



Revista Colombiana de Química  
ISSN: 0120-2804  
ISSN: 2357-3791  
rcolquim\_fcbog@unal.edu.co  
Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

## Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost

**Millán, Fernando; Prato, José Gregorio; La Cruz, Yésica; Sánchez, Adriana**

Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost

Revista Colombiana de Química, vol. 47, núm. 2, 2018

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

**Disponible en:** <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309055565003>

**DOI:** <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

# Estudio metodológico sobre la medición de pH y conductividad eléctrica en muestras de compost

Methodological study on pH and electric conductivity measurements in compost samples

Estudo metodológico sobre a medição de pH e condutividade elétrica em amostras da compostagem

*Fernando Millán*

*Queensborough Community College, Estados Unidos*

fmillanmarrero@qcc.cuny.edu

DOI: [https://doi.org/10.15446/](https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.67338)

rev.colomb.quim.v47n2.67338

Redalyc: [https://www.redalyc.org/articulo.oa?](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309055565003)

id=309055565003

*José Gregorio Prato*

*Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador*

pratoj@gmail.com

*Yésica La Cruz*

*Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño"*

*IUPSM, Venezuela*

*Adriana Sánchez*

*Centro de Interamericano de Desarrollo e Investigaciones*

*Ambientales y Territoriales, CIDIAT, Venezuela*

Recepción: 20 Agosto 2017

Aprobación: 13 Diciembre 2017

## RESUMEN:

En el presente trabajo se estudió la influencia de la relación compost/extractante sobre las mediciones de pH y conductividad eléctrica (CE) utilizando agua y una solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M como extractantes, tanto en la suspensión como en el sobrenadante del extracto centrifugado. Los resultados muestran que la medición de  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  es independiente de la cantidad de extractante a diferencia de la medición en extracto acuoso, que incrementa con la dilución y se ajusta más a una función polinómica. En consecuencia, la medición debe realizarse donde la pendiente curva sea mínima o nula y la medición sea más independiente de la cantidad de extractante. Esto ocurre en relaciones compost/extractante superior a 1:8 para el extracto acuoso y superior a 1:5 para el extracto de  $\text{CaCl}_2$ . Igualmente, el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  es menor que el  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , por lo que este último es un mejor extractante de acidez y, por ende, más cercano a la realidad de la muestra. Las mediciones de CE también presentan un comportamiento polinómico, por lo que deben ser realizadas a relaciones compost/extractante mayores de 1:6, donde los valores de CE son más independientes de la cantidad de extractante, realizando la corrección del blanco respectivo.

**PALABRAS CLAVE:** materiales compostados, parámetros de calidad, análisis.

## ABSTRACT:

The present paper describes the influence of compost/solvent relations on pH and electric conductivity (CE) measurements, using water and  $\text{CaCl}_2$  0.01 M as extractants, in the extract suspension as well as in centrifuged supernatant. According to the results,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  seems to be more independent of extractant quantity, contrarily to aqueous extract measurements, which increases with dilution, described by a quadratic model. As a consequence, measurement must be performed where the curve slope is minimum or null, and where the measurement becomes independent of extractant quantity. For aqueous extract, it happens at relations compost/extractant greater than 1:8, and for  $\text{CaCl}_2$  extracts, greater than 1:5.  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  is higher than  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  showing that  $\text{CaCl}_2$  is a better acidity extractant. EC measurements also show polynomial behavior, therefore must be performed on relations

## NOTAS DE AUTOR

fmillanmarrero@qcc.cuny.edu

compost/extractant greater than 1:6, where EC values are more independent of extractant quantity. EC could be performed in  $\text{CaCl}_2$  extract, suspension or supernatant, with respective blank correction.

**KEYWORDS:** composted materials, quality parameters, analysis.

## RESUMO:

No presente trabalho estudou-se a influência de relação compostagem/extractante sobre as medições de pH e condutividade elétrica (CE) usando água e uma solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M como extractante, tanto na suspensão como no sobrenadante do extrato centrifugado. Os resultados mostram que a medição de  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  é mais independente da quantidade de extractante, a diferença da medição em extrato aquoso à qual ajusta-se mais a uma função polinômica. Em consequência, a medição deve ser feita onde a pendente curva é mínima ou nula, e a medição seja mais independente da quantidade de extractante. Isto acontece às relações compôs/extractante superiores à 1:8 para o extrato aquoso, e superior à 1:5 para extrato de  $\text{CaCl}_2$ . Igualmente, o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  é menor do que o  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , pelo que este último é um melhor extractante de acidez, e por isso mais *cercões* à realidade da amostra. As medições de CE igualmente apresentam um comportamento polinômico, pelo qual devem ser feitas a relações compostagem/extractante maiores de 1:6, onde os valores de CE são mais independentes da quantidade de extractante, fazendo a correção do branco respectivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** compostagem, parâmetros da qualidade, análise.

