TIEMPO DE REPOSO Y AGITACIÓN.....	42
TABLA 9. ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP SEGÚN LA CLASE TEXTURA 47	
TABLA 10. R ² Y RMSE DE LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP	49
TABLA 11. ANOVA DE LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP	51
TABLA 12. TUKEY DE R ² Y RMSE PARA LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP.....	52
TABLA 13. ANOVA DE R ² Y RMSE DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA PHP	52
TABLA 14. ANÁLISIS DE TUKEY DE R ² Y RMSE DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA PHP.....	53
TABLA 15. ECUACIONES FINALES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA PHP	55
TABLA 16. ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA CEE SEGÚN LA CLASE TEXTURAL	56
TABLA 17. R ² Y RMSE DE ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA CEE	58
TABLA 18- ANOVA DE R ² Y RMSE DE LAS ECUACIONES PARA CEE.....	61
TABLA 19. TUKEY DE R ² Y RMSE PARA LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA CEE	61
TABLA 20. ANOVA DE R ² Y RMSE DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA CEE	62
TABLA 21. ANÁLISIS DE TUKEY DE R ² Y RMSE DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA CEE.....	63
TABLA 22. ECUACIONES FINALES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA CEE	65
TABLA 23. ECUACIÓN A PARTIR DE LA RELACIÓN SUELO/AGUA CE1:5	66

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CLASE TEXTURAL DEL SUELO.....	6
FIGURA 2. EXTRACTO DE PASTA SATURADA DEL SUELO	17
FIGURA 3. LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA (LAFASA) FACULTAD DE AGRONOMÍA	21
FIGURA 4. FLUJO METODOLÓGICO	23
FIGURA 5. MATERIAL DE LABORATORIO PH-METRO	26
FIGURA 6. PASTA SATURADA PARA LA DETERMINACIÓN DE PH.....	31
FIGURA 7. EMBUDO BUCHNER	32
FIGURA 8.COMPARACIÓN DEL PH ENTRE LAS DIFERENTES RELACIONES SUELO/AGUA(1:1; 1:2,5; 1:5).....	38
FIGURA 9. RELACIÓN DEL PH1:1 EN TIEMPO DE REPOSO VS TIEMPO DE AGITACIÓN	39
FIGURA 10. RELACIÓN DEL PH1:2,5 TIEMPO DE REPOSO VS TIEMPO DE AGITACIÓN	40
FIGURA 11. RELACIÓN DEL PH1:5 TIEMPO DE REPOSO VS TIEMPO DE AGITACIÓN	41
FIGURA 12.COMPARACIÓN DE LA CE EN DIFERENTES RELACIONES SUELO/AGUA 1:2,5 Y 1:5).....	43
FIGURA 13. RELACIÓN SUELO/AGUA (1:2,5) PARA LA CE EN TIEMPO DE REPOSO VS TIEMPO DE AGITACIÓN.....	44
FIGURA 14. RELACIÓN DE LA CE1:5 EN TIEMPO DE REPOSO VS TIEMPO DE AGITACIÓN..	45
FIGURA 15. CURVAS DE R2 DE PHP DE CADA ECUACIÓN DE EDAFOTRANSFERENCIA.....	50
FIGURA 16. CURVA DE RMSE DE PHP DE CADA ECUACIÓN DE EDAFOTRANSFERENCIA..	50
FIGURA 17. CURVA DE R2 PARA LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA PHP.....	54
FIGURA 18. CURVA DE RMSE PARA LAS VARIABLES INDEPENDIENTES PARA PHP.....	54
FIGURA 19. CURVA DE R2 PARA LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA DE CEE.	59
FIGURA 20.CURVA DE RMSE PARA LAS ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA DE CEE.	60
FIGURA 21. CURVAS DE R2 PARA LAS VARIABLES INDEPENDIENTES DE CEE.....	63
FIGURA 22. CURVA DE RMSE DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES DE CEE.....	64

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar las variaciones de la CE y pH a diferentes tiempos de reposo y agitación a partir de estos datos encontrar una ecuación de edafotransferencia para estimar el pH en pasta de saturación y Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe).

Se determinó la Conductividad Eléctrica y el pH por potenciometría en soluciones suelo/agua en relaciones 1:1; 1:2,5; y 1:5, en diferentes tiempos de agitación a 5min, 10min, y 30min y tiempos de reposo a 10min, 30min, y 1h, de las cuales se tomó la relación suelo/agua 1:5 para realizar la respectiva ecuación.

Asimismo, se realizó análisis de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación y pH en pasta saturada y se realizaron otros parámetros como el análisis de materia orgánica (M.O.) y textura a las 100 muestras de suelo.

Las relaciones suelo/agua si influyen en los valores de la Conductividad Eléctrica (CE) y el pH. A mayor dilución, el valor de la Conductividad Eléctrica disminuye, pero, ese mismo comportamiento no ocurre con el valor del pH si no que su valor aumenta.

Respecto al tiempo de agitación se observó que hay diferencias numéricas, sin embargo, no existe diferencia estadística, por lo que podría decirse que el tiempo de agitación no influye en los valores de CE y pH.

Sobre el tiempo de reposo, se vio que para el valor del pH hay una diferencia numérica, sin embargo, no existe una diferencia significativa de la misma manera para la conductividad eléctrica (CE) por lo que podría decirse que el tiempo de reposo no influye en los valores de pH y CE.

Con todos estos datos se realizó la ecuación de edafotransferencia que predijeron los resultados de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación y pH en pasta saturada, obteniendo al final varias ecuaciones que según su R^2 y su RMSE, se seleccionaron cuatro ecuaciones, uno por cada clase textural, las cuales fueron las mejores en predicción de resultados.

La ecuación de edafotransferencia se obtuvo para para la Conductividad Eléctrica un R^2 de 0,26 para la textura general y un RMSE de 577,07 y para el pH un R^2 de 0,93 y un RMSE DE 0,28.

Al obtener valores bajos en las ecuaciones para predecir el valor de la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación, se puede correlacionar a partir de la relación suelo/agua usando así factores de conversión adecuados basados en tipo de suelo utilizándose así de forma fiable en salinidad.

ABSTRAC

The objective of this work was to determine the variations of EC and pH at different times of rest and agitation. From these data, find a pedotransfer equation to estimate the pH in saturation paste and Electrical Conductivity in saturation extract (EC_e).

Electrical Conductivity and pH were determined by potentiometry in soil/water solutions in different 1:1 ratios; 1:2,5 and 1:5, in different agitation times at 5min, 10min and 30min and rest times at 10min, 30min, and 1h, from which the soil/water ratio 1:5 was taken to carry out the respective equation.

Likewise, an analysis of Electrical Conductivity was carried out in the saturation extract and pH in saturated paste and other parameters were carried out, such as the analysis of organic matter (M.O.) and texture of the 100 soil samples.

The soil/water ratios do influence the values of Electrical Conductivity (EC) and pH. At higher dilutions, the values of Electrical Conductivity decreases, but the same behavior does not occur with the pH value, rather its value increases.

Regarding the agitation time, it was observed that there are numerical differences, however there is no statistical difference, so it could be said that the agitation time does not influence the EC and pH values.

Regarding the rest time, it was seen that for the pH value there is a numerical difference in the same way for the electrical conductivity (EC) so it could be said that the rest time does not influence pH and EC values.

With these data, the soil transfer equation was carried out that predicted the results of electrical conductivity in saturation extract and pH in saturated paste, finally obtaining several equations that according to their R^2 and RMSE, four equations were selected, one for each textural class, which were the best in predicting results.

The soil transfer equation was obtained for Electrical Conductivity with an R^2 of 0,26 for the general texture and an RMSE of 577,07 and for pH an R^2 of 0,93 and an RMSE of 0,28.

By obtaining low values in the equations to predict the value of electrical conductivity in saturation extract, it can be correlated from the soil/water ratio using appropriate conversion factors based on soil type, thus being used reliably in salinity.

1. INTRODUCCIÓN

En Bolivia la salinidad afecta al altiplano boliviano y los valles de Chuquisaca, Cochabamba. Cuya incidencia es más frecuente en las zonas de bajo riego y drenajes deficientes, en nuestro medio existen grandes extensiones para productividades agrícolas pero debido a la afloración de sales no se pueden aprovechar al máximo el uso de estas tierras ya que las sales son factores limitantes. La población se incrementa anualmente y se reduce considerablemente el abastecimiento de alimentos, que año tras año se produce una paulatina degradación de suelos agrícolas en particular en nuestro país (Flores, 2014).

Los suelos salinos presentan altas concentraciones de sales solubles, lo cual incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo, causando estrés fisiológico, este tipo de suelos ofrece pocas opciones de crecimiento de las plantas convirtiéndose en improductivas (Terrazas , 2018).

Según Orsag (2010), la salinización es un proceso paulatino y progresivo, por lo cual, es necesario realizar una revisión del estado y recuperación de suelos para el aprovechamiento de suelos salinos ya que existe una serie de limitaciones para el desarrollo de los cultivos.

Se estima que alrededor de 995 millones de hectáreas a nivel mundial sufren problemas de salinidad por lo cual para la evaluación de la salinidad del suelo se basa en las mediciones de la Conductividad Eléctrica (CE) y el pH, es sin duda un factor básico que determinan (Kargas et al., 2018).

Entre los métodos para determinar estas variables, se encuentra el uso de la pasta saturada y el extracto de saturación los cuales se han establecido como un método estándar y se considera como el índice más apropiado para estimar la salinidad, sin embargo, este método es tedioso, requiere mucho tiempo y habilidad para alcanzar el porcentaje de saturación (SP) especialmente en suelos arcillosos (Herrero & Perez, 2005).

La Conductividad Eléctrica (CE) y el pH son propiedades químicas que afecta al crecimiento de la vegetación, la actividad microbiana, la tasa de descomposición y la disponibilidad de nutrientes. Por lo cual es necesario determinar ecuaciones de edafotransferencia para estimar el pH en pasta saturada y la Conductividad Eléctrica (CE) en extracto de saturación de las diferentes clases texturales del suelo a partir del contenido de materia orgánica (M.O.), textura, pH y Conductividad Eléctrica (Ahmadpour & Abdu, 2015).

Y en diferentes países como es el caso de Asia los laboratorios utilizan la relación 1:5 que se utiliza para la lectura de la conductividad eléctrica y el pH, pero en Egipto se usa la relación 1:2,5 y 1:5

Como lo menciona Milan., (2018), en la actualidad existen diferentes mediciones de Conductividad Eléctrica y pH en relaciones suelo/agua 1:1 y 1:2 que sugieren que estas condiciones son más cercanas a la realidad, pero, también recomiendan las relaciones 1:2,5; 1:5 para una mejor lectura, pero los valores de Conductividad Eléctrica y pH pueden variar en función de la relación que se utilice. Por otro lado, entre los factores que inciden en la determinación de estos parámetros se tiene el tiempo de agitación, el tiempo de reposo.

Pero no son tan precisos como los resultados de extracto de saturación y pasta saturada, en ese sentido las ecuaciones de edafotransferencia nos permiten obtener información suficiente y exacta de las propiedades del suelo como textura, materia orgánica empleando bases de datos determinadas en forma rutinaria (Corina Pineda & Vilorio, 2011).

Como lo menciona Miller y Kissel, (2010), en América del Norte las mediciones estándar de la Conductividad Eléctrica y del pH se realizan a una relación de 1:1

Según Galatini., (2005), los trabajos de investigación que se realizaron en Argentina muestran que existe una gran variación de valores en cuanto a relaciones suelo/agua para la determinación de Conductividad Eléctrica y pH. La mayoría de las investigaciones emplean una relación 1:2.5

Pero en las últimas décadas, Rubio y Llorens, (2003) realizaron investigaciones en los que se han desarrollado numerosos métodos para determinar las propiedades del suelo y las condiciones físicas químicas y biológicas del suelo, generalmente estos parámetros requieren una elevada inversión económica y/o de tiempo debido por lo cual se desarrollan modelos matemáticos a partir de propiedades edáficas que son más fáciles de determinar.

Tal es el caso de los Estados Unidos que sus suelos contienen altas concentraciones de sodio limitando así el crecimiento de los cultivos, por lo cual realizar análisis de suelo basados en el método de extracción de saturación y pasta saturada proporcionan información sobre los peligros del suelo como la salinidad y alcalinidad (Miller, 2022).

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo general

Evaluar las técnicas de medición para la determinación de Conductividad Eléctrica (CE) y la relación del suelo (pH) en pasta saturada mediante ecuaciones de edafotransferencia

1.1.3 Objetivos específicos

- Evaluar las variaciones de la Conductividad Eléctrica y el pH bajo diferentes relaciones suelo: agua (1:1; 1:2,5; 1:5), tiempo de agitación y tiempo de reposo.
- Determinar la Conductividad Eléctrica y el pH de diferentes tipos de suelo
- Encontrar ecuaciones de edafotransferencia para (CEe) en base a $CE_{1:5}$, textura y MO y para el (pHp) en base a $pH_{1:5}$ textura y MO.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Suelo

Por suelo debemos entender desde el punto de vista edáfico, la parte superficial de la corteza terrestre que, por diferentes procesos de meteorización, intemperización mineralización, adición, transformación y otros, se convierte en un cuerpo trifásico complejo. Este recurso desde el punto de vista agronómico idealmente debería de estar conformado de manera proporcional. Una parte sólida 50% una parte aérea: aproximadamente de 50%, que corresponde a la fase líquida y otra gaseosa (O_2 , CO_2 , NO_2 , NH_4 , etc.) (Orsag, 2010).

Según la FAO (2017), las fracciones más gruesas de los suelos son la grava, arena y limo, y las fracciones más finas que forman el suelo se denominan arcilla, partículas con diámetros inferiores a $2\ \mu m$ (0,002 mm). La gran mayoría comprende minerales secundarios. Los minerales de arcilla por su gran superficie específica y por qué son químicamente activos ejercen una notable influencia sobre las propiedades químicas, físicas hasta biológicas del suelo.

El suelo está constituido por una matriz sólida, materiales orgánicos e inorgánicos que ocupa alrededor de la mitad de su volumen total mientras la otra mitad está ocupada por espacios porosos, los cuales pueden contener agua y aire en distintas proporciones, una característica de la matriz sólida es que determina las propiedades físicas de los suelos también llamada granulometría o textura (Rucks, Garcia, & Kaplan, 2004).

La textura del suelo se refiere a la proporción de componentes orgánicos de diferentes formas y tamaños como arena limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2006).

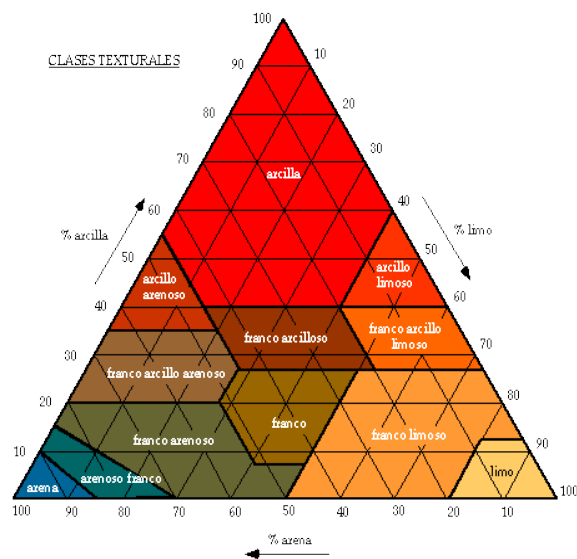
El departamento de agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) determino las clases de partícula, las mismas se mencionan en la Tabla 1, y su representación gráfica en la figura 1.

Tabla 1. Clasificación de las partículas según USDA

Nombre de la partícula	Diámetro de la partícula (mm)
Arena muy gruesa	2-1
Arena gruesa	1-0,5
Arena media	0,5-0,25
Arena fina	0,25-10
Arena muy fina	0,10-0,05
Limo	0,05-0,002
Arcilla	Menor a 0,002

Fuente: (USDA, 2020)

Figura 1. Clase textural del suelo



Fuente:(Jaramillo, 2002)

Aquellos suelos arcillosos poseen una consistencia plástica, presentan una permeabilidad baja. En cuanto a suelos arenosos conocidas como suelos ligeros debido a su escasa plasticidad y facilidad de trabajo, poseen una excelente aireación debido a que las partículas dominantes son de gran tamaño y facilitan la penetración del aire, la acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de

los elementos minerales es elevado. Por último, se tiene los suelos de textura limosa, estos carecen de propiedades coloidales formadoras de estructura, construyendo suelos que se comprimen con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua, en estos suelos se forman fácilmente costras superficiales las cuales impiden la emergencia de las plántulas (Rucks et al., 2004).

La Conductividad Eléctrica (CE) está influenciada por una combinación de propiedades físico-químicas del suelo, como pueden ser la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, humedad en el suelo, capacidad de intercambio catiónico, tipo de suelos entre otras (Corwin & Lesch 2005).

La conducción de la electricidad en los suelos se realiza principalmente a través de macro y microporos continuos y llenos de agua entre partículas de suelo. Los suelos con mayor porcentaje de partículas finas tienen un importante contacto entre partícula-partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, por lo que permiten conducir mejor la electricidad comparado con los suelos que tiene mayor contenido de partículas de arena (Rhoades et al., 1989).

Existe una relación positiva entre CE y contenido de partículas finas es consistente con previos estudios, además los contenidos de partículas finas estuvieron asociados positivamente con el contenido de materia orgánica del suelo (Corwin et al., 2006).

2.1.1. La materia orgánica (M.O.) en el suelo

La materia orgánica del suelo es la responsable de la fertilidad del suelo puesto que, cuando se descompone, deja minerales en el que son absorbidos por la planta como un nutriente esta fracción puede descomponerse rápidamente o lentamente. En dicho proceso los microorganismos descomponen los residuos de la planta para producir el humus, que almacena nutrientes y agua, lo que contribuye a la fertilidad y estabilidad del suelo (Sanchez, 2016).

En cuanto a su efecto en las propiedades químicas del suelo, la M.O. incrementa el contenido de nutrientes disponibles para especies vegetales y aumenta la

capacidad tampón del suelo; favoreciendo así al buen funcionamiento de abonos minerales y su absorción por las raíces de las plantas, en las propiedades biológicas del suelo el humus favorece en procesos de mineralización y desarrollo de microorganismos (Jucal, Meneses, & Sevillano, 2009).

Según (Andrades & Martinez, 2014), la cantidad de materia orgánica de un suelo depende de diversos factores como la textura del suelo aireación, humedad, clima predominante y diferentes prácticas que realiza el hombre para la preparación del suelo.

2.1.2 La materia orgánica (M.O.) del suelo y su relación con las propiedades físicas

La materia orgánica incide directamente en las propiedades físicas del suelo ya que forman agregados y proporciona la estabilidad estructural al suelo, favorece la penetración y retención del agua, disminuye procesos erosivos y favorece al intercambio gaseoso que se genera en los perfiles del suelo (Kern, 1993).

La materia orgánica (M.O.) se relaciona con la mayoría de los procesos que ocurren en el suelo siendo, además, un indicador clave e integrador que refleja su “salud”, pero debido a factores externos como son las prácticas agronómicas pueden alterar esos equilibrios. Numerosos estudios han demostrado que afecta a la estabilidad de los agregados, la capacidad de almacenamiento útil, pero, sobre todo, la disponibilidad de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) (Ghisolfi, 2011).

Muchos autores mencionan que el pH es más ácido en donde la materia orgánica es alta, sin embargo, este comportamiento también depende del material de origen del suelo, al ser el pH y la materia orgánica un indicador de la fertilidad y la salinidad del suelo (Mora Rosas & Alcalá, 2016).

La acidificación del suelo inhibe el crecimiento microbiano y conduce a la disminución de la abundancia y diversidad de los microbios del suelo que reducen aún más la estabilidad espacial de los ecosistemas de los suelos agrícolas sobre todo en aquellos con bajo contenido de materia orgánica (Wan et al., 2019).

Investigaciones afirman que existe una relación negativa entre el hidrogeno intercambiable (H^+) y la materia orgánica, conforme se incrementa los niveles de MO, lo cual provoca un aumento en la acidez intercambiable, debido a la presencia de hidrogeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) que causa una disminución en el pH (Cruz et al., 2020).

Algunos componentes de la materia orgánica son mayormente responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo, generando poros y macro poros continuos, aumentando la capacidad de conducir la corriente eléctrica del suelo (Lal, 2004). Existe una fuerte correlación entre la CE y la materia orgánica debido a que la MO juega un rol significativo en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo y están asociadas a una acumulación de nutrientes y retención de agua, estos factores tienen una relación directa con la conductividad eléctrica (Martinez et al., 2009).

2.2 Acidez del suelo

América Latina tiene una diversidad de suelos producto de la variedad de materiales parentales en el proceso de meteorización o en la medida que los suelos van desarrollándose, pueden volverse ácidos después de periodos largos de uso intenso. En cualquier caso, es necesario controlar la acidez o basicidad para poder incrementar y sostener los rendimientos agrícolas. Todos estos procesos ocurren naturalmente al tipo de suelo, cultivo y de las condiciones de manejo (Molina, 1999).

El pH es una de las propiedades más importantes en el suelo, ya que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, determinando su solubilidad y la actividad de los microorganismos, los cuales mineralizan la materia orgánica. Sin embargo, también determina la concentración de iones tóxicos, la capacidad de intercambio catiónico y diversas propiedades que apuntan a la fertilidad del suelo (Ramirez, 1997).

Para la determinación del valor del pH a pesar de su simplicidad, no solo indica si el mismo es ácido, neutro o alcalino, sino que aporta información básica para

conocer su potencial agrícola, estimar la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos (Porta, Lopez, & Laburu, 1999).

Los valores de pH que nos indican que tan ácido o alcalino es la solución del suelo, como lo menciona el (ICA) y su representación gráfica se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los rangos de pH del suelo

pH	Denominación de los suelos
3 – 4.5	Suelos extremadamente ácidos
4.5 – 5	Suelos fuertemente ácidos
5 – 5.5	Suelos muy ácidos
6 – 6.75	Suelos débilmente ácidos
6.75 – 7.25	Suelos neutros
7.25 – 8.5	Suelos básicos o alcalinos
>8.5	Suelos muy alcalinos

Fuente: (Instituto Colombiano Agropecuario, 1992).

2.3 Clasificación de suelos Afectados por sal

La salinidad del suelo es uno de los factores que mayor limitación ofrece a la explotación agropecuaria. Ocupa el segundo lugar en cuanto a degradación mundial del suelo, detrás de la erosión. Según la FAO la salinización de las tierras irrigadas avanza anualmente a valores que alcanzan un 1 a 2%. Por otro lado, las tierras disponibles para uso futuro, de la agricultura se ubican en regiones áridas y semiáridas donde la salinidad es de origen natural estas prácticas poseen un alto potencial de producir salinización (Larrieu, Clausi, & Bongiorno, 2016).

De tal manera este tipo de suelos (salinos) inciden no solo sobre las propiedades del suelo sino, en forma indirecta, sobre el desarrollo de las plantas. En este sentido es importante conocer los procesos de acumulación de sales en el perfil del suelo y poder clasificar esto según sus limitantes, al disminuir las lluvias, los suelos se van secando por infiltración y evapotranspiración (Herve, Ledezma, & Orsag, 2002).

Muchos autores señalan que el “efecto salino” se debe no solamente a la presencia física de las sales, sino fundamentalmente a su “actividad” en la solución del suelo (Aceves, 1979). Al igual que la acidez, para interpretar la salinidad se utilizan tablas como las que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de suelos afectados por sal

Clasificación	pH	CE (dS/m)	PSI (%)	Proceso
Salina	<8.5	4	<15	Salinización
Salino-sódico	8.5	4	15	Salinización-sodificación
Sódico	>8.5	<4	15	Sodificación

Fuente: (Otero y Francisco, 2017)

2.3.1 Suelo salino

Los principales efectos negativos de la salinidad es la reducción de actividad biológica, disminución en la disponibilidad de nutrientes, ocasiona alteraciones en la estructura del suelo incidiendo directamente en sus procesos de degradación y desertificación, generando limitaciones para el buen desarrollo de los cultivos ocasionando alteraciones en el crecimiento, baja absorción y distribución de nutrientes a diferentes órganos de la planta y cambios en la calidad (Zuñiga & Osorio, 2011).

Estas limitaciones son generadas principalmente por tres factores: déficit hídrico, toxicidad por iones y desbalance nutricional (Munns, 2002).

Bajo condiciones específicas se produce la acumulación de sales, dando origen a suelos salinos y sódicos. Los suelos salinos se producen por el ascenso de la capa freática o por el lavado deficiente de la zona radial en donde se han acumulado las sales provenientes de las aguas de riegos. Las sales solubles que se acumulan en suelos salinos y/o sódicos, son: cloruros, carbonatos y ocasionalmente boratos de calcio, magnesio y sodio (Fassbender, 1975).

2.3.2 Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos

Según Hervé et al., (2002), la presencia de sales en el suelo, se debe a los procesos naturales de mineralización o meteorización de las rocas durante la formación de los suelos. La presencia de sales solubles en zonas secas también se puede deber a la existencia de antiguos depósitos secundarios, donde antes existían lagos. Estas sales acumuladas en los sedimentos contribuyen a la concentración de sales en los suelos formados a partir de estos minerales.

Esta acumulación de sales que se producen como consecuencia de las actividades antrópicas no sustentables es conocida como salinización secundaria, esta puede ser explicada a partir de dos desencadenantes y, por lo tanto, se divide a su vez en dos tipos: de tierra seca no irrigada o por irrigación (Guilda, Abraham, & Cony, 2017).

2.3.3 Parámetros principales para la evaluación de la salinidad

Según Gat & Fertilizantes., (2017), con la ayuda de parámetros químicos se puede determinar la Conductividad Eléctrica (CE) que nos permite medir la concentración sales en una solución, esta es la medida de la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueva la corriente eléctrica a través de este. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. La CE se expresa en dS/m en una relación determinada de suelo-agua.

La medición de pH y CE proporciona una indicación más completa. De la naturaleza química del suelo. Cuando se miden, juntos los efectos de la manipulación se detectarán más prácticas y ordenación y sistema de cultivo sobre la calidad del suelo.

2.4 Sodicidad

La acción dispersante del sodio sobre las arcillas afecta a las propiedades físicas del suelo, se destruye la estructura del suelo y los agregados son poco estables.

Esto promoverá una pérdida de la calidad de los suelos al perder su porosidad y provocar un menor desarrollo radical de las plantas.

El crecimiento de las plantas en medios salinos se ve afectado desfavorablemente, con una intensidad que varía de una planta a otra para un mismo valor de la CEE o del porcentaje de sodio intercambiable (PSI). En plantas no halófitas la presencia de sales en el suelo provoca una sintomatología relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento provocando retardos en la nacencias, menor área foliar y tallo, necrosis y menores producciones en masa seca que producirán mermas en los rendimientos de los cultivos (Porta et al., 2003).

2.4.1 Medida y clasificación de la salinidad

La medida de la salinidad se realiza mediante la conductividad eléctrica que se mide generalmente en unidades de dS/m. dicha Conductividad Eléctrica depende de la temperatura por lo que, para realizar comparaciones validas la Conductividad Eléctrica debe expresar en relación a una temperatura de referencia esta temperatura es de 25°C (IVIA, 2014).

2.5 Medición del pH del suelo en suspensión suelo-agua

Según Conyers & Devey., (1988), en la medición del pH utilizando electrodo de actividad específica hay varios factores a considerar:

- La relación suelo-agua
- La fuerza iónica de la solución,
- La posición del electrodo en la suspensión,
- Agitación o reposo de la muestra mediante la medición.
- El tiempo de equilibrio de la mezcla suelo: agua antes de la medición pueden afectar los valores medidos del pH.

El procedimiento habitual es el de la suspensión de una muestra de suelo en un solvente, que por lo general es agua, con tiempo de agitación y tiempo de reposo. Sin embargo, no hay un acuerdo definido sobre cuál es la relación másica

suelo/agua más adecuada para tal medición. El problema es que en la suspensión acuosa los valores del pH aumentan en la medida que el extracto se diluye y en este caso es difícil establecer el valor de pH que se le asigna a la muestra (Tan, 1993).

Las proporciones de suelo/agua en la suspensión tienen un efecto neto de aumentar el pH con una disminución de la proporción de suelo/agua y se ha demostrado que la disminución de la relación suelo/agua de 10:1 a 1:10 resultó en un aumento de 0,40 unidades de pH. El aumento de pH menor al esperado con el aumento de la relación suelo/solución fue el resultado de una disociación reducida de H^+ de la superficie del suelo y una menor hidrólisis del Al que puede estar presente. (Miller y Kissel, 2010).

Como expresa Richards & United (1958), las diferentes relaciones suelo-agua son utilizadas para la determinación de la CE de una muestra de suelo, de forma rápida y eficiente (por ejemplo 1:1, 1:2 y 1:5) sin embargo, la seguridad de las determinaciones depende del suelo y de las sales presentes en el suelo.

La CE de varias proporciones de suelo sobre agua, (suelo- agua), como 1:1, 1:2, 1:2.5, 1:5 que son más fácilmente alcanzables. Cabe señalar que las proporciones de masa de suelo sobre agua están muy poco correlacionadas con las condiciones reales del suelo. Estos métodos pueden ser prácticamente muy útiles cuando uno no está interesado en la determinación de los valores absolutos de CE o la concentración absoluta de sal del suelo (Kargas y Chatzigiakoumis, 2018).

Según el USDA (1954) y Rhoades (1982), a medida que aumenta la relación suelo/agua, la Conductividad Eléctrica disminuye debido al efecto de dilución.

En muchas regiones del mundo, como Egipto cientos de muestras de suelo son analizadas de forma rutinaria por el gobierno o el comercio de laboratorios de análisis de suelos. Por falta de instalaciones dentro de estos laboratorios, las relaciones 1:2,5 y 1:5 se usan comúnmente para determinar el valor de las muestras (Emad y Aboukila., 2017).

La relación 1:5 es preferiblemente utilizado como método para calcular la salinidad del suelo en Australia, China, y Asia Central (Shirokova, Forkutsa, & Sharafutdinova, 2000), así como una relación 1:1 en Estados Unidos y Canadá (Hogg & Henry, 2002) .

El uso de extractos de saturación como método de medición y referenciación la salinidad proporciona una relación directa con la humedad del campo rango para la mayoría de los suelos. Sin embargo, las suspensiones de agua de suelo de diferentes proporciones como 1:1, 1:2, 1:5 y 1:10 pueden ser más fáciles elaborados de extraídos de extracto de saturación (USDA, 1954).

Las ventajas de los extractos de agua del suelo son que requieren menos mano de obra, más rápido y pueden ser útiles cuando los objetivos son evaluar los cambios relativos en lugar del contenido absoluto de solutos (Mckenzie, Sproul, & Clark, 1983).

Las estimaciones de salinidad de las suspensiones son muy convenientes para determinaciones rápidas, particularmente si la cantidad de muestra es limitada, o cuando se hacen muestreos repetidos para determinar el cambio de la salinidad debido a tiempo o tratamiento (Gutierrez & Caceres, 2017).

Entre las proporciones diluidas mencionados anteriormente, la relación 1:5 es el método preferido para determinar las propiedades químicas del suelo, la proporción 1:5 disuelve mayores cantidades de solutos, especialmente para sales poco solubles de relación suelo/agua 1:5 es comparativamente fácil y repetible, el proceso de equilibrio suelo-solución ha variado desde la agitación mecánica (Chi & Wang, 2010).

2.6 Método de pasta de saturación

El método de extracción de pasta saturada del suelo es el método preeminente para la evaluación del pH en suelos agrícolas, la mayoría de las regiones dependen en gran medida del suelo ya que estos suelos pueden contener carbonatos disueltos, boro en concentraciones más bajas dependientes sobre el pH. También pueden

estar presentes oligoelementos adicionales, pero en concentraciones sin relevancia para la producción agrícola (Miller, 2022).

Hasta la década de 1950, se estimaba el contenido de sal de los suelos a través de la Conductividad Eléctrica (CE) a partir de la pasta saturada. Como un resultado de los avances realizados en la compresión de los suelos salinos, se encontró que la planta responde a la concentración de sal del suelo (solución) en lugar del contenido total de sal del suelo. Por lo tanto, la Conductividad del extracto de saturación se recomienda como método general para estimar la salinidad del suelo en relación con la planta y su crecimiento.

Hoy en día, extracto de pasta saturada (SP) y extracto de agua son los métodos de extracción que se aplican para la salinidad del suelo. No solo en la Conductividad Eléctrica (CE) de extracto de saturación por lo que es recomendada en laboratorios estándar para estimar la Conductividad Eléctrica (CE) del suelo, pero también se toma en consideración para ser el mejor indicador de plantas en respuesta a la salinidad en comparación con suelos más diluidos (Herrero y Pérez, 2005).

La pasta de saturación implica saturar el suelo con agua por lo que el 100% del espacio total de los poros está ocupado por agua y no libre el agua permanece en la superficie del suelo (Miller, 2022). En la figura 2, se muestra cómo debe quedar la pasta saturada para la lectura el pH y la extracción del líquido para la determinación de la conductividad eléctrica.

Figura 2. Extracto de pasta saturada del suelo



Fuente: (Valencia, 2019)

Los extractos de pasta saturada exigen tiempo y se necesita más habilidades para determinar el punto de saturación correcto (Al-busaidi, Yamamoto, & Bakheit, 2006).

Como se menciona en Geoderma (2008), las relaciones de suelo agua 1:1, 1:2,5 o 1:5 en proporciones de suelo- agua no son tan precisas a diferencia del método de pasta saturada, Debido a que las proporciones de masa de suelo de agua están muy poco correlacionadas con las condiciones reales del suelo, estos métodos pueden ser prácticamente muy útiles cuando no se está interesado en la determinación de los valores absolutos de Conductividad Eléctrica (CE) o la concentración absoluta de sal.

Estudios han demostrado que existe una correlación de sales en el extracto de saturación y el extracto de suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente (0,3 a 15 Bar, respectivamente), adoptándose finalmente a la determinación de sales en extracto de saturación (Gutiérrez y Cáceres, 2017).

El pH del extracto de pasta de saturación (SPE) representa la acidez o alcalinidad relativa del suelo de la siguiente manera:

- Los suelos con pH <5,5 son fuertemente ácidos
- Los suelos con pH entre 5,5-6,5 son levemente ácidos.
- Los suelos con pH entre 6,5-7,5 son alcalinos.

- Los suelos con pH >8,5 son fuertemente alcalinos

Los impactos del pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes, puede afectar a la idoneidad de un cultivo específico (Miller, 2022).

2.7 Determinación de la ecuación de edafotransferencia

Las propiedades hidráulicas del suelo como la porosidad, estructura y la humedad gobiernan el funcionamiento de los suelos en los ecosistemas y afectan en gran medida su manejo, estas propiedades se determinan en los estudios de suelo; sin embargo, no es práctico debido al costo y al tiempo. Estas propiedades pueden estimarse a partir de sus propiedades físicas y químicas fácilmente disponibles, las ecuaciones de regresión para dicha estimación a menudo se denominan funciones de pedotransferencias (PTF) (Rawls, Nemes, & Pachepsky, 2004).

Se pueden definir a las pedotransferencias del suelo como funciones predictivas para determinar diferentes propiedades del suelo las cuales están fundamentadas en características físicas de fácil medición y bajo costo (Baker & Ellison, 2007).

Las funciones de pedotransferencias o edafotransferencia, son relaciones que se pueden establecer mediante una ecuación, entre características morfológicas y otras propiedades de interés de suelo y que permiten inferir unas propiedades a partir de otras (Porta, López-Acevedo, & roquero 2004, citado por (Reyes Alvarez, 2018).

Al ser una relación matemática entre dos o más variables de suelo, los datos generalmente disponibles para los suelos agrícolas son textura, contenido de materia orgánica y densidad aparente (Hillel, 1998).

Las funciones o modelos matemáticos traducen aquellos datos de suelo, los cuales disponemos y que resultan fácil y comúnmente medidos dentro de una función, de predicción que es por demás de carácter empírico, en aquellos datos que necesitamos, que no están disponibles y resultan difícil de medir, con el auxilio de técnicas estadísticas (análisis exploratorio de datos, análisis de regresión simple y lineal múltiple, redes neuronales, etc.) (García, Coronado, & Medina, 2009).

Estas funciones son relaciones matemáticas las cuales utilizan un amplio conjunto de datos de entradas para generar variables de salida que estiman las propiedades hidráulicas del suelo (Saxton & Rawls, 2006).

2.7.1 Ecuaciones de predicción de Saxton y Rawls

Diferentes métodos desarrollados por (Rawls et al. 1982) para la estimación de las funciones de PTF en el suelo han demostrado que se pueden hacer predicciones generalizadas para ser utilizadas con precisión, aunque mantienen un pequeño porcentaje de variabilidad.

Esto a partir de variables físicas fácilmente disponibles ha sido la finalidad de estudios a largo plazo de los investigadores del perfil del suelo, diferentes estudios han desarrollado un conjunto de ecuaciones generalmente aplicables para análisis hidrológicos, entre las investigaciones más notables se encuentran las ecuaciones desarrolladas por (Brooks & Corey, 1964), como (Woster, Pachepsky, & Rawls, 2021) que recomiendan a países en desarrollo, realizan aproximaciones empíricas con la información disponible y mediante el uso de las FPT.

El valor de R^2 es la medida más común de la bondad del ajuste de una línea de regresión que calcula la proporción de la varianza de la variable dependiente explicadas por las variables de regresión, (Velez Correa & Nieto Figueroa, 2016), en donde si hay varios datos con R^2 similares se usa el RMSE (raíz del error medio cuadrático), que es una medida de precisión y fiabilidad para los conjuntos de datos de calibración y prueba, (Keshavarzi & Sarmadian, 2010), citado por (Julca Aguilar, 2020). Este parámetro se define como:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_o - Y_p)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_o - \hat{Y}_o)^2} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^N (Y_o - Y_p)^2}$$

Dónde:

R^2 : Coeficiente de determinación.

RMSE: Raíz del error medio cuadrático.

Y_o : Valor real.

Y_p : Valor predicho.

\hat{Y}_o : Promedio de los valores reales

N: Número de muestras.

Usando estos dos coeficientes se identifica la mejor ecuación.

3. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de suelos y agua (LAFASA) de la facultad de agronomía, dependiente de la Universidad Mayor de San Andrés. Las muestras utilizadas corresponden a una serie de muestras provenientes de diferentes municipios que se encuentran en las bases de muestras de laboratorio.

3.1 Características de la zona en estudio

El ambiente dentro del laboratorio (LAFASA) presenta una temperatura promedio de 16,8 °C y la humedad promedio de 29,34%. Estos parámetros son siempre determinados para la realización de los diferentes análisis.

Figura 3. Laboratorio de Suelos y Agua (LAFASA) Facultad de Agronomía



4. MATERIALES

4.1 Material experimental

Tabla 4. Materiales de laboratorio

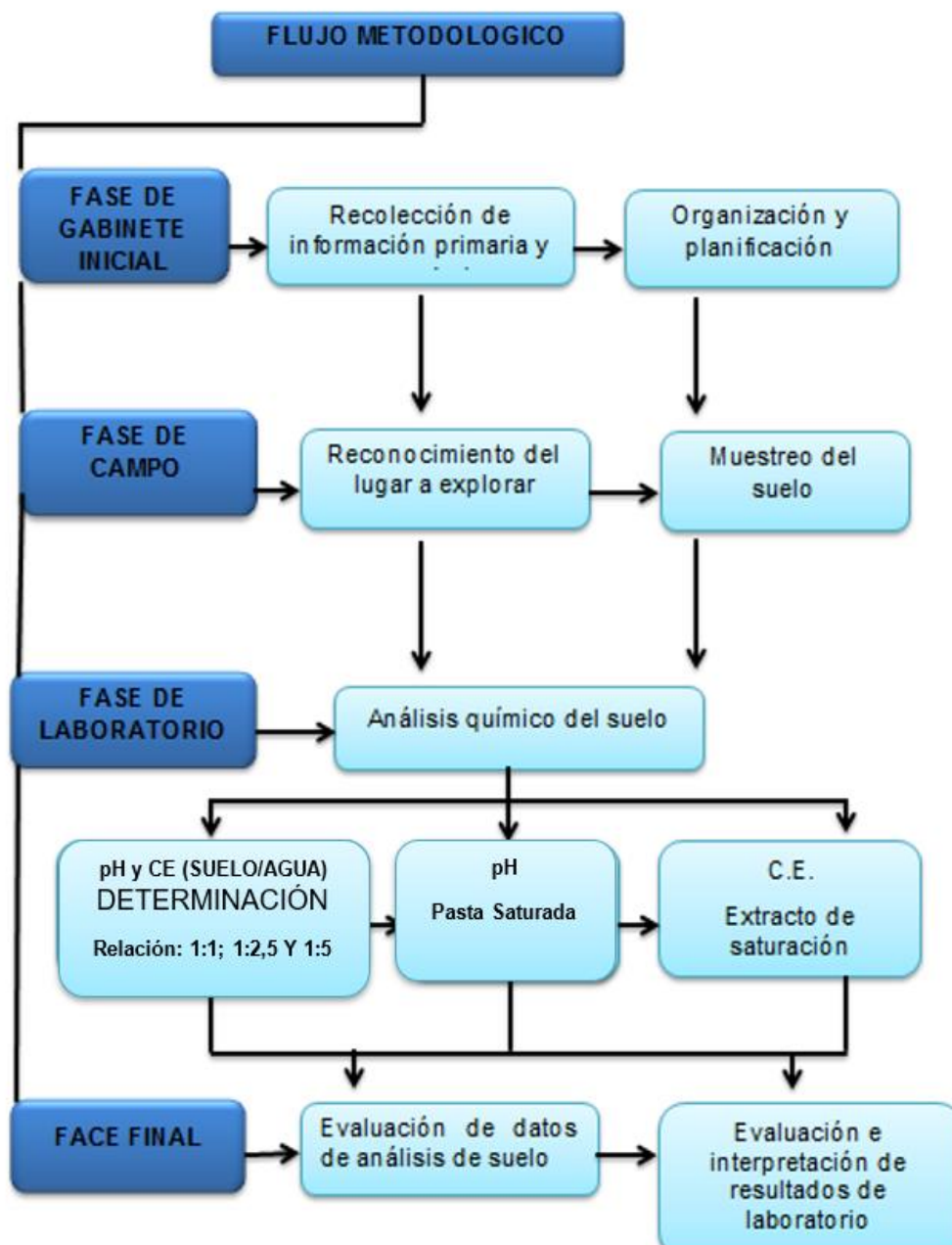
Material de laboratorio	Equipos de laboratorio
Piseta	
Probeta de 100 ml	Bomba de vacío
Espátula o cuchara	Agitador mecánico
Vaso precipitado de 100 ml	Balanza analítica
Varilla de vidrio	Destiladora de agua
Mortero	Potenciómetro
Tamiz de 2mm	Conductivímetro
Embudo buchner	
Matraces Kitasato	
Pliego de papel filtro	
Agua des ionizada	

Tabla 5. Material de gabinete

Material de gabinete
Material y equipo de evaluación
Marcador indeleble o etiquetas
Bolsas zip-loc
Cuaderno para registro
Cámara fotográfica
Computadora personal
Software estadístico (Microsoft, Excel, IBM SPSS)

El proceso metodológico de esta investigación consiste en cuatro fases: fase de gabinete, campo, laboratorio, y la fase final como se puede observar en la Figura 4.