## INTRODUCCIÓN

En la caracterización físico química de materiales compostados, el pH y la conductividad eléctrica (CE) son dos de los parámetros de primera línea, así como lo puede ser el contenido de humedad y el de materia orgánica, entre otros ( 1 ). Sin embargo, persiste una polémica acerca del procedimiento a seguir. En general, se toma la experiencia de la medición de pH en muestras de suelo, donde también persisten polémicas en relación a la forma en la que se realiza la medición.

El procedimiento habitual es el de la suspensión de una muestra de compost (o suelo) en un solvente, que por lo general es agua, con tiempos de agitación y de reposo dados ( 2 ). Sin embargo, no hay un acuerdo definitivo sobre cuál es la relación másica compost/agua (o suelo/agua) más adecuada para tal medición. El problema es que en la suspensión acuosa los valores de pH aumentan en la medida en que el extracto se diluye y, en este caso, es difícil establecer el valor de pH que se le asigna a la muestra. Lo anterior se debe a que, a mayor cantidad de agua, la concentración de protones se diluye y las mediciones dan valores de pH mayores, lo que se le conoce como “efecto de dilución” ( 3 ). Igualmente, la centrifugación del extracto tiene un efecto importante en la medición del pH, a causa de la extracción de protones extras por la fuerza centrífuga, el pH medido es menor ( 4 ).

Algunos autores recomiendan la medición de pH y CE en muestras de suelos a las relaciones másicas de 1:1 ( 5 ) y 1:2 ( 6 ), ya que sugieren que estas condiciones son más cercanas a la realidad natural en comparación a las relaciones más diluidas ( 4 ). Sin embargo, al igual que en el caso del suelo, a estas relaciones de compost/agua, el extracto se convierte en una masa con poca homogeneidad y es difícil un contacto pleno del bulbo del electrodo con la muestra, lo que provoca una alta variabilidad en las mediciones; del mismo modo, las posibilidades de daño al electrodo son altas. Otros autores recomiendan las relaciones 1:2,5 ( 7 ), 1:5 ( 8 , 9 ) y 1:10 ( 10 ), pero no explican el motivo de esa decisión. En las relaciones como 1:8 a 1:10, la mayor cantidad de agua puede ocasionar reacciones de hidrólisis que pueden alterar la muestra. De hecho, a la determinación de pH en suelos a la relación 1:10 se le denomina pH hidrolítico ( 3 ). De igual manera, para el caso de materiales compostados, en la literatura se registran diversas recomendaciones acerca de la relación compost/solvente para la medición de pH y CE sin argumentación alguna; tanto la relación 1:5 ( 11 ) como el extracto saturado ( 12 ) son utilizados.

Por otro lado, desde un punto de vista oficial, en algunos países las mediciones de pH y CE en materiales compostados y enmiendas orgánicas agrícolas se rigen bajo normas específicas. Por ejemplo, la Norma Chilena establece una relación compost/agua de 1:5 ( 9 ), la Norma Técnica Colombiana ( 13 ) recomienda

la relación compost/agua de 1:10 o en “pasta saturada”. Sin embargo, este es un concepto aplicado a suelos, ya que una muestra de suelo tamizada a 2 o 4 mm permite la preparación de esta “pasta saturada”, pero el compost no es suelo y no presenta las mismas características de adherencia y, por lo tanto, la preparación de una pasta saturada no se puede llevar a cabo satisfactoriamente.

Desde 1980 se viene aplicando la solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M como extractante universal para estudios de fertilidad de suelos donde, con una sola extracción, se pueden determinar diversos parámetros como pH, nutrientes, nitrógeno orgánico e inorgánico, metales traza, entre otros ( 10 , 14 , 15 ). La medición de pH en suelo, en extracto de 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ , tiene la ventaja de que la solución tiene una fuerza iónica constante en relación a la suspensión en agua, además de que las mediciones son menos dependientes de la relación suelo/solvente ( 16 ).