Figura 4. Flujo metodológico



A fin de cumplir con los objetivos del presente estudio se llevaron varias actividades las cuales se agruparon, así como se muestra en la figura 4.

5. METODOLOGÍA

5.1 procedimiento metodológico

5.1.1 fase de campo (Muestreo del suelo)

Se tomaron muestras representativas de suelo de la estación Experimental de Choquenaira. El muestreo de suelo se realizó según la metodología de Mendoza, Corrales y Espinosa (2017). La muestra de suelo se tomó de la capa arable a una profundidad de 20 a 30 cm, por una determinada superficie, posteriormente, estas fueron mezcladas en una cubeta, para luego obtener una muestra compuesta la cantidad de la muestra recolectada fue de aproximadamente de 20 kilos.

5.2 Fase de laboratorio

5.2.1 Preparación de la muestra de suelo en laboratorio

Para el manejo de las muestras en laboratorio se siguió con los siguientes pasos: desecación, molienda, tamizado, mezcla, partición, pesada y conservación (Chilon, 1996).

a) Secado

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente posteriormente se colocó en una capa delgada de plástico en un área para protegerlo de posible contaminación.

b) Mesclado homogéneo

Una vez secada la muestra se mezcló homogéneamente. Esta operación se realizó rápidamente y con la mínima exposición al medio ambiente, evitando así una contaminación durante el proceso como lo menciona la (FAO, 1993).

c) molido

Se procedió al tamizado y triturado de las muestras con la ayuda de un mortero y se pasó a separar aquellos restos de piedras ramas entre otras.

d) Tamizado

Una vez molida la muestra se procedió a pasarlas a través de un tamiz de 1mm de diámetro para la determinación de parámetros químicos y 2mm para parámetros físicos, luego se procedió a mezclar para una mayor uniformidad.

e) Almacenamiento

Una vez mezcladas las muestras se realizó la partición de la muestra por cuarteo estas muestras fueron almacenadas en bolsas herméticas y en frascos de vidrio respectivamente codificadas y libres de humedad, para su respectivo análisis.

En la fase de laboratorio una vez preparada la muestra para su respectivo análisis, se realizó como segundo paso la calibración de los equipos (potenciómetro y Conductivímetro), con soluciones buffer para obtener un mejor resultado en cuanto a la lectura del pH y la Conductividad Eléctrica de la siguiente manera:

5.2.2 Calibración de los equipos

5.2.2.1 Potenciómetro

Para una correcta calibración del pH-metro se efectuó en tres puntos pH: 4 ácido, pH: 7 neutro y pH: 10 base a fin de que los resultados sean óptimos para lo cual se hizo la calibración de la siguiente manera:

Como primer paso fijó la temperatura de calibración a 25 grados, y se procedió a insertar el electrodos en la solución buffer de pH: 4 y se agito suavemente hasta ajustar el equipo posteriormente se registró el valor de pH cuando la lectura fue ya estabilizada, se prosiguió al lavado de los electrodos usando agua destilada y se insertó la solución buffer de pH:7 y pH:10 de la misma manera que se realizó con la anterior solución buffer y posteriormente se lavó los electrodos con agua destilada para ser usada en las muestras.

Los electrodos fueron almacenados en vasos precipitados con agua destilada y se pasó con fill para no contaminar a la solución como lo menciona la guía (OAKTON, 2011).

5.2.2.2 Conductivimetro

Para la calibración del Conductivimetro se encendió el equipo, y se introdujo el electrodo en el líquido de calibración, se agito de forma uniforme y se esperó unos minutos hasta que la medida se establezca. El medidor de la Conductividad midió 1413uS/cm a 25 °C, al usar el líquido de calibración estándar y se verifico que el equipo se encuentre dentro del rango establecido como lo describe la guía (OAKTON, 2011), y como se muestra en la figura 9.

Figura 5. Equipo de laboratorio pH-metro y conductivimetro



5.2.3 análisis de parámetros físicos y químicos

Para el análisis de pH y Conductividad Eléctrica se usó la muestra de Choquenaira para diferentes soluciones suelo/agua en diferentes relaciones 1:1 (20:20); 1:2,5 (20:50); y también la relación 1:5 (20:100), en diferentes tiempos de agitación a 5 min, 10 min, y 30 min con un agitador de mesa, y se dejó reposar de la misma forma en diferentes tiempos de reposo a 10 min, 30 min, y 1 h, como se describe en la siguiente metodología:

5.2.3.1 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:1

Para la determinación del pH como primer paso se pesó 20 g de suelo en un vaso precipitado de 100ml y se añadió 20ml de agua des ionizada con una piseta y se pasó a cubrir con fill para que la muestra no sea contaminada. La muestra se llevó al agitador de mesa y se agito durante 5min, 10min y 30min a 250 rpm, y se dejó reposar las muestras en diferentes tiempos por 10min, 30min y 1h.

Ya para la lectura del pH se lavó los electrodos del pH con agua destilada, se pasó a secar con un paño cuidadosamente posteriormente se sumergió los electrodos en la muestra realizando así la lectura del pH y se prosiguió a registrar el valor del pH indicado por el equipo, cuando este dejo de oscilar.

Determinación de la Conductividad Eléctrica

La muestra que se prepararon para la lectura del pH también se utiliza para la lectura de Conductividad Eléctrica y se procedió al encendido del equipo y se esperó por unos minutos hasta que se estabilice.

Se lavaron los electrodos del conductivimetro con agua destilada y se pasó a secar con un paño suave y cuidadosamente realizando así la lectura de la Conductividad Eléctrica. Con el conductivimetro y se pasó a registrar el valor indicado por el equipo.

5.2.3.2 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:2,5

Para la segunda determinación del pH a relación 1:2,5 como primer paso se pesó 20g de suelo en un vaso precipitado de 100ml y se añadió 50ml de agua des ionizada con una piseta y se pasó a cubrir con fill para que la muestra no sea contaminada. La muestra se pasó a llevar al agitador de mesa y se agito durante 5min, 10min y 30min a 250 rpm, y se dejó reposar las muestras en diferentes tiempos por 10min, 30min y 1h.

Ya para la lectura del pH se lavó los electrodos del pH con agua destilada, se pasó a secar con un paño cuidadosamente posteriormente se sumergio los electrodos en

la muestra realizando así la lectura del pH y se prosiguió a registrar el valor del pH indicado por el equipo, cuando este dejo de oscilar.

Determinación de la Conductividad Eléctrica

Se siguió todos los pasos anteriores hasta antes de la lectura del pH y se realizó la lectura de la Conductividad Eléctrica con el equipo (conductivímetro).

5.2.3.3 Procedimiento para la determinación de pH y Conductividad Eléctrica en suelo/agua relación 1:5

Para la tercera determinación del pH a relación 1:5 como primer paso se pesó 20g de suelo en un vaso precipitado de 200ml y se añadió 100ml de agua des ionizada con una piseta y se pasó a cubrir con fill para que la muestra no sea contaminada. La muestra se pasó a llevar al agitador de mesa y se agito durante 5min, 10min y 30min a 250 rpm, y se dejó reposar las muestras en diferentes tiempos por 10min, 30min y 1h.

Ya para la lectura del pH se lavó los electrodos del pH con agua destilada, se pasó a secar con un paño cuidadosamente posteriormente se sumergió los electrodos en la muestra realizando así la lectura del pH y se prosiguió a registrar el valor del pH indicado por el equipo, cuando este dejo de oscilar.

Determinación de la Conductividad Eléctrica

Siguiendo todos los pasos anteriores para la lectura de la Conductividad Eléctrica se lavaron los electrodos del conductivímetro con agua destilada y se pasó a secar con un paño suave y cuidadosamente y se introdujo el electrodo en la muestra realizando así la lectura de la Conductividad Eléctrica y se pasó a registrar el valor indicado por el equipo.

5.2.4 Selección de las 100 muestras de suelo tomadas de laboratorio

Del banco de muestras de Laboratorio de la Facultad de Agronomía de Suelos y Agua (LAFASA) se seleccionaron las 100 muestras de suelo para el análisis de conductividad eléctrica en extracto de saturación, pH en pasta saturada donde se realizó el análisis de las propiedades físicas como textura y propiedades químicas como el así como el contenido de materia, pH y conductividad eléctrica a una relación suelo/agua de 1:5.

5.2.4.1 Condiciones de trabajo

Antes de realizar los ensayos todos los materiales fueron lavados con detergente líquido para evitar posible contaminación, se enjuago con agua destilada para evitar la adherencia de residuos en los materiales utilizados.

5.2.4.2 Determinación de textura de suelo método Bouyucos

Para la determinación de la textura de las 100 muestras en estudio, se realizó por el método de Bouyoucos, como primer paso se pesó 50g de muestra de suelo en mallas de 2mm, las muestras se colocó en un vaso de dispersión de 200 ml, y se procedió a agregarle hexametáfosfato de sodio, y se le agrego 100 ml de agua destilada aproximadamente y se agito hasta formar una suspensión, se agito a 250 revoluciones por minuto durante 10 minutos se transfirió la suspensión a una probeta y se añadió agua destilada hasta llegar a la señal de 1000ml, posteriormente se agito manualmente por un minuto hasta que las partículas queden suspendidas y se efectuó la primera lectura con el hidrómetro a los 40 segundos, después de dos horas se realizó la segunda lectura.

5.2.4.3 Determinación de materia orgánica método de Walkey Black

Para la determinación de la materia orgánica se realizó por el método de Walkey Black, se pesó 0,2 g en un matraz Erlenmeyer en mallas de 1 mm y se le agrego 5 ml de dicromato de potasio y le añadimos cuidadosamente 10 ml de ácido sulfúrico, agitándole en forma circular por un minuto dejándolo reposar por 30 minutos y se pasó a añadir 10 ml de agua destilada y 5ml de ácido fosfórico concentrado, se

agregó 5 gotas de indicador de difenilamina y se agito en giros suaves hasta que la muestra adquiriera una tonalidad de azul oscuro.

Y por último se pasó a titular con sulfato ferroso 0,5 N hasta que presente un color verde esmeralda, registrando así los mililitros gastados.

5.2.4.4 Determinación de pasta saturada para pH y extracto de saturación para Conductividad Eléctrica

a. Procedimiento de pH en pasta saturada

Para el análisis de pH en pasta de saturación se realizó 5 muestras por día como se describe en la siguiente metodología:

Como primer paso para determinar el pH mediante el método de pasta de saturación se pesó 150 g de suelo en capsulas metálicas estas muestras fueron trasvasadas en capsulas de porcelana bien codificadas, y se pasó a llenar agua des ionizada en una probeta de 100ml y se fue añadiendo lentamente agua des ionizada a la muestra, y con la ayuda de una espátula se procedió a remover cuidadosamente la muestra, hasta que la pasta llego a saturarse, añadiéndole agua des ionizada poco a poco como se muestra en la figura 6.

Se golpeó con suavidad la capsula contra el mesón para ver si se llegó a saturación. Al llegar a saturación la pasta brilla por la reflexión de la luz, y la superficie de la capsula presenta ciertas características cuando se inclinó la pasta fluyo ligeramente, y la pasta se deslizo fácilmente por la espátula, y al realizar un corte en la superficie con la espátula la muestra fue serrándose lentamente apareciendo así nuevamente el brillo como lo menciona (Andrades, Moliner, Martinez, 2014).

Figura 6. Pasta saturada para la determinación de pH



Al llegar a la pasta de saturación, antes de hacer la lectura del pH se lavó los electrodos con agua destilada y se pasó a secar con un paño suave y se introdujo el electrodo directamente en la pasta de suelo saturado y se anotó la lectura del pH y se prosiguió a registrar el valor indicado por el equipo, obteniendo así los datos de pH en pasta saturada.

b. Procedimiento de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación:

Una vez realizada la lectura del pH en pasta, la misma muestra leída se utilizó para la lectura de la Conductividad eléctrica en extracto de saturación.

Como primer paso se armó el equipo utilizando el matraz Kitasato y el embudo buchner, se instalaron los dos equipos de filtración a la bomba de vacío. Y se prepararon los pliegos de papel filtro y se pasó a recortaron con el mismo diámetro interno de la placa del embudo buchner como se observa en la figura 7.

Figura 7. Embudo buchner



Los papeles filtros fueron recortados y se les realizó un lavado general 3 veces con agua des ionizada hasta obtener una conductividad mínima, y se guardó en cajas Petri, esto se hizo debido a que el papel filtro contiene sales que pueden afectar los resultados de la Conductividad Eléctrica de las muestras de suelo, se pasó a colocar el papel filtro en el embudo Buchner como se muestra en la figura 12. La pasta, se colocó en el sistema de vacío (en el embudo buchner) para succionar el agua presente en la pasta, obteniendo así el extracto de saturación que quedo en el matraz Kitasato. Se lavaron los electrodos del conductivimetro con agua destilada y se pasó a secar con un paño suave y cuidadosamente realizando así la lectura de la Conductividad se colocó el conductivimetro en los tubos que contiene el extracto y se anotó la lectura de la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación.

Para el análisis de las siguientes muestras se procedió a lavar todos los materiales con agua destilada y se repitió toda la metodología.

5.2.5 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia

Con los datos obtenidos de análisis de textura, materia orgánica, pH en pasta saturada, Conductividad Eléctrica en extracto de saturación, y los análisis de rutina suelo/agua (pH 1:5, CE 1.5) a las 100 muestras de suelo formuló las ecuaciones de edafotransferencia.

Tabla 6. Clases texturales del suelo

clase textural	subclase textural	Símbolo
Gruesa	Arena	A
media gruesa	arena franca	AF
	franco arenoso	FA
	franco	F
Media	franco limoso	FL
	Limo	L
media fina	franco arcillo arenoso	FArA
	franco arcilloso	FAr
	franco arcillo limoso	FArL
	arcillo arenoso	ArA
Fina	Arcilla limosa	ArL
	Arcilla	Ar

Fuente: (Julca Aguilar, 2020).

Los datos de materia orgánica, textura, pH y Conductividad Eléctrica relación 1:5, pH en pasta saturada y Conductividad Eléctrica en extracto de saturación se almacenaron en Microsoft Excel, se organizó según la clase textural, en el cual se ordenó todas las muestras según su porcentaje de Arena Limo y Arcilla donde se procesó los datos para determinar las ecuaciones de edafotransferencia por regresión lineal múltiple de la siguiente manera:

a. Para pH en pasta (pHp):

X = Pasta de saturación (pHp)

X₁ = pH en disolución 1:5

X₂ = Porcentaje de arena (A)

X₃ = Porcentaje de limo (L)

X₄ = Porcentaje de arcilla (Ar)

X_5 =Porcentaje de materia orgánica (MO)

b. Para Conductividad Eléctrica en extracto de saturación:

Y =Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe)

Y_1 =C.E. en disolución 1:5

Y_2 =Porcentaje de arena (A)

Y_3 =Porcentaje de limo (L)

Y_4 =Porcentaje de arcilla (Ar)

Y_5 =Porcentaje de materia orgánica (MO)

5.2.5.1 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia

En esta investigación se utilizó el método de regresión lineal múltiple para determinar las funciones de edafotransferencia. En donde las variables independientes como (pH y CEe) se trabajaron solas y en conjunto para determinar las variables dependientes (materia orgánica, textura y $pH_{1:5}$ y $CE_{1:5}$) como se muestra a continuación (Kargas, Chatzigiakoumis, & Kollias, Spiliotis, 2018).

a. Para pH en pasta saturada (pHp):

$$pHp = a*(pH)+b$$

$$pHp = a*(MO)+b$$

$$pHp = a*(A)+b(Ar)+c*(L)+d$$

$$pHp = a*(pH)+b*(MO)+c$$

$$pHp = a*(pH)+b*(A)+c*(Ar)+d*(L)+e$$

$$pHp = a*(MO)+b*(A)+c*(Ar)+d*(L)+e$$

$$pHp = a*(pH)+b*(MO)+c*(A)+d*(Ar)+e*(L)+f$$

b. Para Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe):

$$CEe = a*(pH)+b$$

$$CEe = a*(MO)+b$$

$$CEe = a*(A)+b(Ar)+c*(L)+d$$

$$CEe = a*(pH)+b*(MO)+c$$

$$CEe = a*(pH)+b*(A)+c*(Ar)+d*(L)+e$$

$$CEe = a*(MO)+b*(A)+c*(Ar)+d*(L)+e$$

$$CEe = a*(pH)+b*(MO)+c*(A)+d*(Ar)+e*(L)+f$$

En donde a, b, c, d, e y f son constantes para cada ecuación determinadas por Excel.

La capacidad predictiva de las diferentes ecuaciones y de las variables se determinó usando el coeficiente de determinación (R^2) y Error cuadrático medio) (RMSE) entre los valores predichos y reales.

El coeficiente de determinación es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. El coeficiente de determinación, también llamado R^2 , refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar (Velez & Nieto, 2016), cuando hay varios datos de R^2 se usa el RMSE, que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, compara un valor predicho y un valor observado o conocido (Keshavarzi, Sarmadias & Pezeshki 2010).

Usando estos dos coeficientes se determine si la mejor ecuación es la ecuación general donde se aplica a toda la clase textural o las ecuaciones que se aplican por clases texturales.

5.2.5.2 Análisis de varianza (ANOVA) y Tukey

Una vez obtenido todos los datos de R^2 y RMSE de cada ecuación general o por clases texturales y de cada variable independiente, y se procedió a realizar el

análisis de varianza para ver si las ecuaciones tienen significancia estadística con un nivel de significancia de 0,05 y se realizó la prueba de tukey para saber cuál de las ecuaciones (general, fina, gruesa, media fina) y las variables independientes (CE1:5, pH1:5, textura y materia orgánica), eran mejores.

5.2.5.3 Determinación de las mejores ecuaciones de edafotransferencia

Con los modelos matemáticos de la ecuación de edafotransferencia que predijeron los resultados de Conductividad eléctrica en extracto de saturación y pH en pasta saturada, obteniendo coeficiente de determinación R^2 y el RMSE para cada ecuación con cuatro ecuaciones, uno por cada clase textural, las cuales tuvieron una mejor predicción de resultados.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Variaciones de pH bajo diferentes relaciones suelo: agua (1:1; 1:2,5; 1:5), en diferentes tiempos de agitación y reposo

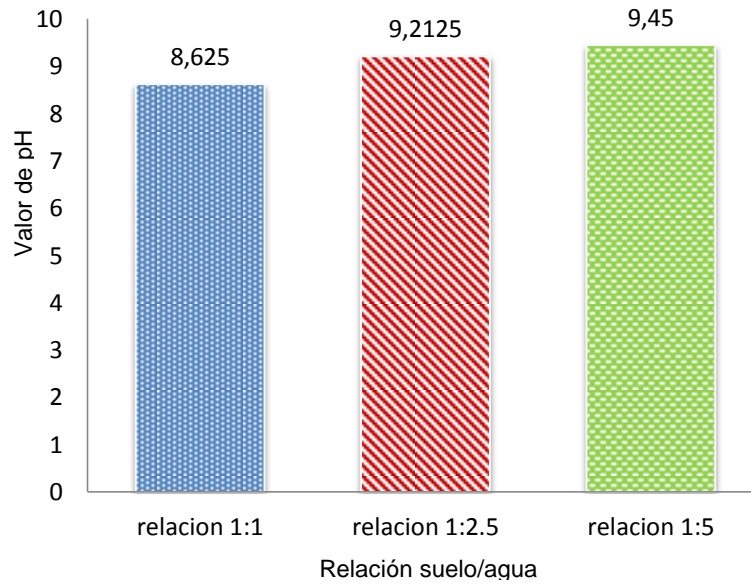
En la tabla 7, se puede observar los valores de pH en diferentes relaciones suelo/agua (1:1; 1:2,5 y 1:5), en tres tiempos de agitación (5min, 10min, 30min) y tres tiempos de reposo (10min, 30min, 60min).

Tabla 7. Datos de pH en diferentes relaciones suelo/agua.

Relación suelo/agua	T. Agitación	T. Reposo	Promedio
1:1 (20:20)	30min	60min.	8,6
		30 min.	8,7
		10 min.	8,6
	10 min.	60min.	8,5
		30 min.	8,6
		10 min.	8,6
	5min.	60min.	8,7
		30 min.	8,7
		10 min.	8,7
1:2,5 (20:50)	30min.	60min.	9,2
		30 min.	9,2
		10 min.	9,2
	10min.	60min.	9,1
		30 min.	9,3
		10 min.	9,3
	5min.	60min.	9,2
		30 min.	9,2
		10 min.	9,3
1:5 (20:100)	30min.	60min.	9,3
		30 min.	9,3
		10 min.	9,5
	10min.	60min.	9,6
		30min.	9,5
		10min.	9,4
	5min.	60min.	9,5
		30min.	9,5
		10min.	9,5

La figura 8, muestra la comparación entre las diferentes relaciones suelo/agua, 1:1; 1:2,5 y 1:5 en el cual, existe variaciones en cuanto a relación suelo/agua.

Figura 8. Comparación del pH entre las diferentes relaciones suelo/agua (1:1; 1:2,5; 1:5)

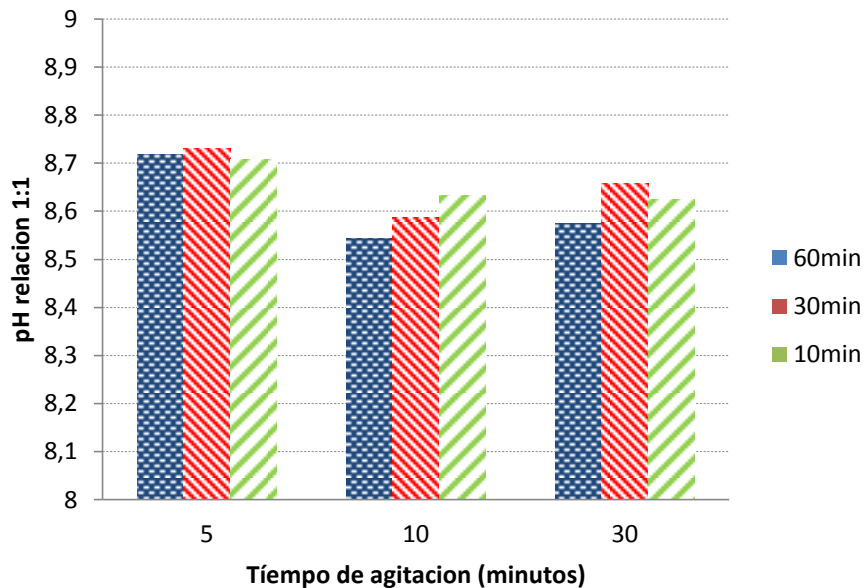


Se puede observar los valores de $pH_{1:1}$ se obtiene el valor de: 8,62. A diferencia del $pH_{1:2,5}$ se obtiene un pH de: 9,21, sin embargo. Al realizar la relación $pH_{1:5}$ se tiene un valor de: 9,45 en promedio. Se puede deducir que, en la medida en que aumenta la suspensión también aumenta el valor de pH, esto se debe al incremento de iones de OH, por la solubilidad de las sales, en la solución edáfica, al incrementar el solvente (Gutierrez y Caceres 2017).

Con el aumento de la relación suelo/solución fue el resultado de una disociación reducida de H^+ de la superficie del suelo y una menor hidrólisis del Al que puede estar presente. El pH de la suspensión del suelo es más sensible a las diferencias en la concentración de sal de la solución del suelo (Miller y Kissel, 2010).

Para la relación suelo-agua (1:1) se realizó pruebas en diferentes tiempos de agitación (5min, 10 min y 30 min) para ver si existe una relación con el tiempo de reposo como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Relación del $pH_{1:1}$ en tiempo de reposo Vs tiempo de agitación

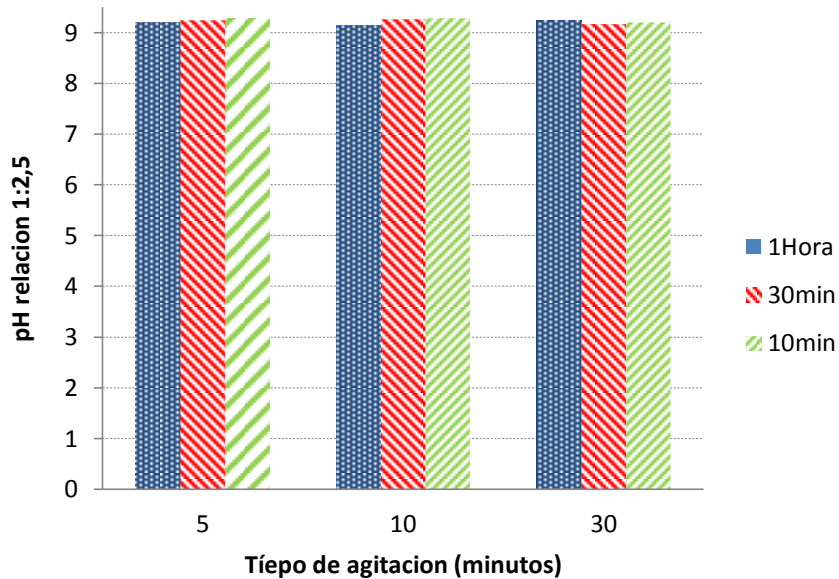


En la figura 15, para el $pH_{1:1}$ se puede observar los valores de pH al realizar diferentes tiempos de agitación y tiempos de reposo, donde al usar un tiempo de agitación de 5 minutos y dejar reposar a (60 minutos; 30 minutos y a 10 minutos se obtiene los valores de pH de: 8,7 en promedio). De manera contraria al agitar la muestra en un tiempo de 10 minutos se obtiene los valores de pH diferentes (8,5: 8,5 y 8,6) sin embargo al agitar la muestra durante 30 minutos se hallaron valores de pH (8,5; 8,6 y 8,6) respectivamente. Se puede ver que hay una tendencia de una disminución del valor del pH a medida que se aumenta el tiempo de agitación.

Para el tiempo de reposo existe una variación numérica pero no así una variación estadística, varios autores recomiendan realizar las lecturas después de 15 minutos o superiores para alcanzar un equilibrio en la reacción de la mezcla Eckert y Sims JT (2009).

Para el $pH_{1:2,5}$ se realizó pruebas en diferentes tiempos de agitación (5min, 10 min y 30 min) para ver si existe una relación con el tiempo de reposo (10min, 30min y 1h) como se muestra en la figura 10.

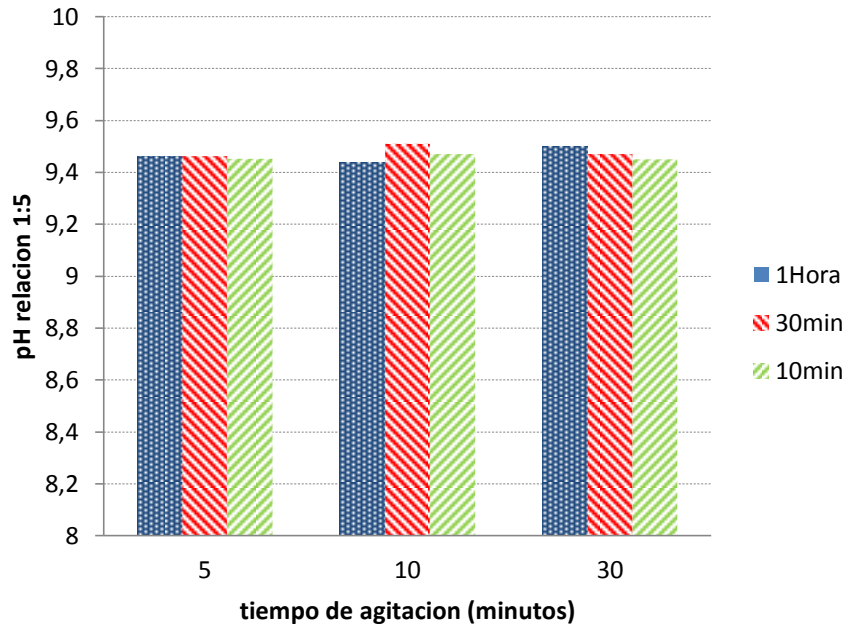
Figura 10. Relación del $pH_{1:2,5}$ tiempo de reposo Vs tiempo de agitación



En la figura 16, para el $pH_{1:2,5}$ se puede observar los valores de pH al realizar diferentes tiempos de agitación y tiempos de reposo, donde al usar un tiempo de agitación de 5 minutos y dejar reposar a (60 minutos; 30 minutos y a 10 minutos se obtiene los valores de pH de: 9,2 en promedio). De manera contraria al agitar la muestra en un tiempo de 10 minutos se obtiene los valores de pH diferentes (9,1; 9,2 y 9,2) sin embargo al agitar la muestra durante 30 minutos se hallaron valores de pH (9,2; 9,1 y 9,1) respectivamente.

Para la relación suelo-agua (1:5) se realizó pruebas en diferentes tiempos de agitación para ver si existe variación como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Relación del $pH_{1:5}$ tiempo de reposo Vs tiempo de agitación



En la figura 11, para el valor de $pH_{1:5}$ diferentes tiempos de agitación y tiempos de reposo, donde al usar un tiempo de agitación de 5 minutos y dejar reposar a (60 minutos; 30 minutos y a 10 minutos se obtiene los valores de pH de: 9,4 en promedio). De manera contraria al agitar la muestra en un tiempo de 10 minutos se obtiene los valores de pH diferentes (9,4; 9,5 y 9,4) sin embargo al agitar la muestra durante 30 minutos se hallaron valores de pH (9,5; 9,4 y 9,4) respectivamente.

Los métodos que proporcionan valores de pH 1:1 y pH 1:5 están correlacionados linealmente con la metodología con un alto coeficiente de correlación como lo menciona (kargas y Chatzigiakoumis, 2018).

Las ventajas de los extractos de agua del suelo son que requieren menos mano de obra, más rápido y pueden ser útiles cuando los objetivos son evaluar los cambios relativos en lugar y el contenido de solutos (McKenzie et al., 1983).

6.2 Variaciones de la Conductividad Eléctrica (CE) bajo diferentes relaciones suelo: agua (1:2,5; 1:5), en diferentes tiempos de agitación y tiempo de reposo.

En la tabla 8, se puede observar los valores de CE en diferentes relaciones suelo-agua (1:2,5; 1:5), en tiempos de agitación de (5min, 10min y 30min) y de la misma forma en diferentes tiempos de reposo (10min, 30min, 1h).

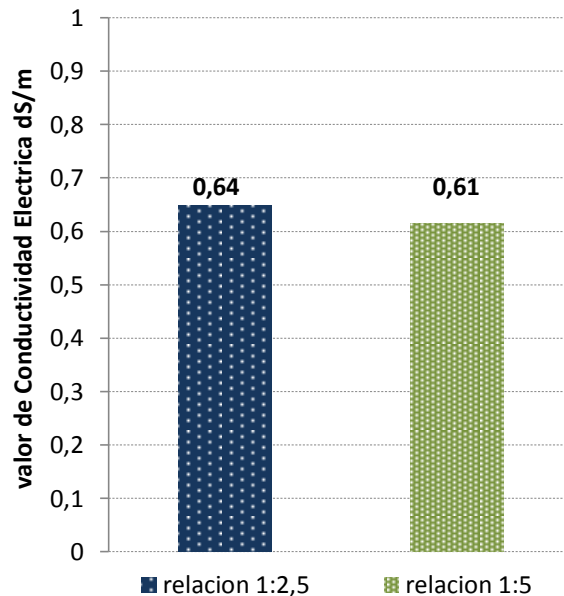
Tabla 8. Conductividad Eléctrica en diferentes relaciones, tiempo de reposo y agitación.

Relación	T. Agitación	T. Reposo	Promedio (dS/m)
1:2,5 (20:50)	5 min.	10 min.	0,64
		30 min.	0,66
		1 h.	0,68
	10 min.	10 min.	0,68
		30 min.	0,67
		1 h.	0,56
	30 min.	10 min.	0,75
		30 min.	0,67
		1 h.	0,55
1:5 (20:100)	5 min.	10 min.	0,59
		30 min.	0,59
		1 h.	0,61
	10 min.	10 min.	0,63
		30 min.	0,63
		1 h.	0,63
	30min.	10 min.	0,62
		30 min.	0,61
		1 h.	0,62

La tabla 8, muestra la comparación entre las diferentes relaciones suelo-agua, 1:2,5 y 1:5 en el cual, existe variaciones en cuanto a relación suelo-agua para la determinación de Conductividad Eléctrica (CE), pero para la relación 1:1 no es posible realizar la lectura.

Existen variaciones en cuanto a relación 1:2,5 y 1:5 al aumentar la relación la Conductividad Eléctrica disminuye como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Comparación de la CE en diferentes relaciones suelo/agua 1:2,5 y 1:5)



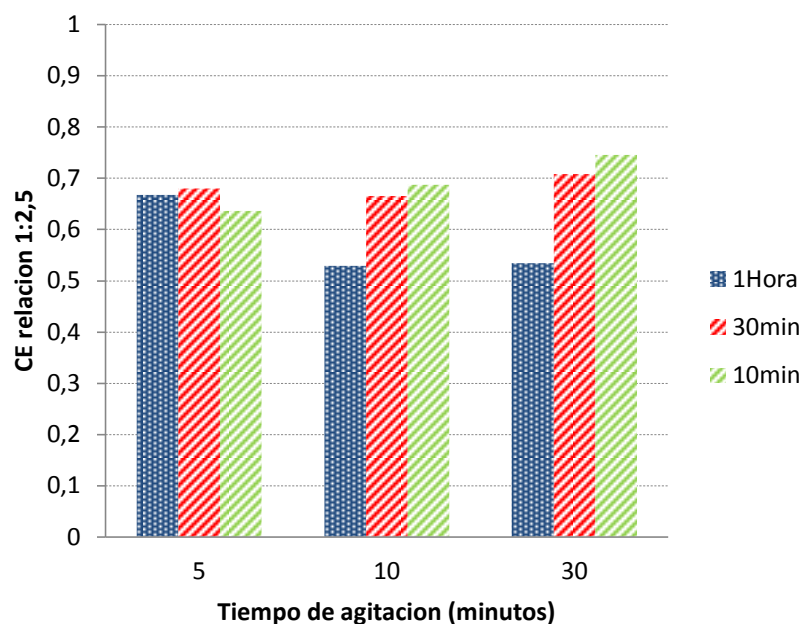
En la figura 12, se observa que a medida que disminuye la relación suelo-agua incrementa el valor de Conductividad Eléctrica, como se muestra la relación 1:2,5 que se obtiene valores en promedio de: 0,64 dS/m pero a medida que aumenta la relación suelo-agua el valor de la Conductividad Eléctrica disminuye tal es el caso de la relación 1:5, en el que se obtuvo un valor de: 0,61 dS/m en promedio.

Como lo menciona Lamb & Richards (1974), al incrementa la relación suelo-agua, disminuye el valor de la Conductividad Eléctrica, esto se debe a que existe una mayor dilución de las sales del suelo al ser la Conductividad Eléctrica la medida de concentración de sales en el suelo que se encuentran disueltas.

Según el USDA, (1954) y Rhoades, (1982) a medida que aumenta la relación/agua, la Conductividad Eléctrica disminuye debido al efecto de dilución.

La figura 13, muestra la relación 1:2,5 en diferentes tiempos de reposo y agitación para la determinar de la Conductividad Eléctrica y evaluar su variación.

Figura 13. Relación suelo/agua (1:2,5) para la CE en tiempo de reposo Vs tiempo de agitación

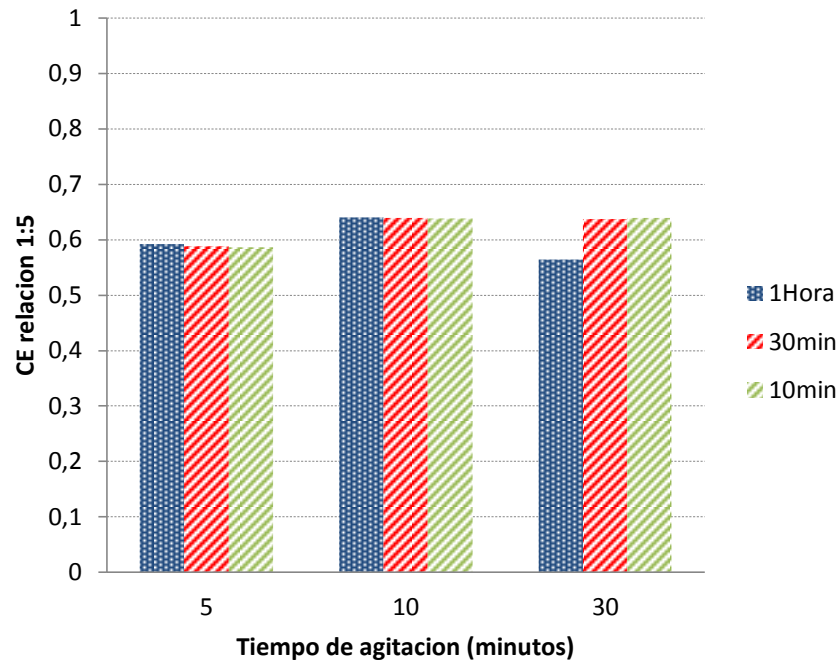


En la figura 13, se puede observar los valores de CE al realizar diferentes tiempos de agitación y tiempos de reposo, donde al usar un tiempo de agitación de 5 minutos y dejar reposar a (60 minutos; 30 minutos y a 10 minutos se obtiene los valores de CE de: (0,66; 0,67; 0,63) dS/m, de tal manera al agitar la muestra en un tiempo de 10 minutos se obtiene los valores de CE diferentes (0,52; 0,66 y 0,68) dS/m, sin embargo al agitar la muestra durante 30 minutos se hallaron valores de CE (0,53; 0,70 y 0,74) dS/m, respectivamente.

Según Gutiérrez y Cáceres., (2017), es recomendable usar la relación 1:2,5 solamente sobre la base de estudios de correlación regional en virtud de las variaciones tan amplias que se observan.

La figura 14, muestra la relación 1:5 en diferentes tiempos de reposo (10min, 30min y 1h) y para el tiempo de agitación (5min, 10min y 30min) agitación para la determinar de la Conductividad Eléctrica.

Figura 14. Relación de la $CE_{1:5}$ en tiempo de reposo Vs tiempo de agitación



En la figura 14, se puede observar los valores de CE al realizar diferentes tiempos de agitación y tiempos de reposo, donde al usar un tiempo de agitación de 5 minutos y dejar reposar a (60 minutos; 30 minutos y a 10 minutos se obtiene los valores de CE (0,59; 0,58 y 0,58) dS/m. De manera contraria al agitar la muestra en un tiempo de 10 minutos se obtiene los valores de CE diferentes (0,64; 0,63 y 0,63) dS/m, sin embargo, al agitar la muestra durante 30 minutos se hallaron valores de CE (0,56; 0,63 y 0,63) dS/m respectivamente.

Según Richards & United (1958), las diferentes relaciones de suelo: agua son utilizadas para la determinación de la CE de una muestra de suelo, de forma rápida y eficiente (por ejemplo 1:1, 1:2 y 1:5) sin embargo, la seguridad de las determinaciones depende del suelo y de las sales presentes en el suelo.

De acuerdo a Chi y Wang (2010), entre las proporciones diluidas mencionado anteriormente, la relación 1:5 es el método preferido para determinar las propiedades del suelo, la proporción 1:5 disuelve mayores cantidades de solutos, especialmente para sales poco solubles de relación suelo/agua 1:5 es

comparativamente fácil y repetible, el proceso de equilibrio suelo-solución ha variado desde la agitación mecánica hasta la agitación.

6.3. Determinación de pH en pasta saturada y Conductividad Eléctrica en extracto de saturación.

En la fotografía 28, se muestra las variables dependientes (pHp y CEE) que se determinaron en laboratorio, de la misma manera variables independientes como, (pH 1:5, CE 1.5), textura (%A, %L, %Ar), para el caso del pH en pasta saturada (pHp) es muy bajo en comparación al pH (1:5), debido a que el pH en pasta saturada usa menos cantidad de agua para obtener la pasta.

6.3.1 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia en pasta saturada

En la tabla 9, se muestran todas las ecuaciones obtenidas por el método de validación cruzada pertenecientes a los diferentes municipios de La Paz, donde se obtuvo ecuaciones para cada una de las cuatro clases texturales con su respectivo R^2 , siendo: CT la clase textural, E el número de ecuaciones y N es el número de muestras por cada clase textural.