El Grupo de Compostaje Venezolano, recientemente formado por iniciativa del CIDIAT-ULA, el INIA-Mérida, IUPSM-Mérida, y otras instituciones en Venezuela, está llevando a cabo un trabajo con el fin de redactar una normativa venezolana para el control de la calidad de materiales compostados producidos en el país ( 17 ). Hasta ahora, se mantienen las discusiones acerca de las metodologías y métodos que deben aplicarse para la realización de los análisis químicos respectivos. En el caso de las mediciones de pH y CE, se han propuesto diversas relaciones compost/agua con una tendencia a aceptar la relación 1:5 para esta medición, siguiendo los lineamientos utilizados por algunas normas extranjeras y la experiencia rutinaria como consenso en el grupo, pero tampoco se ha justificado la razón de esta selección.

En este sentido, cualquier decisión que pueda tomarse al respecto debe estar basada en evidencias experimentales que soporten la decisión de seleccionar una relación compost/solvente. El objetivo del presente trabajo es el de realizar una investigación metodológica sobre la medición de pH y CE en muestras de compost y aportar información experimental que soporte la selección de la relación compost/solvente que se debe utilizar.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se usaron dos muestras de compost experimentales ( 18 ), identificadas como C1 y C2, recolectadas luego de que el compost estuvo madurado, guardadas en bolsas de cierre hermético y conservadas a 4 °C hasta el momento de su análisis. El pH se midió con un pH-Meter electrónico, marca HANNA instruments, modelo pH211, Microprocessor, (Rumania), con un electrodo marca Extech Instrument. El instrumento se calibró con dos soluciones buffer de pH 7 y 4 marca Merck Certipur (Alemania). La CE se midió con un conductímetro marca TRANS instruments, modelo HC3010, TDS-Conductivity-Salinity (USA), con un electrodo de la misma marca, modelo TIPB10-0400 con  $K = 0,9660$  y calibrado con una solución estándar de la misma marca de 1,4 mS.

Las mediciones de pH y CE se realizaron simultáneamente en extractos acuosos (denominados  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{CE}_{\text{H}_2\text{O}}$  respectivamente) y solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M (denominados  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  y  $\text{CE}_{\text{CaCl}_2}$  respectivamente) de una muestra de 10 g de compost con humedad del 40%, a las relaciones compost/solvente de la 1:2 a 1:10. Las medidas se tomaron después de una agitación magnética de 15 min y un tiempo de reposo de 5 min, tanto en la suspensión del extracto como en el sobrenadante del centrifugado a 1600 rpm. Se centrifugó durante 5 min, en una centrífuga marca Digisystem Laboratory Instruments, INC (Taiwan) con controlador de tiempo y de velocidad de centrifugado. Todas las mediciones fueron verificadas por triplicado sobre la misma muestra, luego de un reposo de 1 min y nueva agitación de unos 30 s.

Las muestras de compost fueron pesadas en una balanza Ohaus modelo Pioneer TM de 210 g de capacidad y 0,1 mg de sensibilidad. Los extractos acuosos fueron realizados con agua destilada y la solución de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M se preparó a partir de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , marca Fisher Scientific, certified A.C.S. (Japón). Los gráficos,

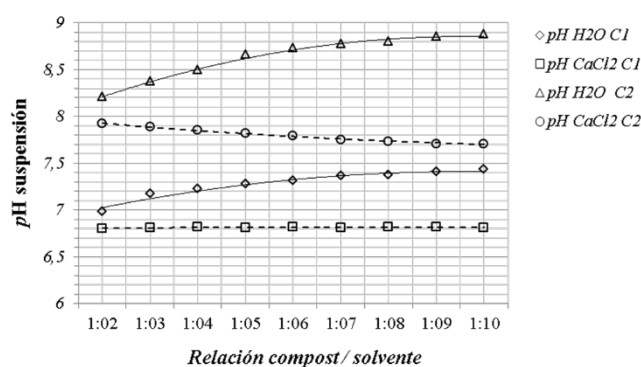
ajustes lineales y cuadráticos, así como los coeficientes de correlación lineal y cuadrática fueron calculados por medio de una hoja Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PH

En la Figura 1 se muestran los valores de pH para dos muestras de compost experimentales diferentes, C1 y C2, tanto en la suspensión del extracto acuoso como en la del extracto de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, en función de la relación compost/solvente.

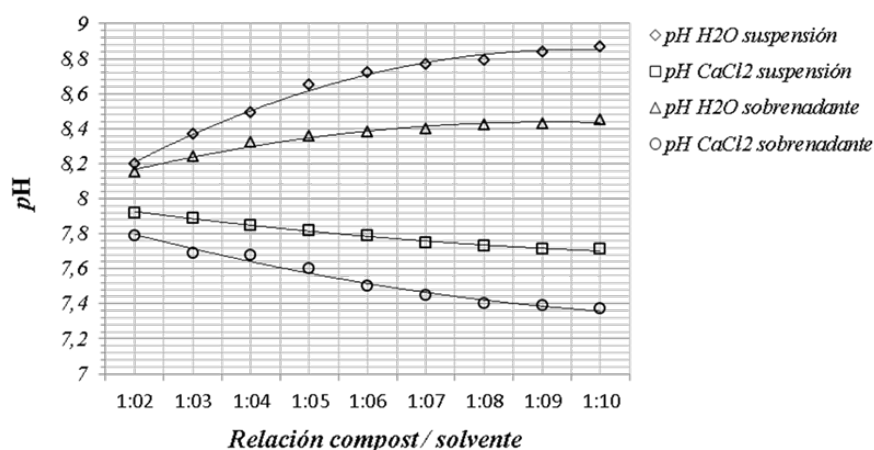
Tal como confirma la literatura y la experimentación, los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  aumentan en la medida en que aumenta la cantidad de agua en el extracto debido al “efecto de dilución”. Por otro lado, se observa que las mediciones de  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  son más constantes en relación al valor de la relación compost/solvente. En este último el pH es menor, ya que el  $\text{CaCl}_2$  provoca una disociación de protones adicionales en relación al extracto acuoso. Este resultado sugiere que el  $\text{CaCl}_2$  0,01 M es un mejor extractante de acidez y, de ahí, que la medición es más cercana a la realidad de la muestra de compost.



**Figura 1.** Valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en la suspensión del extracto, para dos muestras de compost experimentales diferentes, C1 y C2, en función de la relación compost/solvente.

Debido a la similitud del comportamiento en las mediciones de pH para los compost C1 y C2, se seleccionó el último de estos para continuar el estudio metodológico. En la Figura 2 se muestran los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , medidos tanto en la suspensión del extracto como en el sobrenadante del centrifugado de ambos extractos, en función de la relación compost/solvente.

Una primera observación es que el  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  es menor que el  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Siendo el  $\text{CaCl}_2$  una sal no hidrolizable, los protones adicionales son extraídos de las muestras del compost por la solución, por lo que el  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  es más cercano a la realidad de la muestra. La segunda observación es que el centrifugado de los extractos tiene un efecto importante sobre los valores del pH, bajándolos a causa de una posible disociación de protones adicionales, ubicados en “posiciones de intercambio” debido a la fuerza centrífuga aplicada.



**Figura 2.** pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> y pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> en suspensión y en sobrenadante del centrifugado de los extractos del compost experimental 2 (C2).

En la Tabla 1 se muestran los ajustes lineales a las gráficas de pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> y pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> en suspensión y en el sobrenadante, así como los coeficientes de correlación lineal, ( $r_L$ ) correspondientes a cada ajuste. Según estos resultados, las mediciones realizadas en el sobrenadante del extracto acuoso y en la suspensión del extracto con CaCl<sub>2</sub> 0,01 M son más independientes de la relación compost/solvente; los ajustes de las funciones respectivas a estas mediciones presentan menor pendiente y menor variación neta de pH entre los valores correspondientes a las relaciones 1:2 y 1:10. Por el contrario, los ajustes lineales correspondientes a las mediciones realizadas en la suspensión acuosa y en el sobrenadante del extracto con CaCl<sub>2</sub> 0,01 M presentan una mayor pendiente y una mayor variación de pH. Sin embargo, los coeficientes de correlación lineal muestran que este modelo pudiera no ser el adecuado para aplicar a estos datos.