Tabla 9. Ecuaciones de edafotransferencia para pHp según la clase textura

CT	E	ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA pH EN PASTA	R ²	N
Textura general	1	$pHp = -0,3885 + 0,9840 * pH_{1:5}$	0,93	100
	2	$pHp = 5,8402 - 0,0077 * \%MO$	0,02	100
	3	$pHp = 2,8698 + 0,0454 * \%A + 0,0367 * \%L$	0,18	100
	4	$pHp = -0,3808 + 0,9837 * pH_{1:5} - 0,0010 * \%MO$	0,93	100
	5	$pHp = -0,3398 + 0,9652 * pH_{1:5} + 0,0033 * \%A - 0,0013 * \%L$	0,93	100
	6	$pHp = 2,8604 - 0,0192 * \%MO + 0,0472 * \%A + 0,0382 * \%L$	0,19	100
	7	$pHp = -0,3350 + 0,9633 * pH_{1:5} - 0,0025 * \%MO + 0,036 * \%A - 0,0010 * \%L$	0,93	100
t. media gruesa	1	$pHp = 0,3846 + 0,8768 * pH_{1:5}$	0,79	11
	2	$pHp = 5,4625 + 0,2271 * \%MO$	0,13	11
	3	$pHp = 1,8707 + 0,0653 * \%A - 0,0186 * \%Ar$	0,25	11
	4	$pHp = 0,4254 + 0,8657 * pH_{1:5} + 0,0185 * \%MO$	0,79	11
	5	$pHp = -1,1270 + 0,8246 * pH_{1:5} + 0,0218 * \%A + 0,0277 * \%Ar$	0,81	11
	6	$pHp = 2,6162 + 0,2154 * \%MO + 0,0571 * \%A - 0,0535 * \%Ar$	0,36	11
	7	$pHp = -1,0219 + 0,8122 * pH_{1:5} + 0,0173 * \%MO + 0,0218 * \%A + 0,0242 * \%Ar$	0,81	11
t. media	1	$pHp = -0,4765 + 0,9973 * pH_{1:5}$	0,90	31
	2	$pHp = 6,2167 - 0,0122 * \%MO$	0,01	31
	3	$pHp = 4,3068 + 0,0440 * \%A - 0,0016 * \%Ar$	0,26	31
	4	$pHp = -0,4287 + 0,9937 * pH_{1:5} - 0,0028 * \%MO$	0,90	31
	5	$pHp = -1,1138 + 0,9510 * pH_{1:5} + 0,0125 * \%A + 0,0190 * \%Ar$	0,91	31
	6	$pHp = 4,5676 - 0,0243 * \%MO + 0,0474 * \%A - 0,0108 * \%Ar$	0,33	31
	7	$pHp = -0,9506 + 0,9330 * pH_{1:5} - 0,0056 * \%MO + 0,0139 * \%A + 0,0165 * \%Ar$	0,92	31
t. media fina	1	$pHp = -0,2023 + 0,9621 * pH_{1:5}$	0,94	42
	2	$pHp = 6,3550 - 0,0802 * \%MO$	0,04	42
	3	$pHp = 5,9799 + 0,0117 * \%A - 0,0121 * \%Ar$	0,04	42
	4	$pHp = -0,3997 + 0,9772 * pH_{1:5} + 0,0203 * \%MO$	0,94	42
	5	$pHp = -0,7175 + 0,9569 * pH_{1:5} + 0,0072 * \%A + 0,0084 * \%L$	0,94	42
	6	$pHp = 5,2811 - 0,1010 * \%MO + 0,0270 * \%A + 0,0086 * \%L$	0,11	42
	7	$pHp = -0,9150 + 0,9739 * pH_{1:5} + 0,0195 * \%MO + 0,0063 * \%A + 0,0090 * \%L$	0,94	42
t. fina	1	$pHp = -0,2641 + 0,9362 * pH_{1:5}$	0,96	16
	2	$pHp = 5,2483 - 0,1077 * \%MO$	0,07	16
	3	$pHp = 0,5138 + 0,0890 * \%A + 0,0706 * \%L$	0,31	16
	4	$pHp = -0,1428 + 0,9267 * pH_{1:5} - 0,0158 * \%MO$	0,96	16
	5	$pHp = 0,3606 + 1,0183 * pH_{1:5} - 0,0203 * \%A - 0,0186 * \%L$	0,97	16
	6	$pHp = 0,6633 - 0,1473 * \%MO + 0,0985 * \%A + 0,0794 * \%L$	0,45	16
	7	$pHp = 0,3576 + 1,0219 * pH_{1:5} + 0,0023 * \%MO - 0,0209 * \%A - 0,0191 * \%L$	0,97	16

Según la tabla 9, al obtener un coeficiente de determinación R^2 cercano a 1 como aquellas variables que involucran al (pH en disolución 1:5). Nos indica que tiene un mayor ajuste al modelo de la variable, y que existe una mayor correlación.

Pero al obtener un R^2 cercano a 0 como es el caso de la materia orgánica y la textura nos indica que las variables no se ajustan muy bien al modelo para las ecuaciones del pH en pasta saturada.

Según Litterick (2017), la textura y el contenido de materia orgánica afecta al pH para cada campo, pero al obtener un R^2 cercano a 0 nos indica que el porcentaje de materia orgánica solo actuara sobre el pH cuando este o no en descomposición, para poder cambiar el pH.

Según la USDA (s.f.) los suelos arcillosos con alto contenido de materia orgánica son más capaces de resistir una caída o aumento del pH que los suelos arenosos, pero estos van a depender según las precipitaciones y la temperatura, por tal motivo el % de materia orgánica y la textura no representaron un alto coeficiente de determinación.

6.3.2 Determinación de las mejores ecuaciones de edafotransferencia para pHp

La tabla 10, muestra los resultados obtenidos de R^2 y RMSE de todas las ecuaciones de edafotransferencia para pHp, ordenadas por cada variable independiente (N) y por clase textural.

Tabla 10. R^2 y RMSE de las ecuaciones de edafotransferencia para pHp.

N	General		media gruesa		textura media		media fina		Fina	
	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE
1	0,002	1,1424	0,132	1,0071	0,018	0,9362	0,018	1,1101	0,076	1,1274
2	0,184	1,035	0,251	1,0455	0,267	0,8218	0,267	1,1278	0,318	1,0083
3	0,196	1,8356	0,364	1,1126	0,334	0,7959	0,334	1,0996	0,458	0,9387
4	0,935	0,2894	0,795	0,4885	0,908	0,286	0,908	0,2712	0,962	0,2281
5	0,935	0,2908	0,796	0,5452	0,909	0,2889	0,909	0,2678	0,963	0,2324
6	0,938	0,2855	0,815	0,6001	0,919	0,2763	0,919	0,2743	0,972	0,2114
7	0,939	0,2865	0,815	0,7338	0,923	0,2749	0,923	0,272	0,972	0,2216

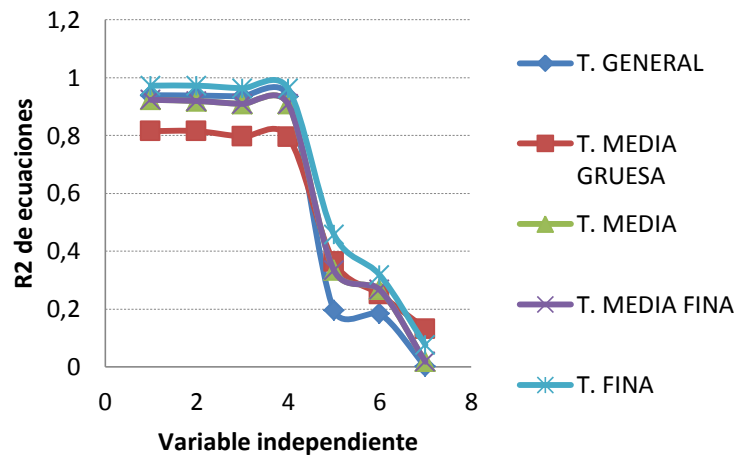
En la cual 1 es la M.O, 2 textura, 3 es % MO+ textura, 5 es pH+ %MO, 6 es pH+ textura, 7 es pH+ %MO+ textura y pH (1:5)

Para la determinar las mejores ecuaciones que mejor se ajusten a los valores de pHp determinado en el laboratorio, se consideraron a aquellas que tuvieron un R^2 cercano a 1 como las mejores ecuaciones.

Al tener varios R^2 similares en ecuaciones diferentes, como sugiere Keshavarzi et al., (2010), se usó el RMSE cercano a 0 para hallar las ecuaciones que mejor se ajustan al valor real obtenido en el laboratorio.

La figura 15 y 16 muestra la curva de R^2 y RMSE donde se puede visualizar que cada línea está muy cercana, representando así que las ecuaciones son muy similares.

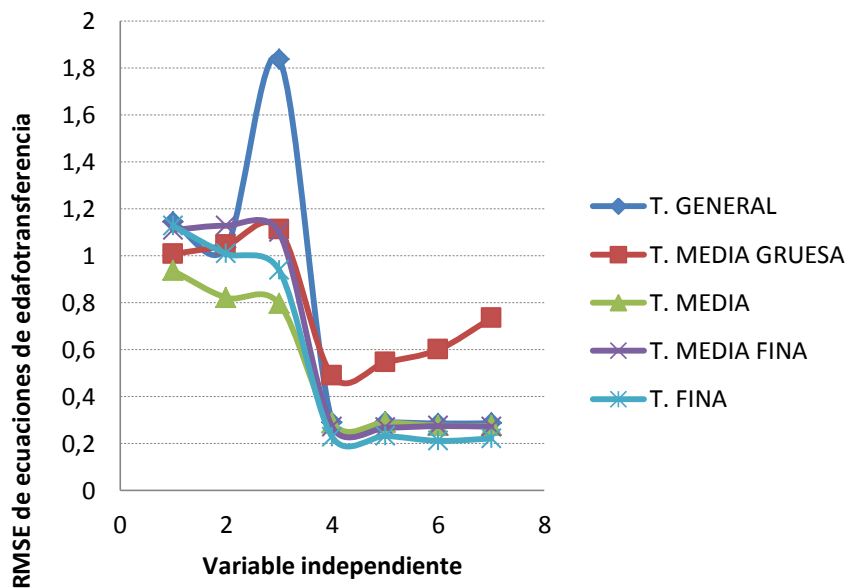
Figura 15. Curvas de R^2 de pHp de cada ecuación de edafotransferencia



En donde para las variables independientes 1 es % de MO, 2 es textura, 3 es % de MO+ Textura, 4 es pH, 5 es pH+%MO, 6 es pH+ textura y 7 es pH+ %MO+ textura. pH en disolución 1:5.

En donde la textura general se obtuvo un R^2 de: 0,84, para la textura media gruesa fue de: 0,93, y para la textura media y media fina se obtuvo un R^2 de 0,87 y para la textura fina fue de: 0,92.

Figura 16. Curva de RMSE de pHp de cada ecuación de edafotransferencia



Para las ecuaciones de RMSE se obtuvieron los siguientes datos donde la textura general obtuvo un R^2 de: 0,58, para la textura media gruesa fue de: 0,43, y para la textura media: 0,81, de la misma forma para la textura media fina se obtuvo un R^2 de 0,75 y para la textura fina fue de: 0,80.

Como se observan en las gráficas tanto para el R^2 como el RMSE para las ecuaciones por clases texturales y la ecuación general son similares a la hora de representar la predicción de los valores, lo que se confirma con los resultados obtenidos por (Jagtap, Jones, & Gijnsman, 2004).

La tabla 11, muestra el análisis de varianza (ANOVA) de R^2 y RMSE con un nivel de significancia de 0,05 con su respectiva significancia como se muestra:

Tabla 11. ANOVA de las ecuaciones de edafotransferencia para pHp

Análisis de varianza (ANOVA)	Significancia
R^2	0,98 NS
RMSE	0,75 NS

La tabla 11, muestra una significancia para R^2 de 0,98 y para RMSE de 0,75 que según Fallas (2012), en ambos casos son mayores al nivel de significancia de 0.05, es decir que no hay diferencia significativa en las ecuaciones obtenidas para pHp.

La tabla 12, muestra la prueba de Tukey para R^2 y RMSE donde se observa que todas las ecuaciones han sido ubicadas en un mismo subconjunto lo que se corrobora con el ANOVA.

Tabla 12. Tukey de R^2 y RMSE para las ecuaciones de edafotransferencia para pHp

R2					RMSE				
Textura	Medias	n	E.E.		Textura	Medias	n	E.E.	
Fina	0,67	7	0,15	A	Gruesa	0,79	7	0,16	A
Media	0,61	7	0,15	A	General	0,74	7	0,16	A
General	0,59	7	0,15	A	media fina	0,63	7	0,16	A
media fina	0,57	7	0,15	A	Fina	0,57	7	0,16	A
media gruesa	0,57	7	0,15	A	Media	0,53	7	0,16	A

6.3.3 Determinación de las variables independientes para pHp

La tabla 13, muestra el análisis de varianza (ANOVA) para las variables

Independientes que influyen en pHp con un nivel de significancia de 0,05.

Tabla 13. ANOVA de R^2 y RMSE de las variables independientes para pHp

Análisis de varianza (ANOVA)	Significancia
R^2	<0,0001
RMSE	<0,0001

La tabla 13, muestra una significancia de <0,0001 tanto para R^2 como para RMSE que es menor al nivel de significancia de 0,05, es decir que hay diferencia significativa entre las variables independientes como lo afirma(Daza Portocarrero, 2006).

La tabla 14, muestra el análisis de Tukey de R^2 Y RMSE de cada variable independiente que influye en las ecuaciones de edafotransferencia.

Tabla 14. Análisis de Tukey de R^2 y RMSE de las variables independientes para pHp

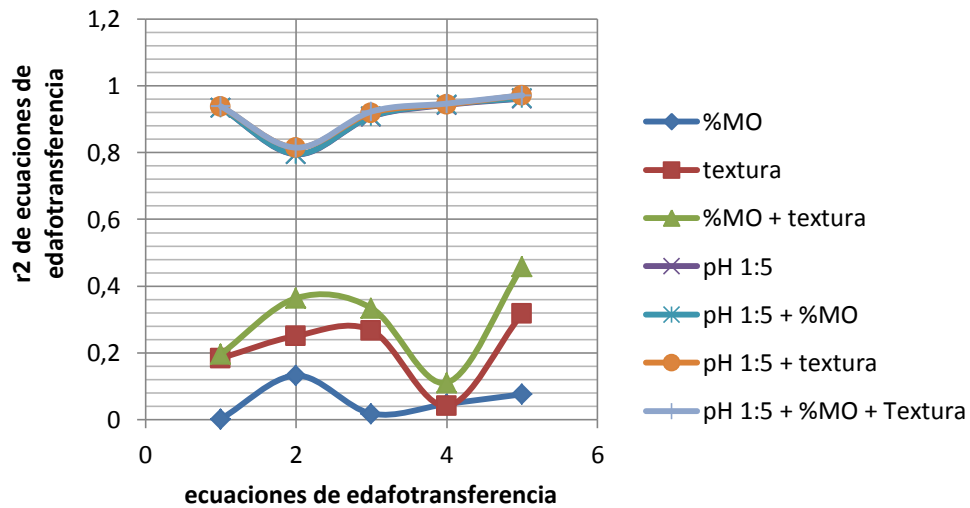
R^2			RMSE			
<i>Textura</i>	<i>Medias</i>	<i>E.E.</i>		<i>medias</i>	<i>E.E.</i>	
%MO	0,05	0,03 A	pH1:5+ %MO	1,06	0,113	A
Textura	0,26	0,03 B	pH1:5+textura	1,01	0,115	A
pH 1:5	0,34	0,03 B	pH1:5+ %MO + Textura	1,16	0,110	A
%MO + textura	0,34	0,03 B	Textura	1,16	0,113	B
pH 1:5 + %MO	0,9	0,03 C	%MO	0,33	0,118	B
pH 1:5 + textura	0,91	0,03 C	%MO+textura	0,33	0,117	B
pH 1:5 + %MO + Textura	0,91	0,03 C	pH 1:5	0,36	0,114	B

El análisis Tukey de las variables independientes de la tabla 14, muestran que tanto el contenido de materia orgánica y la textura no son suficientes para predecir el pHp como afirmaron (McCauley, Jones, & Olson Rutz, 2017), debido a que hay otros factores en el suelo y en el ambiente que influyen en el pH, como es el caso de las ecuaciones las que contienen un (pH a relación 1:5) para una mejor predicción como se puede apreciar en la Tabla 16, que presenta un R^2 cercano a 1 y un RMSE cercano a 0 para aquellas ecuaciones con un (pH 1:5).

Para el análisis de Tukey de RMSE se tiene tres ecuaciones del sub conjunto 1 en donde la primera tiene 2 variables (pH 1:5 + %MO), la segunda ecuación con 2 variables (pH 1:5 +%textura), la tercera ecuación con tres variables (pH1:5+ %MO + textura), lo cual nos indica que cualquiera de las tres ecuaciones con esas variables tienen una predicción muy cercana al valor real, pero basándonos en el RMSE, la tercera ecuación con tres variables sería la de mejor predicción para pHp, debido a que el RMSE es más bajo dentro del subconjunto como sugiere (Keshavarzi et al, 2010), a la hora realizar la elección del RMSE.

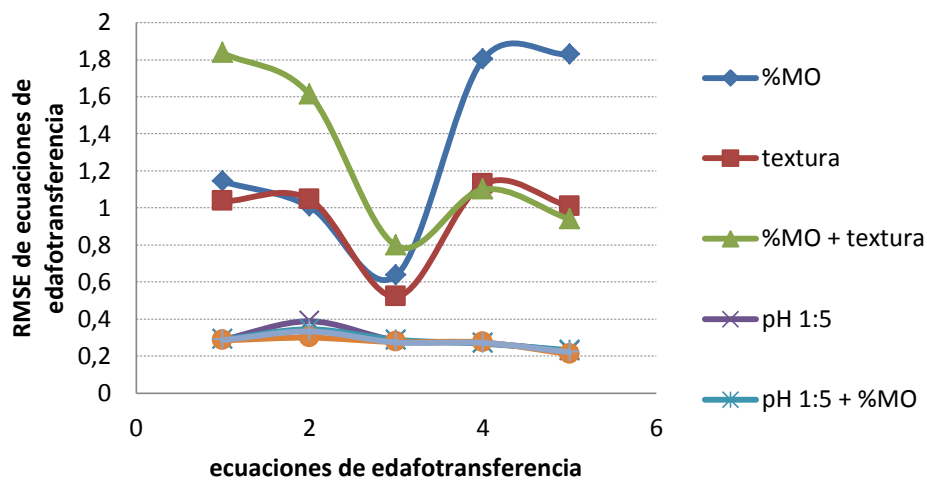
La figura 17 y 18 muestran las curvas de R^2 y RMSE donde se puede apreciar que cada línea está separada, representando así que las ecuaciones no son similares.

Figura 17. Curva de R^2 para las variables independientes para pHp.



En la figura 17, se puede observar que para el R^2 los valores de materia orgánica y textura tuvieron un valor de: 0,0023 en promedio, para el caso de aquellas ecuaciones que tienen variables de pH el valor de R^2 fue de: 0,25 en promedio.

Figura 18. Curva de RMSE para las variables independientes para pHp.



En la figura 18 se puede observar que para las ecuaciones que presentan variables como textura fue de: 0,0016 y (%MO+ textura) se obtuvo un valor de: 0,51 y para él %MO se obtuvo un R^2 de: 0,02 y para el resto de las ecuaciones que tienen variables de pH el valor de RMSE se encuentra en un rango de: 0,19 a 0,28.

Tanto para el R^2 y RMSE las ecuaciones de cada variable independiente no son similares al momento de presentar las predicciones de los valores.

6.3.4 Ecuaciones finales para la determinación de pH en pasta de saturación

La tabla 15, muestra las ecuaciones de edafotransferencia se ajustaron a los resultados de pHp en donde se tiene las ecuaciones por clase textural.

Tabla 15. Ecuaciones finales de edafotransferencia para pHp

E	Ecuaciones de edafotransferencia para pH en pasta saturada	R2	RMSE	N
1	$pHp = -0,3350 + 0,9633 * pH_{1:5} - 0,0025 * \%MO + 0,036 * \%A - 0,0010 * \%L$	0,939	0,2865	100
2	$pHp = -1,0219 + 0,8122 * pH_{1:5} + 0,0173 * \%MO + 0,0218 * \%A + 0,0242 * \%Ar$	0,815	0,7338	11
3	$pHp = -0,9506 + 0,9330 * pH - 0,0056 * \%MO + 0,0139 * \%A + 0,0165 * \%Ar$	0,923	0,2749	33
4	$pHp = -0,9150 + 0,9739 * pH_{1:5} + 0,0195 * \%MO + 0,0063 * \%A + 0,0090 * \%L$	0,923	0,272	42
5	$pHp = 0,3576 + 1,0219 * pH_{1:5} + 0,0023 * \%MO - 0,0209 * \%A - 0,0191 * \%L$	0,972	0,2216	15

La tabla 15, se muestra todas las ecuaciones, donde: 1 es textura general, 2 es media gruesa, 3 es media, 4 es media fina, 5 es fina.

Según Jastap et al., (2004), el RMSE de las ecuaciones finales son los mejores resultados que se obtienen, debido a que presentan menos error en la predicción de datos. Pero si se tiene una gran cantidad de datos a convertir se puede usar la ecuación general.

6.4 Determinación de las ecuaciones de edafotransferencia a partir de la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe)

La tabla 16, muestra todas las ecuaciones de edafotransferencia para la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe) obtenidas por el método de validación para muestras pertenecientes a los diferentes municipios de La Paz.