La Tabla 2 muestra los ajustes cuadráticos para las variaciones de pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> y pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> tanto en suspensión como en sobrenadante, así como los coeficientes de correlación cuadrática, ( $r_C$ ) correspondientes a cada ajuste.

**Tabla 1.** Ajustes lineales para las variaciones de pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> y pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> en suspensión como en sobrenadante.

	Ecuación	$r_L$	pH
Suspensión agua	$y = 8,2325 + 0,0802 x$	0,94984	+0,67
Suspensión CaCl <sub>2</sub>	$y = 7,9375 - 0,0282 x$	0,98565	-0,21
Sobrenadante agua	$y = 8,1825 + 0,0335 x$	0,93005	+0,30
Sobrenadante CaCl <sub>2</sub>	$y = 7,8153 - 0,0548 x$	0,97729	-0,42

Tal como se planteó anteriormente, los coeficientes de correlación cuadrática muestran un mejor ajuste de los datos a este modelo por lo que los datos se ajustan a un modelo curvilíneo. Esto permite ubicar un

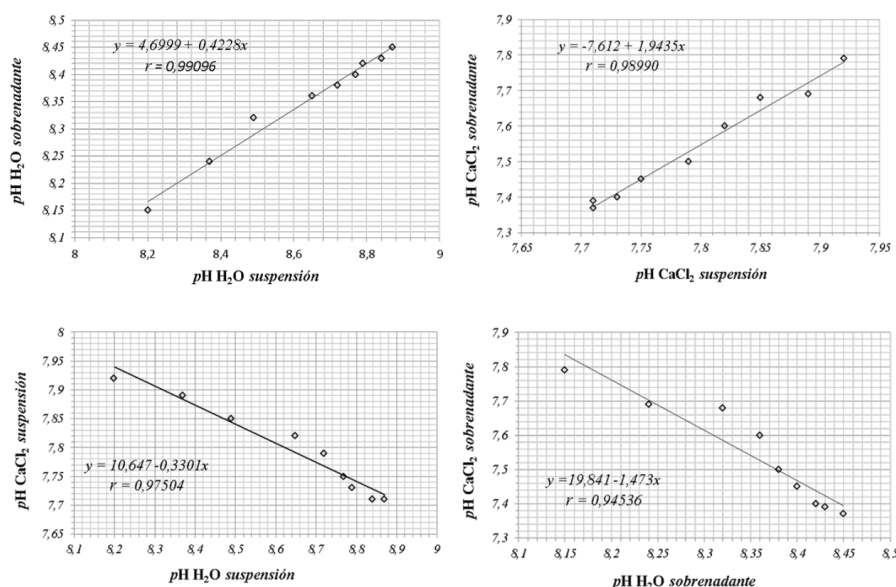


rango de valores de la relación compost/solvente, donde la función polinómica presente mínima pendiente y la medición son más constantes frente a la cantidad de solvente, lo cual ocurre a relaciones superiores a 1:7.

**Tabla 2.** Ajustes polinómicos para las variaciones de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en suspensión como en sobrenadante.

	Ecuación	$r_C$
Suspensión agua	$y = -0,0112x^2 + 0,1922x + 8,0271$	0,99629
Suspensión $\text{CaCl}_2$	$y = 0,0019x^2 - 0,0467x + 7,9714$	0,99649
Sobrenadante agua	$y = -0,0054x^2 + 0,0071x + 0,043$	0,98950
Sobrenadante $\text{CaCl}_2$	$y = 0,0038x^2 - 0,0933x + 7,8857$	0,98950

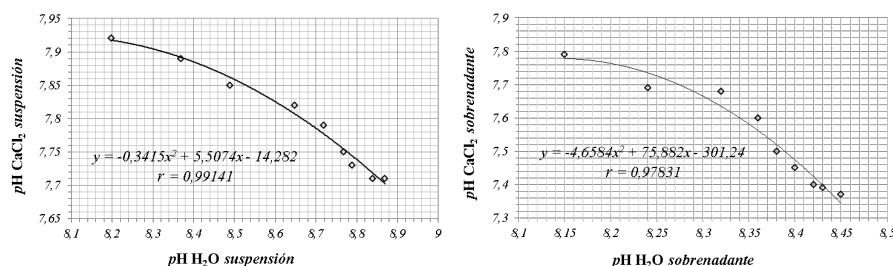
En la Figura 3 se muestran las correlaciones entre  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  tanto en la suspensión como en el sobrenadante, para cada uno de los extractos. En la parte superior de la figura se muestran las correlaciones entre los valores de pH. Los mismos muestran coeficientes de correlación lineal aceptable. Sin embargo, en el caso de las relaciones cruzadas, (parte inferior de la Figura 3), es decir los pH medidos en suspensión y en sobrenadante comparando ambos solventes, los coeficientes de correlación lineal muestran un mal ajuste al modelo lineal. Esto significa que estos valores de pH no presentan correlación entre sí.