Tabla 16. Ecuaciones de edafotransferencia para CEe según la clase textural

CT	E	ECUACIONES DE EDAFOTRANSERENCIA PARA CEe	R ²	N
Textura general	1	CEe= -103,0327+484,4686*%CE _{1:5}	0,26	100
	2	CEe=115,2042-4,1353*%MO	0,01	100
	3	CEe= -17863,302+181,8803*%A+180,9711*%L+174,9253*%Ar	0,01	100
	4	CEe=-75,7930+485,1760*%pH-4,8878*%MO	0,26	100
	5	CEe=6738,5714+496,4743*%CE _{1:5} -69,8317*%A-66,7715*%L-68,9436*%Ar	0,26	100
	6	CEe=-20556,024-5,9877*%MO+209,3434*%A+208,3377*%L+201,8230*%Ar	0,05	100
	7	CEe=4666,758+495,106*%CE _{1:5} -4,457*%MO-48,693*%A-45,715*%L-48,247*%Ar	0,26	100
media gruesa	1	CEe=0,4401+4,3455*CE _{1:5}	0,65	11
	2	CEe=1,1128+0,2730*%MO	0,09	11
	3	CEe=54,1551-0,5746*%A-0,7747*%L	0,29	11
	4	CEe=0,1729+4,2040*CE _{1:5} +0,0809*%MO	0,66	11
	5	CEe=16,0520+3,8838*CE _{1:5} -0,1671*%A-0,2402*%L	0,67	11
	6	CEe=58,8712-0,0509*%MO-0,6286*%A-0,8297*%L	0,29	11
	7	CEe=12,9285+3,8982*CE _{1:5} +0,0322*%MO-0,1315*%A-0,2034*%L	0,67	11
media	1	CEe=-104,5182+546,7058*CE _{1:5}	0,07	31
	2	CEe=241,7136-6,0898*%MO	0,004	31
	3	CEe=-2082,0697+27,6099*%A+30,8762*%L	0,006	31
	4	CEe=-55,3098+545,8752*CE _{1:5} -5,9075*%MO	0,08	31
	5	CEe=-222,0490+561,7854*CE _{1:5} -1,2065*%A+4,1164*%L	0,08	31
	6	CEe=1041,8375-8,0005*%MO-1,2564*%A-331276*%Ar	0,01	31
	7	CEe=230,3285+550,5838*CE _{1:5} -5,3938*%MO-3,9269*%A-6,1678*%Ar	0,08	31
media fina	1	CEe=-144,9086+530,8515*CE _{1:5}	0,84	42
	2	CEe=197,1777-24,3278*%MO	0,02	42
	3	CEe=-275,8766+11,3227*%A+0,1342*%Ar	0,08	42
	4	CEe=-131,1954+529,5618*CE _{1:5} -2,7651*%MO	0,85	42
	5	CEe=-6,2360+539,2788*CE _{1:5} -2,4778*%A-2,1107*%Ar	0,85	42
	6	CEe=-214,8854-37,1209*%MO+13,7573*%A+1,4268*%Ar	0,12	42
	7	CEe=-5,2780+538,6246*CE _{1:5} -0,7821*%MO-2,4098*%A-2,0807*%Ar	0,85	42
fina	1	CEe=0,0051+5,4040*CE _{1:5}	0,82	16
	2	CEe=0,5269-0,0131*%MO	0,004	16
	3	CEe=-48,7805+0,4976*%A+0,4984*%L+0,4855*%Ar	0,01	16
	4	CEe=0,0336+5,3990*CE _{1:5} -0,0065*%MO	0,82	16
	5	CEe=7,9376+5,4713*CE _{1:5} -0,0798*%A-0,0824*%L-0,0765*%Ar	0,82	16
	6	CEe=-57,5328-0,0220*%MO+0,5868*%A+0,5875*%L+0,5732*%Ar	0,02	16
	7	CEe=5,6562-5,4611*%CE _{1:5} -0,0054*%MO-0,0566*%A-0,0566*%L+0,0536*%Ar	0,82	16

donde: CT es la clase textural, A es arena, L es limo, Ar es arcilla y N es el número de muestras.

Como se observa en la tabla 16, aquellas ecuaciones en la que interviene la Conductividad Eléctrica (CE) en disoluciones 1:5 tienen un coeficiente de determinación R^2 cercano a 1, pero mucho depende al tipo de textura.

Pero al obtener un R^2 cercano a 0 como es el caso de la materia orgánica y la textura nos indica que las variables no se ajustan muy bien al modelo para las ecuaciones de Conductividad Eléctrica (CE).

Como afirmaron Corwin y Lesch citado por Heil & Schmidhalter., (2012), aquellas variables que se correlacionan de manera inconsistente con la CE, se deben a la interacción compleja de las propiedades del suelo, obteniendo así un R^2 cercano a cero.

Al haber esa correlación baja de la Conductividad Eléctrica con la textura y materia orgánica como señala Grisso, Halley & Holshouser (2009), no hay una dependencia exclusiva de la (CE) a la textura y materia orgánica ya que pueden influir otros factores de suelo como la CIC, topografía, temperatura, profundidad, entre otros, es por eso que se obtuvo un R^2 cercano a cero.

6.4.1 Determinación de las mejores ecuaciones de edafotransferencia para CEE

La tabla 17, muestra los resultados obtenidos de R^2 y RMSE de todas las ecuaciones de edafotransferencia para CEE ordenadas por cada variable independiente (N) y por clase textural.

Tabla 17. R^2 y RMSE de ecuaciones de edafotransferencia para CEE

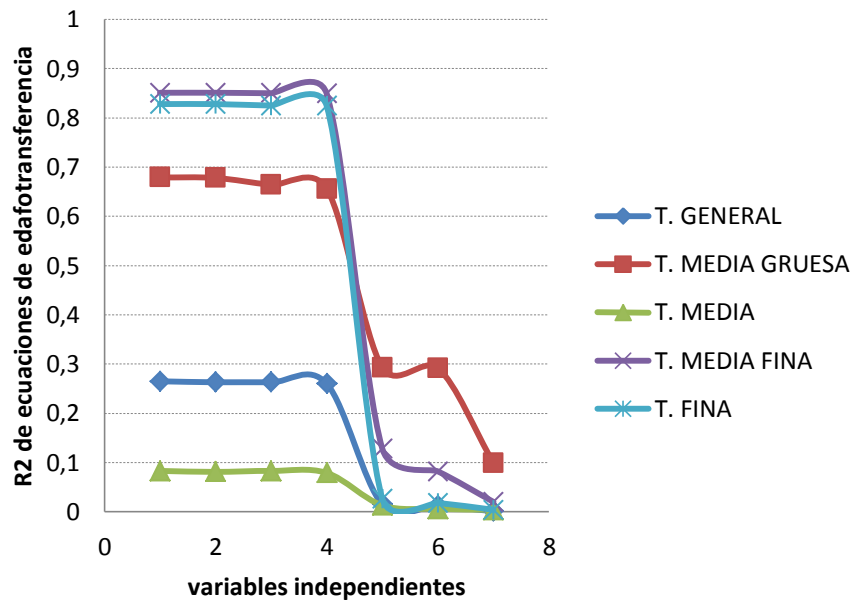
N	textura general		media gruesa		textura media		media fina		textura fina	
	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE
1	0,26	658,78	0,099	2,2364	0,004	1052,2	0,02	517,72	0,824	0,703
2	0,001	662,036	0,292	3,0421	0,006	1070	0,082	507,32	0,004	0,753
3	0,012	664,29	0,293	3,249	0,013	106,81	0,128	501,13	0,018	0,783
4	0,263	566,954	0,656	1,9977	0,079	1011,8	0,849	202,69	0,825	0,294
5	0,263	568,915	0,664	2,094	0,083	1028,2	0,85	205,09	0,828	0,305
6	0,015	574,807	0,678	2,1925	0,081	1049	0,851	206,76	0,026	0,329
7	0,265	577,07	0,679	2,3661	0,083	1068,1	0,851	209,52	0,828	0,344

La tabla 17, se muestra las ecuaciones, siendo N las diferentes interacciones entre variables donde: 1 es %MO, 2 es textura, 3 es %MO+ textura, 4 es $CE_{1:5}$, 5 es $CE_{1:5} + \% MO$, 6 es $CE_{1:5} + \text{textura}$, 7 es $CE_{1:5} + \%MO + \text{textura}$ y $CE_{1:5}$

Para determinar las ecuaciones que mejor se ajusten a los valores de CEE se consideraron aquellos que tuvieron un R^2 cercano a 1 como las mejores ecuaciones como sugiere Velez & Nieto (2016). Como se observa en la Tabla 19, también se tiene varios R^2 similares en cada ecuación, por lo que según (Keshavarzi et al., 2010), se usó el RMSE cercano a 0 para hallar las ecuaciones con mejor capacidad predictiva.

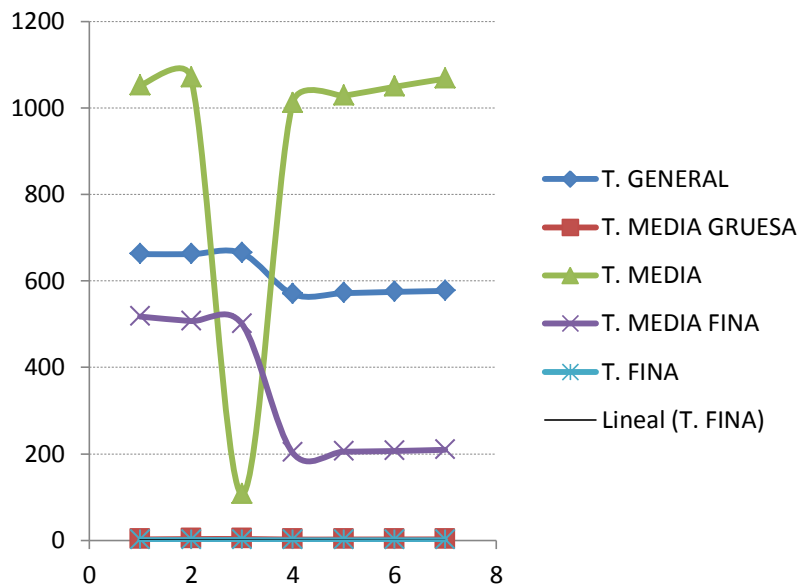
La figura 19, muestra la curva de R^2 y la Figura 20, las de RMSE en el que se puede apreciar que las líneas están separadas, representando así las ecuaciones.

Figura 19. Curva de R^2 para las ecuaciones de edafotransferencia de CEe.



Como se observa en la gráfica 19, para el R^2 para las ecuaciones por clase textural y la ecuación general no son similares a la hora de presentar las predicciones de los valores. Para la textura general, media gruesa y media fina se obtuvo un R^2 de: 0,91, para textura media y fina se obtuvo un R^2 de: 0,87.

Figura 20. Curva de RMSE para las ecuaciones de edafotransferencia de CEe.



Como se muestra en la figura 20, para la ecuación general y las ecuaciones por clase textural el RMSE no son similares para ambos a la hora de representar la predicción.

Para la textura general presenta un R^2 de 0,70; textura media de 0,67; textura media: 0,04; textura media fina un valor de 0,75 y para la textura fina se obtiene un coeficiente de determinación de 0,67.

La tabla 18, muestra el análisis de varianza (ANOVA) de R^2 y RMSE con su respectiva significancia realizado para ver si entre las ecuaciones obtenidas hay diferencia significativa o no como sugiere (Daza, 2006).

Tabla 18- ANOVA de R^2 y RMSE de las ecuaciones para CEe

Análisis de varianza (ANOVA)	Significancia
R^2	0.013
RMSE	<0,0001

La tabla 18, nos muestra que el coeficiente de determinación R^2 presenta una significancia de 0,013 y para RMSE una significancia de < 0,0001 siendo estos valores menores al nivel de significancia que es 0,05, según Daza, (2006), se establece que hay diferencia significativa entre las ecuaciones.

La tabla 19, muestra el análisis de Tukey de R^2 y RMSE de cada ecuación de edafotransferencia para CEe en donde se muestra las ecuaciones por clase textural.

Tabla 19. Tukey de R^2 y RMSE para las ecuaciones de edafotransferencia para CEe

R2					RMSE				
Textura	Medias	N	E.E.		Textura	Medias	n	E.E.	
Fina	0,48	7	0,11	A	Media	912,31	7	66,57	A
Media	0,05	7	0,11	A B	General	610,41	7	66,57	B
General	0,15	7	0,11	A B	media fina	335,75	7	66,57	C
media fina	0,52	7	0,11	A B	Fina	0,5	7	66,57	D
media gruesa	0,48	7	0,11	A B	Media gruesa	2,45	7	66,57	D

La tabla 19, para R^2 muestra que las ecuaciones han sido divididas en dos subconjuntos, pero al no tener un R^2 cercano a 1 estas ecuaciones no se ajustan al modelo para obtener el valor de CEe, y para el RMSE no han sido ubicadas en un mismo subconjunto, lo que se corrobora con (Grisso et al. 2009), que sugiere que las ecuaciones que intenten predecir un valor usando las diferentes variables, estas tienen diferencia significativa.

6.4.2 Determinación de las variables independientes para CEe

La tabla 20, muestra el análisis de varianza (ANOVA) del R^2 y el RMSE para las variables independientes.

Tabla 20. ANOVA de R^2 y RMSE de las variables independientes para CEe.

Análisis de varianza (ANOVA)	Significancia
R^2	0,058 NS
RMSE	0,965 NS

La tabla 20, muestra para R^2 una significancia muy baja de 0,058 y para el RMSE tiene una significancia de 0,965, que es mayor al nivel de significancia de 0,05, es decir que no hay diferencia significativa entre las variables independientes como

afirma (Barbosa & Overstreet, s. f.), estas se ajustan a las ecuaciones para obtener CEe.

La tabla 21, muestra la prueba de Tukey de R^2 y RMSE para las variables independientes realizadas para corroborar mejor estos resultados como sugiere Daza (2006) y ver cuál de las ecuaciones se ajusta mejor a los resultados de CEe.

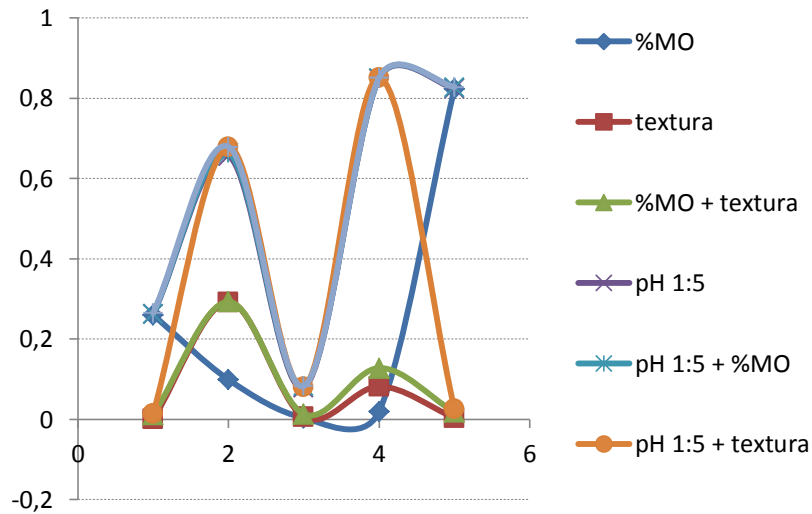
Tabla 21. Análisis de Tukey de R^2 y RMSE de las variables independientes para CEe

<i>Textura</i>	R^2		RMSE		
	<i>Medias</i>	<i>E.E.</i>	<i>medias</i>	<i>Sub conjunto</i>	
%MO	0,24	0,14 A	446,33	190,99	A
Textura	0,08	0,14 A	448,64	190,99	A
pH 1:5	0,08	0,14 A	356,75	190,99	A
%MO + textura	0,0,7	0,14 A	176,39	190,99	A
pH 1:5 + %MO	0,54	0,14 A	360,92	190,99	A
pH 1:5 + textura	0,33	0,14 A	366,62	190,99	A
pH 1:5 + %MO + Textura	0,54	0,14 A	371,48	190,99	A

La tabla 21, muestra que todas las ecuaciones han sido ubicadas en un mismo subconjunto lo que se corrobora con el (ANOVA).

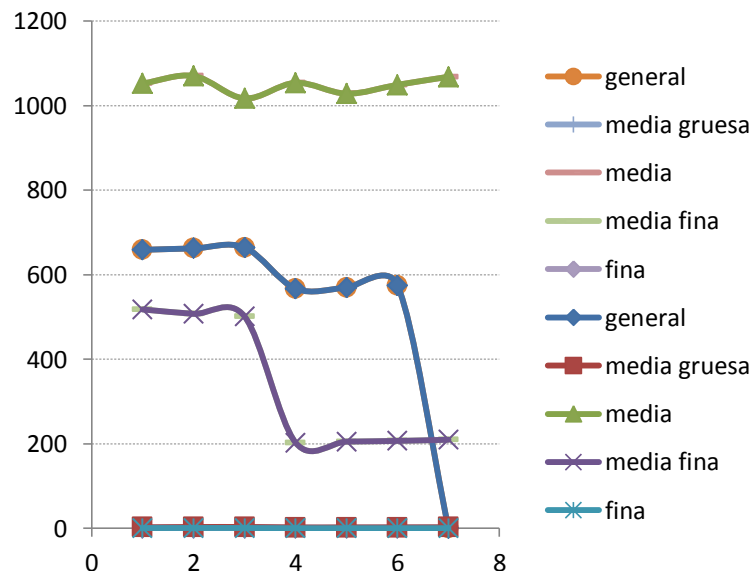
La figura 21, muestra la curva de R^2 y la Figura 22, las de RMSE se puede apreciar que las líneas están separadas, representando así las ecuaciones.

Figura 21. Curvas de R^2 para las variables independientes de CEe.



Como se observa en la figura 21, para el R^2 para las variables independientes no son similares a la hora de presentar las predicciones de los valores. Para la materia orgánica se obtuvo un R^2 de: 0,23, textura: 0,06, para la (M.O.+ textura) fue de: 0,03, para el (pH+ MO) fue de: 0,36, para (pH+ MO+ textura) presenta un valor de: 0,005, para el valor de pH se obtuvo: 0,35 y para el (pH+ textura) se obtuvo un R^2 de: 0,005.

Figura 22. Curva de RMSE de las variables independientes de CEe



Como se observa en la figura 22, para el RMSE las variables independientes no son similares a la hora de presentar las predicciones de los valores. Por lo cual se obtuvo para la materia orgánica, textura, (MO+ textura), (pH+ MO), pH y (pH+ textura) se encontraron dentro del rango de: 0,12 a 0,18 y para el (pH+ MO+ textura) se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,005.

6.4.2. Ecuaciones finales para la determinación de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación

La tabla 22, muestra las ecuaciones de edafotransferencia se ajustaron a los resultados de CEe en donde se tiene las ecuaciones por clase textural.

Tabla 22. Ecuaciones finales de edafotransferencia para CEe

N	Ecuaciones de edafotransferencia para CE en extracto de saturación	R^2	RMSE	N
1	$CEe=4666,758+495,106*CE_{1:5}-4,457*MO-48,693*A-45,715*L-48,247*Ar$	0,26	577,07	100
2	$CEe=12,9285+3,8982*CE_{1:5}+0,0322*MO-0,1315*A-0,2034*L$	0,67	2,36	11
3	$CEe=230,3285+550,5838*CE_{1:5}-5,3938*MO-3,9269*A-6,1678*Ar$	0,08	1068,08	33
4	$CEe=-5,2780+538,6246*CE_{1:5}-0,7821*MO-2,4098*A-2,0807*Ar$	0,85	209,52	42
5	$CEe=5,6562-5,4611*CE_{1:5}-0,0054*MO-0,0566*A-0,0566*L+0,0536*Ar$	0,82	0,34	15

La tabla 22, se muestra todas las ecuaciones, siendo:

N: la clase textural

1: es textura general,

2: es media gruesa

3: es media

4: es media fina y 5 es fina.

Se muestra las ecuaciones de edafotransferencia que mejor predicción de resultados tiene con respecto a la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe), obteniendo un R^2 de 0,26 y un RMSE de 577,07 para la ecuación general al obtener un coeficiente de correlación muy bajo.

Al observar los valores muy bajos obtenidos por el extracto de saturación la relación suelo/agua pueden correlacionarse con la ecuación del extracto de saturación del suelo (ECe) como se presenta en la tabla 23.

Tabla 23. Ecuación a partir de la relación suelo/agua $CE_{1:5}$

Textura	Relación ECe
General	$ECe = EC_{1:5} * 5,26$
Media gruesa	$ECe = EC_{1:5} * 6,72$
Media fina	$ECe = EC_{1:5} * 5,24$
Media	$ECe = EC_{1:5} * 4,47$
Fina	$ECe = EC_{1:5} * 6,2$

Cabe señalar que los valores de CE de 1:1, 1:2,5, 1:5 suelo/agua los extractos son específicos de un sitio en particular y, por lo tanto, solo pueden usarse como una guía general. Sin embargo, una vez establecida las correlaciones con ECe (EC del extracto de saturación del suelo) a partir de las mismas muestras del suelo, la ECe derivada se puede utilizar de forma fiable en salinidad, manejo y selección de cultivos. Se pueden usar factores de conversión adecuados basados en tipo de suelo.

7. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusión

Primer objetivo:

Tal como se ha podido comprobar en base a las muestras tomadas de la localidad de Choquenaira se determinó un MRI (material de referencia interno) con el cual se realizó diferentes pruebas para la Conductividad Eléctrica y el pH en relación suelo/agua (1:1; 1:2,5; 1:5) en el cual existen diferencias significativas de las cuales la relación 1:5 es la más recomendable realizar el método, ya que no existe mucha variación en cuanto al valor obtenido.

De la misma forma se realizó el análisis para la Conductividad Eléctrica y el pH en diferentes tiempos de agitación y tiempo de reposo por lo que se observó que no existe una variación significativa a la hora de presentar los valores.