**Figura 3.** Ajustes lineales de los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  de los sobrenadantes y suspensión con ambos solventes para el compost experimental 2 (C2).

Al realizar los ajustes cuadráticos para estas últimas correlaciones cruzadas mostrados en la Figura 4 (entre los valores de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en la suspensión y sobrenadante del extracto), se obtienen coeficientes de correlación más altos en relación a los obtenidos en el caso del ajuste lineal. Por lo tanto, se debe considerar

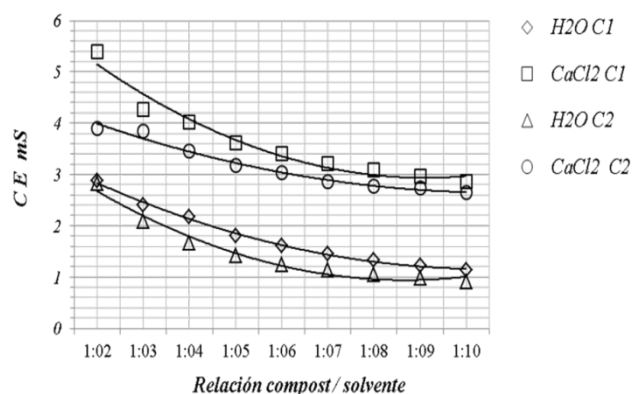
que los datos de  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en la suspensión y en sobrenadante no son interconvertibles por medio de una función lineal, a menos de que esta linealidad sea establecida para un rango de relaciones compost/solvente dada.



**Figura 4.** Ajustes polinómicos de los valores de pH de la suspensión con ambos solventes para el compost experimental 2 (C2).

## Conductividad

En la Figura 5 se muestran los valores de CE para las dos muestras de compost experimentales C1 y C2, tanto en la suspensión del extracto acuoso ( $\text{CE}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) como en el extracto de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, ( $\text{CE}_{\text{CaCl}_2}$ ), en función de la relación compost/solvente. La conductividad medida en el extracto de  $\text{CaCl}_2$  es mayor, debido a la propia conductividad eléctrica del solvente (blanco: 2,05 mS) la cual se puede corregir. El proceso de centrifugado del extracto tiene un efecto poco apreciable sobre las mediciones realizadas, aunque las mediciones son dependientes del valor de la relación compost/solvente.



**Figura 5.** Valores de  $\text{CE}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{CE}_{\text{CaCl}_2}$  en suspensión del extracto, en función de la relación compost/solvente, para dos muestras de compost experimentales diferentes, C1 y C2.

Debido a la similitud en el comportamiento en las mediciones de CE para los compost C1 y C2, se seleccionó el último de estos para continuar el estudio metodológico. En la Figura 6 se muestran los valores del  $\text{CE}_{\text{H}_2\text{O}}$  y  $\text{CE}_{\text{CaCl}_2}$  medidos para el compost C2, tanto en la suspensión del extracto como en el sobrenadante del centrifugado de ambos extractos, en función de la relación compost/solvente.

Si bien las mediciones de la CE son dependientes de la relación compost/solvente, los valores tienden a ser más estables a relaciones más bajas de compost/solvente, es decir, a medida que se incrementa la cantidad de solvente.



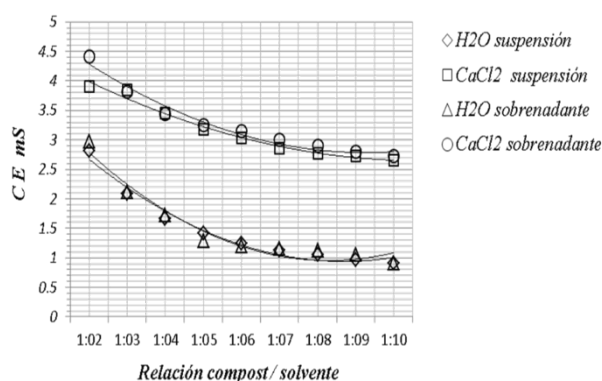


Figura 6.  $CE_{H_2O}$  y  $CE_{CaCl_2}$  en suspensión y en sobrenadante del centrifugado.

Por otro lado, como muestra la Figura 6, las mediciones de CE son independientes del método de medición, es decir, se obtienen valores similares cuando se mide la CE en suspensión o en sobrenadante, de manera que el proceso de centrifugación no ejerce influencia sobre la misma. La Tabla 3 muestra los ajustes lineales para las variaciones de CE en los extractos acuosos y de  $CaCl_2$  tanto en suspensión como en sobrenadante, así como sus coeficientes de correlación lineal respectivos.

Tabla 3. Ajustes lineales para las variaciones de  $CE_{H_2O}$  y  $CE_{CaCl_2}$  en suspensión y en sobrenadante.

	Ecuación	$r_L$
Suspensión agua	$y = 2,5183 - 2,5183 x$	0,90995
Suspensión $CaCl_2$	$y = 3,1668 - 0,1668 x$	0,96364
Sobrenadante agua	$y = 2,5625 - 0,2118 x$	0,87441
Sobrenadante $CaCl_2$	$y = 4,2067 - 0,1860 x$	0,93183

El ajuste cuadrático, mostrado en la Tabla 4, produce mejores coeficientes de correlación cuadrática,  $r_C$ , que los correspondientes al ajuste lineal,  $r_L$ , lo que significa que los datos no se ajustan a una proporcionalidad directa. Esto permite, entonces, escoger la parte de la curva con menor pendiente para realizar las mediciones, ya que en esta zona de la función las mediciones son más independientes de la cantidad de solvente. Esto sucede a relaciones compost/solvente mayores a 1:7.

Tabla 4. Ajustes polinómicos para las variaciones de  $CE_{H_2O}$  y  $CE_{CaCl_2}$  en suspensión y en sobrenadante.

	Ecuación	$r_C$
Suspensión agua	$y = 0,0388 x^2 - 0,5966 x + 3,2302$	0,98772
Suspensión $CaCl_2$	$y = 0,0177 x^2 - 0,3438 x + 4,3152$	0,99106
Sobrenadante agua	$y = -0,0461 x^2 - 0,6732 x + 3,4083$	0,97509
Sobrenadante $CaCl_2$	$y = 0,0284 x^2 - 0,4698 x + 4,7269$	0,98590

En la Figura 7 se muestran las curvas de regresión de  $CE_{H_2O}$  y  $CE_{CaCl_2}$  en la suspensión y en el sobrenadante del extracto respectivo. Los valores de  $CE_{H_2O}$ , medidos tanto en sobrenadante como en suspensión, muestran correlación lineal aceptable, tal como lo indican los coeficientes de correlación lineal mostrados en las figuras. Sin embargo, para las mediciones de la  $CE_{CaCl_2}$  en la suspensión y en el sobrenadante del extracto, la relación lineal está comprometida.

En el caso de las relaciones cruzadas, las CE medidas en suspensión y en sobrenadante en ambos solventes se ajustan más a un modelo cuadrático tal como lo sugiere el coeficiente de correlación obtenido. Las mediciones realizadas en el sobrenadante muestran un mejor ajuste a un modelo lineal, tal como lo muestra el coeficiente de correlación obtenido. Según estos resultados, las mediciones de CE en las muestras de compost deberían realizarse mejor en extracto acuoso, independientemente de que sean en suspensión o en sobrenadante a relaciones mayores de 1:6 donde los valores de conductividad son más independientes del valor de la relación compost/solvente.