Segundo objetivo:

El pH varía según la clase textural debido a las características físico químicas de las partículas y el tipo de suelo así mismo diferentes factores que también influyen como el contenido de MO, presencia de sales entre otros, el mismo comportamiento se presenta en los valores de conductividad eléctrica.

Tercer objetivo:

Gracias a la determinación de la Conductividad Eléctrica y el pH a relación 1:5 más los análisis de textura y materia orgánica que se realizó a las 100 muestras, se pudo determinar el valor de pH en pasta saturada (pHp) mediante ecuaciones de edafotransferencia se obtuvo un R^2 de 0,93 para la textura general y un RMSE de 0,28 son los mejores resultados obtenidos, debido a que presentan menos error en la predicción de datos.

Ahora que hemos visto todo lo anterior para la determinación de la Conductividad Eléctrica en extracto de saturación (CEe), la clase textural y la materia orgánica no son variable adecuada para estimar la CEe ya que la ecuación general presento un

R^2 de 0,26 y un RMSE de 577,07 debido a que la CEe está en función de la CIC (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe).

Al observar los valores muy bajos obtenidos por el extracto de saturación con la ayuda de la relación suelo/agua pueden correlacionarse con la ecuación del extracto de saturación del suelo (ECe), la ECe derivada se puede utilizar de forma fiable en salinidad, manejo y selección de cultivos. Se pueden usar factores de conversión adecuados basados en tipo de suelo.

7.2 Recomendación

Es recomendable realizar lecturas de pH a relación 1:5 ya que presenta un alto coeficiente de correlación, debido a que tiene un mayor extractante, lo cual nos facilita para una mejor lectura.

Es recomendable agitar las muestras no menos de 5 minutos, puede que no se haya alcanzado el equilibrio químico entre el suelo y el agua, ya que las diferencias fueron significativamente menores a mayor tiempo de agitación. Para el tiempo de reposo es recomendable hacer la lectura después de los 15 minutos o superiores para alcanzar un equilibrio en la reacción de la mezcla esto debido a que la membrana del electrodo demora en alcanzar un equilibrio con la mezcla y la posición del electrodo podría encontrarse cerca de la superficie del suelo por lo que podría provocar valores de pH inferiores a los esperados si el sobrenadante no tuviese estas partículas. Por lo tanto a mayor tiempo de reposo menor será el valor de pH.

Se debe realizar más investigaciones sobre las ecuaciones de edafotransferencia en lugares específicos del país y con una mayor cantidad de muestras para poder facilitar mayor información a las personas que lo requieran.

Se recomienda hacer más investigación con suelos de textura arenosa las cuales en esta investigación no se usaron muchas muestras debido a que no era típico de las diferentes comunidades.

8. BIBLIOGRAFIA

- Aceves, E. N. (1979). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Mexico.
- Ahmadpour, P., & Abdu, A. (2015). Evaluacion de cuatro especies vegetales para la fitoremediacion de suelos contaminados con Cobre. *Science Direct*, 1, 147-205.
- Al-busaidi, A., Yamamoto, T., & Bakheit, C. (2006). Evaluacion de la salinidad del suelo por algunos destructivos y metodos no destructivos en suelos calcareos. *Soil Phys*(104), 27-40.
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARAMETROS QUE LA DEFINEN* (3 ed.).
- Baker, L., & Ellison, D. (2007). Optimization of pedotransfer functions using an artificial network ensemble method. *Geoderma*(108), 277-285.
- Barbosa, R. N., & Overstreet, C. (s. f.). *Whats Soil Electrical Conductivity? LSU AgCenter*,2. Recuperado el 7 de abril de 2022, de <http://www.lsuagcenter.com/Nr/Rdonlyres/E57e82a0-3b99-4dee-99b5-Cfad7c43aef/77101/Pub3185whtissoilelectricalconductivityhighres.Pdf>
- Brooks, R., & Corey, A. (1964). HIDRAULIC PROPERTIES OF POROUS MEDIA. *Hidrolgy Papers*(37).
- Chi, C. M., & Wang, Z. C. (2010). Caracterizacion de suelos afectados por sal de songnen usando pasta saturada y metodo de extracto de suelo a agua 1:5. (24), 1-11.
- Chilon, E. (1996). *Manual de edafologia, practica de campo y laboratorio*. (E. e. UMSA, Ed.) La Paz, Bolivia.
- Conyers, M. K., & Devey, B. G. (1988). Observations on some routine methods for soil pH determination. *Soil Sience*(145), 29-36.
- Corina Pineda, M., & Vilorio, J. (2011). Recuperado el 19 de enero de 2022, de Funciones de pedotransferencia para estimar la retencion de humedad en suelos de la Cuenca del Lago de Valencia: https://www.researchgate.net/publication/279689530_FUNCIONES_DE_PEDOTRANSFERENCIA_PARA_ESTIMAR_LA_RETENCION_DE_HUMEDAD_EN_SUELOS_DE_LA_CUENCA_DEL_LAGO_DE_VALENCIA
- Corwin , D. L., & Lesch, S. M. (2005). Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. Survey protocols Computers Electronics Agric. *Scielo Argentina*, 46, 103-133.

- Corwin, D. L., Lesch, S. M., Oster, J. D., & Kaffka, S. R. (2006). Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *131*, 369-387.
- Cruz, W. O., Rodriguez, L. A., Salas, M. A., Hernandez, V., Campos, R., Chavez, M. H., & Gordillo, A. (2020). Efecto de la materia organica y la capacidad de intercambio cationico en la acidez de suelos cultivados con maiz en dos regiones de Chipas, Mexico. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, *38*(3), 475-480.
- Daza Portocarrero, J. F. (2006). *Estadística aplicada con Microsoft Excel*.
- Eckert, D., & Sims, J. T. (2009). Recommended soil pH and lime requirement test: Recommended Soil Testing Procedure for the Northeastern United States Newark. *Agricultural Experiment Stations of Connecticut*, *493*, 16-21.
- Emad, A., & Jay, N. (2017). Estimacion de la salinidad de la pasta del suelo saturado a partir de extractos de agua y suelo.
- Fallas, J. (2012). *análisis de varianza. Comparador de tres o mas medias*. Recuperado el 2022 de Febrero de 15, de http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf,
- FAO. (1993). MANUAL DE TECNICAS PARA LABORATORIOS DE NUTRICION DE PECES Y CRUSTACEOS. Mexico.
- FAO. (2006). *Propiedades físicas del suelo- guía para la descripción de suelos*, 4.
- FAO. (2017). Obtenido de <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fassbender, H. W. (1975). Experimentos de laboratorio para el estudio del fuego de la quema de restos vegetales sobre las propiedades del suelo. *Turrialba*, *25*, 249-254.
- Flores, e. (2014). Recuperacion de suelos salinos con la imcorporacion de sulfato de calcio hemidrato en la comunidad de Yotala. *Aplicaciones de la Ingenieria*, *1*(1), 1.
- Galatini, J. A., Suñer, L., & Kruger, H. (2005). Dinamicas de las formas de fosforo en un haplustol de la region semiarida Pampeana durante 13 años de trigo continuo. *RIA*, *34*(2), 13-31.
- Garcia, Coronado, J., & Medina. (2009). Una revicion sobre las funciones de pedotransferencia en la determinacion de las propiedades hidraulicas del suelo. *Revista ciencias tecnicas agropecuarias*, *18*, 59-62.
- Gat, & Fertiliquidos. (2017). Salinidad en cultivos agricolas. España.

- Geoderma. (2008). *Evaluacion de diferentes proporciones suelo/agua (1:1, 1:2,5 y 1:5) en la salinidad del suelo*. Recuperado el 23 de noviembre de 2021, de <http://WWW.elsevier.com/copyright>
- Ghisolfi, E. (2011). *Contenido de materia organica: relacion con la fertilidad del suelo en siembra directa* (1 ed.). Eduvim.
- Grisso, R. D., Halley, M. M., & Holshouser, D. (2009). *PRECISION Frming Tools: Soil Electrical Conductivity*. Recuperado el 4 de abril de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/285309866_Precision_Farming_Tools_Soil_Electrical_Conductivity_Virginida_Cooperative_Extension
- Guilda, J., Abraham, E., & Cony, M. (2017). Salinizacion de los suelos en tierras secas irrigadas. *revista de la facultad de ciencias agrarias UNCUYO*, 1, 205-215.
- Gutierrez, E., & Caceres, A. (2017). Correlacion entre la Conductividad Electrica medida en el extracto de saturacion del suelo y en extractos de cinco relaciones suelo-agua. *Revista de Investigacion de Ciencias Agronomicas y Veterinarias ALFA*, 2(6), 144-156.
- Heil, K., & Schmidhalter, U. (2012). *Characterisation of soil texture variability using the apparent electrical conductivity at a highly variable site*. Recuperado el 1 de abril de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/237999990_Characterisation_of_soil_texture_variability_using_the_apparent_electrical_conductivity_at_a_highly_variable_site
- Herrero, J., & Perez, O. C. (2005). Cambios en la salinidad de suelo mas de 24 años en una comarca de regadios mediterraneos. *125(287-308)*.
- Herve, D., Ledezma, R., & Orsag, V. (2002). Limitante y manejo de los suelos salinos y/o sodicos en el altiplano boliviano. (t. g. Perez, Ed.)
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. Academia Press.
- Hogg, T. J., & Henry, J. L. (2002). Comparacion 1:1 y 1:2 suspensiones y extractos con el extracto de saturacion en estimaciones de la salinidad en suelos de Saskatchewan. *Soil Sci(64)*, 669-704.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. (1992). Fertilizacion de diversos cultivos. Quinta aproximacion. Bogota.
- IVIA. (2014). *Factores que influyen en la salinidad del suelo*. Obtenido de <http://www.agrosal.ivia.es/factores.html>
- Jagtap, S., Jones, C., & Gijnsman, A. J. (2004). Dynamic nearest-neighbor method for stiamting soil water parameters. *ResearchGate*, 1441.

- Jaramillo. (2002). *Propiedades físicas*. Recuperado el 17 de mayo de 2022, de <https://es.scribd.com/document/319588199/Clase-de-Particula-Componente-Del-Suelo>
- Jucal, B., Meneses, A., & Sevillano, B. (2009). LA MATERIA ORGANICA. *Importancia y experiencia de su uso en la agricultura*, 24(49-61). Arica.
- Julca Aguilar, F. W. (2020). Conductividad Electrica en extracto de saturacion y pH en pasta saturada. Peru.
- Kargas, G., Chatzigiakoumin, I., Kollias, A., Spiliotis, D., & Kerkides, P. (21 de Agosto de 2018). Investigacion entre la conductividad electrica entre la conductividad electrica de la pasta saturada de suelo:ECe con los valores respectivos de la masa proporciones suelo/agua 1:Herrero, 1 y 1:5 (EC 1:1 y EC 1:5).
- Kern, J. S. (1993). Evaluacion de modelos de retencion de agua del suelo basados en propiedades físicas del suelo. *Sociedad de Ciencias de America*, 4(1134-1141).
- Keshavarzi, A., & Sarmadian, F. (2010). *Developing Pedotransfer functions for Estimating some Soil Properties using Artificial Neural Network and Multivariate Regression Approaches*. Recuperado el 1 de abril de 2022, de <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/promediu/article/download/5505/5135>
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global change & food security. *Science*, 304, 1623-1627.
- Lamb, R. J., & Richards, B. N. (1974). Inoculacion de pinos con hongos micorrizicos en suelos naturales: efecto de la densidad y el tiempo de aplicacion del inoculo y la modificacion del fosforo en el rendimiento de las plantulas. *Biologia y bioquimica del suelo* 173-177, 6(3).
- Larrieu, L., Clausi, M., & Bongiorno, F. (2016). Conductividad Electrica y extracto medicando tiempos de reposo en suelos de region humeda. 1(2-7).
- Litterick, A. (2017). *Soil pH-how to measure and manage it based on an understanding of soil texture.AHDB (Agriculture y Horticulture Development board)*. Recuperado el 1 de abril de 2022, de http://www.organicresearchcentre.com/manage/authincludes/article_uploads/GreatSoilFactsheet_web_2017-08-02.pdf
- Martinez, G., Verlinden, k., Giraldez, J. V., Espejo, A. J., Rodriguez, E., & Ordoñez, R. (2009). Use of apparent electrical conductivity as secondary information for soil organic carbon spatial characterization. *SciELO Argentina*, 9.

- McCauley, A., Jones, C., & Olson Rutz, K. (2017). *Soil pH and Organic Matter*. Recuperado el 5 de Abril de 2022, de <http://landresources.montana.edu/nm/documents/NM8.PDF>
- Mckenzie, R. C., Sproul, C. H., & Clark, N. F. (1983). Relacion de rendimiento de la cebada irrigada con la salinidad del suelo medido por varios metodos. *Poder Soil*(63), 519-529.
- Mendoza Corrales, R. B., & Espinosa, A. (agosto de 2017). *Guia muestreo de suelo*. Recuperado el 15 de mayo de 2022, de <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Milan, F., Prato, J., & Cruz , Y. (2018). *Estudio metodologico sobre la medicion de pH y conductividad electrica en muestra de compost*. Recuperado el 2 de Enero de 2021, de <http://www.Redalyc.org/jatsRepo/3090/3090/30905556503/html/index.html>
- Miller, R. (2022). *ENSAYOS DE SUELOS: INTERPRETACION DE PASTA SATURADA* (Vol. 1). Windsor.
- Miller, R., & Kissel, D. (2010). *Comparacion de metodo de pH de suelo, en suelos de America del norte*. Recuperado el 28 de marzo de 2022, de <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0047>
- Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos* (1 ed.). San Jose, Costa Rica: IPNI.
- Mora Rosas, J. L., & Alcala, M. (18 de Agosto de 2016). *XIII encuentro de participacion de la Mujer en la Ciencia*. Recuperado el 30 de mayo de 2022, de Comportamiento de materia organica y pH con la profundidad del suelo: http://congresos.cio.mx/13_enc_mujer/cd/cd_congreso_mujer_XIII/archivos/resumenes/S5/S5-BYQ09.pdf
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Cell and Environment*, 25, 239-250.
- OAKTON. (2011). Guia rapida serie 700 de sobremesa.
- orsacjf. (dhfe). jhfofejg. En hgfbielbfyri.
- Orsag, B. (2010). *el recurso suelo principio para su manejo y conservacion* (Vol. 1). La Paz, Bolivia: Zeus.
- Otero, L., & Francisco, A. (2017). Caracterizacion y evaluacion de la salinidad.
- Porta, C., Lopez, R., & Laburu, R. (1999). *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente* (segunda ed.). Mundi-Prensa.
- Porta, Casanellas, J., & Lopez- Acevedo, M. (2003). *Edafologia para la agricultura y el medio ambiente* (tercera ed.). Madrid: Mundi-Prensa.

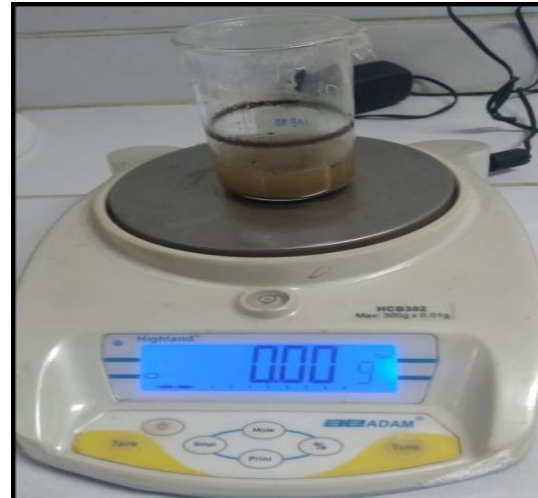
- Ramirez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos* (1 ed.). Bogota, Colombia: PRODUCCIONES EDITORIAL.
- Rawls, W., Brakensiek, D., & Saxton, K. (1982). Estimation of Soil Water proper. *Transaction of the ASAE*, 25(5), 131-138.
- Rawls, W., Nemes, A., & Pachepsky, Y. (2004). EFFECT OF SOIL ORGANIC CARBON ON SOIL HYDRAULIC PROPERTIES. *Elsevier*(30), 95-114.
- Reyes Alvarez, E. E. (2018). FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA DETERMINAR LA MICROPOROSIDAD DE UN TYPIC HAPLUDOX SOMETIDO A DOS DIFERENTES USOS. *Tesis para optar el título de ingeniero agronomo*.
- Rhoades , J. D., Manteghi, N. A., Shouse, P. J., & Alvares, W. J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations *Soil Sci.* 53, 433-439.
- Rhoades, J. D. (1982). *Salts solubles: Methods of Soil Analysis*. Estados Unidos: Madison.
- Richards, L. A., & United States Salinity Laboratory Staff. (1958). *Diagnostic and improvement of saline and alkali soils*. *United States*. Recuperado el 14 de enero de 2021, de https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf
- Rubio, C., & Llorens, P. (2003). Evaluacion del uso de funciones de edafotransferencia para la determinacion de propiedades hidrodinamicas en el suelo franco-limoso (Cuencas exxperimentales de vallcebre, alt llobregat). 6, 704-715.
- Rucks, L., Garcia, F., & Kaplan, A. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo, Uruguay.
- Sanchez, P. (2016). Recuperado el 7 de agosto de 2020, de Manejo de la materia organica para la produccion sostenible: <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6949/BVE18040127e.pdf;jsessionid=02985FC7FAFD8DED29DAB0B18110B1D5?sequence=1>
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 10.
- Shirokova, Y., Forkutsa, I., & Sharafutdinova. (2000). Uso de Conductividad Electrica en lugar de sales solubles para el suelo, vigilancia de la salinidad en Asia Central. (14), 199-205.
- Tan, K. H. (1993). *Principles of Soil Chemistry* (segunda ed.). New York.

- Terrazas , R. J. (2018). *Efecto de tres niveles de salinidad en el crecimiento de pasto agropiro variedad Alkar (Thinopyrum ponticum) mediante reproduccion sexual y vegetativa*. Recuperado el 16 de febrero de 2022, de Apthapi: <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/261>
- USDA. (1954). Diagnostico y mejora de los suelos salinos. (60). Estados Unidos.
- USDA. (2020). *Textura del suelo*. Recuperado el 17 de mayo de 2022, de <https://infoagronomo.net/que-es-la-textura-del-suelo-como-se-clasifica/>
- USDA. (s.f.). *Soil pH. United States Departament of Agriculture*. Recuperado el 1 de Abril de 2022, de http://www.nrcs.usdaa.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053293.PDF
- Valencia, U. P. (2 de Diciembre de 2019). Extracto de Pasta saturada del suelo.
- Velez Correa, J., & Nieto Figueroa, P. (2016). *Validacion de medidas de evaluacion para el pronostico de la tasa de cambio en Colombia-Bogota*. Recuperado el 7 de abril de 2022, de <http://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/1577/mfc00491.pdf?sequence=1&isAllwed=y>
- Wan, W. J., Tan, Y., Wang, Y., Qin, H., He, H., & Wu, W. (2019). *Responses of the rhizosphere bacterial community in aciidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134418>.
- Woster, J. H., Pachepsky, Y., & Rawls. (2021). Pedotransfer function s: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology*(251), 123-150.
- Zuñiga, O., & Osorio, J. (2011). Evaluation the Technologies for the Recovery of Soil.

ANEXOS



Fotografía 1. Bomba de vacío



Fotografía 2. Balanza analítica para pesado de muestras



Fotografía 3. pH-metro instrumento para la lectura de pH.



Fotografía 4. Mortero, para triturar agregados grandes y pequeños



Fotografía 5. Tamiz de 2mm.



Fotografía 6. Muestras de suelo en envase de vidrio cerrado



Fotografía 7. Muestras de pH y CE relación suelo/agua



Fotografía 8. Agitador de mesa



Fotografía 9. Embudo buchner



Fotografía 10. Material de vidrio (Kitasato)



Fotografía 11. Equipo de lectura pH-metro



Fotografía 12. Muestra de suelo herméticamente cerrado y codificado.



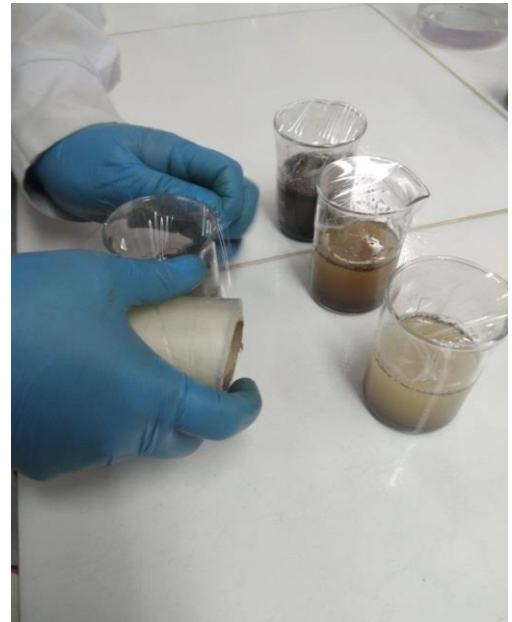
Fotografía 13. mortero



Fotografía 14. Capsula para la preparación de pasta saturada



Fotografía 15. Succión de la muestra por extracción



Fotografía 16. Recubrimiento con fill las muestras



Fotografía 17. Pasta



Fotografía 18. Muestreo de suelo



Fotografía 19. Secado de las muestras en ambiente fresco y seco.



Fotografía 20. Determinación de Conductividad Eléctrica en extracto de saturación.



Fotografía 21. pH y CE
Relación 1:1, 1:2,5 y 1:5



Fotografía 22. Embudo buchner



Fotografía 23. Pesado de las
muestras para pH y CE



Fotografía 24. Método extracto
de saturación



Fotografía 25. Lectura del pH en pasta saturada

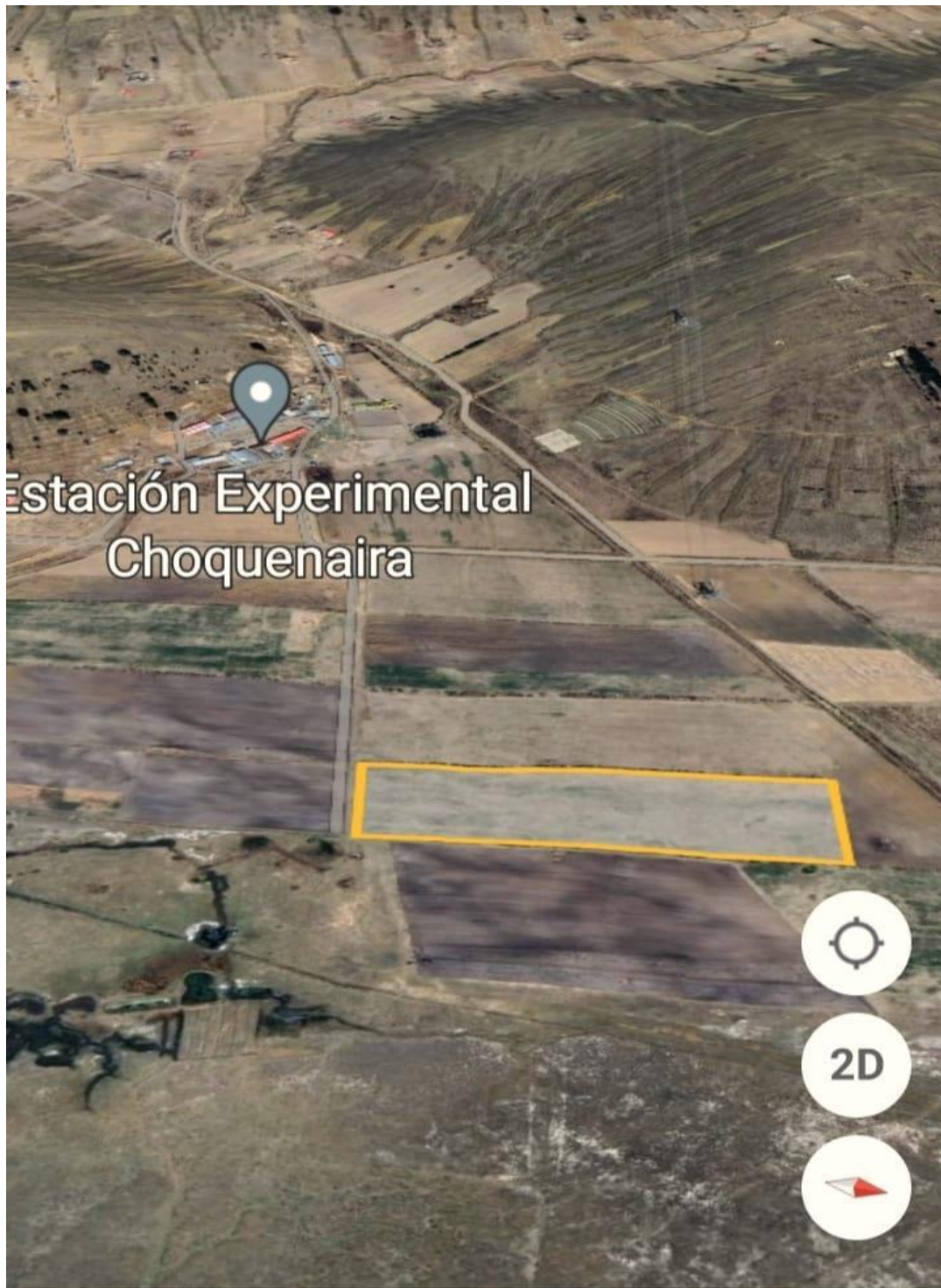


Fotografía 26. Capsula con suelo 150 gr para pasta



Fotografía 27. Saturacion de la muestra de suelo

Fotografía 28. Ubicación de la zona de muestreo (Estación Experimental de Choquenaira)



Fotografía 29. Datos obtenidos de pHp y CEe (dS/m) de las muestras de diferentes municipios de La Paz

CODIGO	TEXTURA	%A	%L	%Ar	%MO	pH (1:5)	pHp	CE	CEe
LAF1_20	FArA	51,2	28	20,8	5,78	7,46	7,06	0,198	0,884
LAF2_20	Fr	33,2	41,2	25,6	6,72	5,22	4,56	0,238	1,721
LAF8_20	FArA	53,2	25,2	21,6	13,43	5,1	4,96	0,404	0,202
LAF14_20	Fr	51,2	31,2	17,6	59,78	6,45	5,45	0,402	0,319
LAF15_20	FAr	25,2	45,2	29,6	2,96	6,14	5,59	0,328	2,189
LAF30_20	FAr	32,8	30,8	36,4	11,96	6,4	5,71	0,144	0,633
LAF31_20	FAr	28,8	35,6	35,6	3,63	5,87	5,69	0,207	0,958
LAF32_20	FAr	34,8	34	31,2	11,96	6,14	5,71	0,23	1,017
LAF37_20	Fr	43,6	39,2	17,2	5,24	6,61	6,02	0,704	5,919
LAF39_20	FAr	29,6	39,2	31,2	7,52	5,78	5,68	0,562	1,976
LAF40_20	Fr	40	36,8	23,2	14,78	6,06	5,75	0,458	1,849
LAF41_20	Fr	42	36,8	21,2	20,82	6,02	5,97	0,62	2,5
LAF43_20	FAr	38	33,2	28,8	1,61	6,16	5,89	0,669	3,344
LAF45_20	Far	38	34	28	1,88	6,47	6,1	0,693	3,782
LAF46_20	Fr	34	40	26	1,21	6,55	6,22	0,413	2,094
LAF49_20	FArL	17,6	47,6	34,8	1,21	7,4	7,03	0,077	0,57
LAF50_20	FArL	16	54	30	1,07	8,32	7,84	0,104	0,488
LAF51_20	FAr	20	42	38	2,02	7,27	6,14	1,175	10,78
LAF61_20	FAr	38	33,2	28,8	6,05	4,12	3,46	0,138	0,528
LAF63_20	FA	66,4	16	17,6	2,96	7,43	6,87	1,944	9,819
LAF67_20	FArA	54,4	24	21,6	2,82	6,87	6,36	0,021	0,198
LAF71_20	FArL	18,4	47,2	34,4	6,45	7,26	6,47	0,105	0,735
LAF72_20	FAr	26,4	40	33,6	7,25	6,83	6,85	0,105	3,638
LAF73_20	Far	25,6	40,8	33,6	7,79	6,71	6,91	0,414	3,212
LAF74_20	FAr	29,6	42,8	27,6	8,19	6,71	6,65	0,777	5,296
LAF84_20	FA	58,4	25,2	16,4	-1,61	4,87	4,68	0,133	0,663
LAF85_20	FArA	51,6	28	20,4	4,29	7,76	7,2	1,691	9,473
LAF86_20	FArA	51,6	28	20,4	1,34	8,09	7,56	0,206	0,851
LAF4_21	ArL	9,2	41,2	49,6	1,76	6,03	5,6	0,075	0,367
LAF77_21	FAr	41,2	30	28,8	1,07	6,81	6,54	0,498	0,554
LAF78_21	FAr	21,2	42	36,8	4,73	5,3	4,57	0,958	0,585
LAF79_21	FArA	55,2	24	20,8	2,02	7,05	6,79	5,651	3350
LAF80_21	Fr	39,2	37,2	23,6	2,65	5,92	5,35	0,245	0,168
LAF81_21	Fr	47,2	31,2	21,6	2,9	6,54	6,09	0,261	0,209
LAF82_21	Fr	42	35,2	22,8	3,22	6,99	6,6	0,262	0,38
LAF83_21	Ar	24	55,2	20,8	5,49	7,49	6,38	0,092	0,352

LAF84_21	FArL	0	39,2	60,8	0,75	6,96	6,32	0,194	1,062
LAF125_21	FA	58,4	22	19,6	8,07	7,93	7,46	1,117	2,146
LAF126_21	FA	60,4	20	19,6	8,33	7,86	7,5	0,412	7,15
LAF127_21	FA	60,4	20	19,6	8,58	7,8	7,56	0,357	1,629
LAF128_21	FA	54,4	26	19,6	8,83	7,86	7,56	0,334	1,644
LAF129_21	FArA	57,2	19,6	23,2	9,08	7,91	7,52	0,404	2,015
LAF174_21	FA	64	18	18	2,65	4,87	4,68	0,035	0,172
LAF182_21	FAr	28,4	36,8	34,8	3,15	4,98	4,15	0,03	0,128
LAF183_21	Ar	24,4	28,8	46,8	3,91	4,75	4,06	0,035	0,122
LAF187_21	FrL	30,4	50,8	18	8,07	4,87	4,68	0,778	4,526
LAF188_21	Far	24,4	44,8	30,8	3,34	8,04	7,29	0,253	1,568
LAF197_21	Fr	45,6	35,2	19,2	5,11	7,11	6,71	1,808	7,416
LAF199_21	Fr	43,6	35,2	21,2	2,52	5,65	4,8	0,042	0,28
LAF200_21	F	25,6	49,2	25,2	4,48	6,05	5,57	0,571	2,669
LAF201_21	FA	51,6	33,2	15,2	2,21	6,22	5,38	0,018	0,123
LAF207_21	F	49,6	32	18,4	6,87	7,53	6,83	1,084	6,679
LAF208_21	F	51,6	32	16,4	6,75	7,74	7,19	0,651	3,625
LAF219_21	FL	17,2	56	26,8	2,33	7,73	6,5	0,183	1,347
LAF220_21	FL	27,6	50	22,4	1,64	7,01	5,99	0,022	0,109
LAF239_21	Far	32,4	38	29,6	3,91	8,97	8,26	0,596	3,044
LAF251_21	Ar	24,4	33,2	42,4	3,66	5,18	4,36	0,028	0,167
LAF252_21	ArA	46,4	11,2	42,4	1,89	7,43	6,87	0,166	0,666
LAF253_21	FA	68,4	19,2	12,4	2,21	6,04	6,07	0,044	0,363
LAF256_21	ArL	13,2	44	42,8	5,11	4,69	4,08	0,046	0,15
LAF257_21	F	49,2	32	18,8	2,08	5,75	5,02	0,025	0,093
LAF258_21	F	43,2	34	22,8	1,57	6,3	5,41	0,052	0,129
LAF259_21	F	43,2	40	16,8	3,09	7,25	7,14	1,922	6,561
LAF260_21	FA	73,2	14	12,8	0,63	6,78	5,71	0,031	0,295
LAF261_21	FA	69,2	16	14,8	1,26	7	7,19	0,05	0,284
LAF262_21	F	43,2	32	24,8	7,51	6,86	6,38	1,5	7,043
LAF263_21	F	41,2	38	20,8	4,54	6,74	6,32	1,33	5,677
LAF264_21	F	41,2	34	24,8	7,57	6,89	6,41	1,013	4,668
LAF265_21	ArL	11,2	48	40,8	4,35	7,44	6,8	0,495	2,797
LAF280_21	F	50,4	31,2	18,4	3,97	6,71	6,23	0,125	0,619
LAF329_21	F	41,6	32	26,4	4,86	6,56	6,69	0,278	1,18
LAF332_21	Far	39,6	32	28,4	6,43	5,35	4,6	0,186	0,832
LAF333_21	F	41,2	32,4	26,4	9,02	5,68	5,19	0,739	0,476
LAF334_21	Far	39,2	32,4	28,4	2,58	6,63	5,49	0,059	1,029
LAF335_21	Far	31,2	38,4	30,4	3,03	7,62	7,02	0,236	2,763

LAF336_21	F	40,4	36	23,6	20,5	4,64	4,18	0,402	2,652
CAF1_21	FArL	13	51	36	2,14	5,06	4,54	0,037	0,231
CAF2_21	ArL	11	41	48	4,86	4,31	3,82	0,063	0,219
CAF3_21	Ar	15	37	48	4,29	4,49	3,51	0,069	0,318
CAF4_21	Ar	17	35	48	5,36	4,74	4,06	0,049	0,221
CAF5_21	Ar	11	33	56	3,47	4,27	3,81	0,058	0,197
CAF8_21	Far	29	41	30	4,16	5,7	5,17	0,034	0,17
CAF9_21	Far	23	47	30	3,91	4,87	4,58	0,04	0,196
CAF10_21	ArL	13	43	44	2,14	5,85	5,26	0,018	0,097
CAF11_21	FArL	15	53	32	3,78	6,62	6,4	0,047	0,237
CAF12_21	Ar	21	37	42	3,53	4,5	4,23	0,04	0,156
CAF13_21	Far	25	47	28	6,31	5,45	5,08	0,059	0,287
CAF14_21	Far	33	33	34	6,24	5,33	4,9	0,035	0,154
CAF15_21	FArL	15	53	32	5,3	4,41	3,92	0,065	0,33
CAF16_21	F	47	29	24	7,88	6,47	6,24	0,077	0,38
CAF17_21	Ar	23	33	44	14	4,59	4,08	0,052	0,182
CAF18_21	ArL	3	47	50	2,71	4,91	4,64	0,024	0,073
CAF19_21	Far	23	45	32	4,98	5,17	4,57	0,038	0,165
CAF20_21	Far	27	43	30	4,42	6,47	6,15	0,052	0,281
CAF21_21	Far	39	29	32	3,97	5,05	4,77	0,065	0,341
CAF22_21	FArL	17	45	38	5,43	5,11	4,92	0,117	0,629
CAF23_21	FL	19	55	26	4,16	5,91	5,36	0,046	0,287
CAF24_21	F	43	35	22	13,5	7,76	7,32	0,181	0,584
CAF25_21	FL	21	53	26	4,92	5,61	5,02	0,054	0,19
CAF26_21	Ar	42	42	15	2,27	6,3	6,06	0,067	0,34

Fotografía 30. Ecuaciones de edafotransferencia para pH en pasta saturada

CT	E	ECUACIONES DE EDAFOTRANSFERENCIA PARA pH EN PASTA SATURADA	R ²	N
Textura general	1	pHp=-0.3885+0,9840* pH	0,935	100
	2	pHp=5,8402-0,0077*%MO	0,002	100
	3	pHp=2,8698+0,0454*%A+0,0367*%L	0,184	100
	4	pHp= -0,3808+0,9837*pH-0,0010*%MO	0,935	100
	5	pHp= -0,3398+0,9652*pH+0,0033*%A-0,0013*%L	0,938	100
	6	pHp= 2,8604-0,0192*%MO+0,0472*%A+0,0382*%L	0,196	100
	7	pHp= -0,3350+0,9633*pH-0,0025*%MO+0,036*%A-0,0010*%L	0,939	100
t. media gruesa	1	pHp= 0,3846+0,8768*pH	0,795	11
	2	pHp= 5,4625+0,2271*%MO	0,132	11
	3	pHp=1,8707+0,0653*%A-0,0186*%Ar	0,251	11
	4	pHp=0,4254+0,8657*pH+0,0185*%MO	0,796	11
	5	pHp= -1,1270+0,8246*pH+0,0218*%A+0,0277*%Ar	0,815	11
	6	pHp=2,6162+0,2154*%MO+0,0571*%A-0,0535*%Ar	0,364	11
	7	pHp=-1,0219+0,8122*pH+0,0173*%MO+0,0218*%A+0,0242*%Ar	0,815	11
t. media	1	pHp= -0,4765+0,9973*pH	0,908	31
	2	pHp=6,2167-0,0122*%MO	0,018	31
	3	pHp=4,3068+0,0440*%A-0,0016*%Ar	0,267	31
	4	pHp= -0,4287+0,9937*pH-0,0028*%MO	0,909	31
	5	pHp=-1,1138+0,9510*pH+0,0125*%A+0,0190*%Ar	0,919	31
	6	pHp=4,5676-0,0243*%MO+0,0474*%A-0,0108*%Ar	0,334	31
	7	pHp=-0,9506+0,9330*pH-0,0056*%MO+0,0139*%A+0,0165*%Ar	0,923	31
t. media fina	1	pHp=-0,2023+0,9621*pH	0,943	42
	2	pHp=6,3550-0,0802*%MO	0,047	42
	3	pHp= 5,9799+0,0117*%A - 0,0121*%Ar	0,041	42
	4	pHp= -0,3997+0,9772*pH+0,0203*%MO	0,945	42
	5	pHp= -0,7175+0,9569*pH+0,0072*%A+0,0084*%L	0,944	42
	6	pHp=5,2811-0,1010*%MO+0,0270*%A+0,0086*%L	0,111	42
	7	pHp=-0,9150+0,9739*pH+0,0195*%MO+0,0063*%A+0,0090*%L	0,947	42
t. fina	1	pHp= -0,2641+0,9362*pH	0,962	16
	2	pHp= 5,2483-0,1077*%MO	0,076	16
	3	pHp=0,5138+0,0890*%A+0,0706*%L	0,318	16
	4	pHp= -0,1428+0,9267*pH-0,0158*%MO	0,963	16
	5	pHp=0,3606+1,0183*pH-0,0203*%A-0,0186*%L	0,972	16
	6	pHp=0,6633-0,1473*%MO+0,0985*%A+0,0794*%L	0,458	16
	7	pHp=0,3576+1,0219*pH+0,0023*%MO-0,0209*%A-0,0191*%L	0,972	16

Fotografía 31. Ecuaciones de edafotransferencia para Conductividad Eléctrica en extracto de saturación

CT	E	ECUACIONES DE EDAFOTRANSERENCIA PARA CEe	R ²	N
Textura general	1	CEe= -103,0327+484,4686*%CE	0,26	100
	2	CEe=115,2042-4,1353*%MO	0,001	100
	3	CEe= -17863,302+181,8803*%A+180,9711*%L+174,9253*%Ar	0,012	100
	4	CEe=-75,7930+485,1760*%pH-4,8878*%MO	0,263	100
	5	CEe=6738,5714+496,4743*%CE-69,8317*%A-66,7715*%L-68,9436*%Ar	0,263	100
	6	CEe=-20556,024-5,9877*%MO+209,3434*%A+208,3377*%L+201,8230*%Ar	0,015	100
	7	CEe=4666,158+495,106*%CE-4,457*%MO-48,693*%A-45,715*%L-48,247*Ar	0,265	100
t. media gruesa	1	CEe=0,4401+4,3455*CE	0,656	11
	2	CEe=1,1128+0,2730*%MO	0,099	11
	3	CEe=54,1551-0,5746*%A-0,7747*%L	0,292	11
	4	CEe=0,1729+4,2040*CE+0,0809*%MO	0,664	11
	5	CEe=16,0520+3,8838*CE-0,1671*%A-0,2402*%L	0,678	11
	6	CEe=58,8712-0,0509*MO-0,6286*%A-0,8297*%L	0,293	11
	7	CEe=12,9285+3,8982*CE+0,0322*%MO-0,1315*%A-0,2034*%L	0,679	11
t. media	1	CEe=-104,5182+546,7058*CE	0,079	31
	2	CEe=241,7136-6,0898*%MO	0,004	31
	3	CEe=-2082,0697+27,6099*%A+30,8762*%L	0,006	31
	4	CEe=-55,3098+545,8752*CE-5,9075*%MO	0,083	31
	5	CEe=-222,0490+561,7854*CE-1,2065*%A+4,1164*%L	0,081	31
	6	CEe=1041,8375-8,0005*%MO-1,2564*%A-331276*%Ar	0,013	31
	7	CEe=230,3285+550,5838*CE-5,3938*%MO-3,9269*%A-6,1678*%Ar	0,083	31
t. media fina	1	CEe=-144,9086+530,8515*CE	0,849	42
	2	CEe=197,1777-24,3278*%MO	0,02	42
	3	CEe=-275,8766+11,3227*%A+0,1342*%Ar	0,082	42
	4	CEe=-131,1954+529,5618*CE-2,7651*%MO	0,85	42
	5	CEe=-6,2360+539,2788*CE-2,4778*%A-2,1107*%Ar	0,851	42
	6	CEe=-214,8854-37,1209*%MO+13,7573*%A+1,4268*%Ar	0,128	42
	7	CEe=-5,2780+538,6246*CE-0,7821*%MO-2,4098*%A-2,0807*%Ar	0,851	42
t. fina	1	CEe=0,0051+5,4040*CE	0,824	16
	2	CEe=0,5269-0,0131*%MO	0,004	16
	3	CEe=-48,7805+0,4976*%A+0,4984*%L+0,4855*%Ar	0,018	16
	4	CEe=0,0336+5,3990*CE-0,0065*%MO	0,825	16
	5	CEe=7,9376+5,4713*CE-0,0798*%A-0,0824*%L-0,0765*%Ar	0,828	16
	6	CEe=-57,5328-0,0220*%MO+0,5868*%A+0,5875*%L+0,5732*%Ar	0,026	16
	7	CEe=5,6562-5,4611*%CE-0,0054*%MO-0,0566*%A-0,0566*%L+0,0536*%Ar	0,828	16