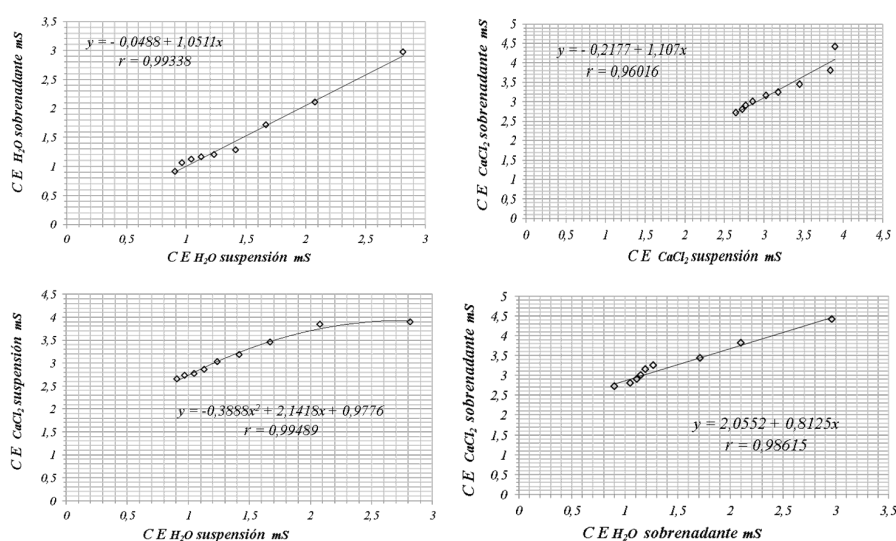


Figura 7. Ajustes a modelos lineales y polinómicos de los datos de correlación.

Se estudiaron condiciones experimentales donde las mediciones de pH y CE fueran lo más independientes del valor de la relación compost/solvente. Los resultados confirmaron una dependencia de los valores de pH con respecto al valor de esta relación, especialmente si el solvente era agua, debido al efecto de la dilución y al cambio en la fuerza iónica de la solución ( 8 ). Esta dependencia no responde a un ajuste lineal sino más bien a un modelo cuadrático, tal como lo muestran los coeficientes de correlación mostrados en las Tablas 1 y 2. También, la solución de CaCl<sub>2</sub> 0,01 M provee una fuerza iónica más uniforme y por ello las mediciones de pH son más estables o más independientes de la relación compost/solvente ( 14 ). Por otro lado, los valores más bajos de  $pH_{CaCl_2}$  obtenidos indican que el CaCl<sub>2</sub> 0,01 M es más eficiente en la extracción de protones libres en relación al extracto acuoso, por lo que el  $pH_{CaCl_2}$  es más cercano a la realidad del compost.

La centrifugación del extracto acuoso tiene un efecto significativo en los valores del pH medidos los cuales son más bajos debido probablemente a una disociación de protones adicionales causado por la fuerza centrífuga. Sin embargo, estos valores muestran una mayor independencia de la relación compost/solvente, especialmente sobre la relación 1:7. Según estos resultados, la medición de pH habría que realizarla en el centrifugado del extracto acuoso a una relación compost/solvente superior a 1:6, ya que a partir de este valor las mediciones de pH son menos dependientes de la cantidad de agua en el extracto. En el extracto acuoso, las mediciones de pH, realizadas tanto en la suspensión como en el sobrenadante, mantienen una correlación lineal aceptable, tal como lo muestra el coeficiente de correlación en la Figura 3.

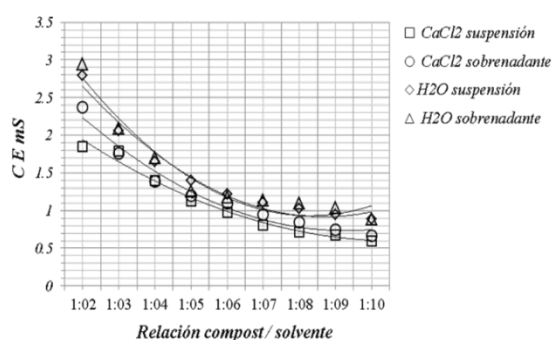
Por otro lado, las mediciones de  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , realizadas en la suspensión del extracto, presentan una mejor estabilidad frente a la relación compost/solvente en relación a las mediciones realizadas en el sobrenadante del centrifugado. Sin embargo, ambas responden a un modelo de ajuste cuadrático. Según estos resultados, de realizar la medición de pH en el extracto de  $\text{CaCl}_2$  debería medirse en la suspensión del extracto entre las relaciones 1:4 hasta 1:8, donde las mediciones son más independientes del valor de la relación compost/solvente. Igualmente, para el extracto de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, las mediciones de pH, realizadas tanto en la suspensión del extracto como en el sobrenadante del centrifugado, presentan una relación de tipo lineal, lo que significa que hay una equivalencia directa entre los valores de la suspensión y el sobrenadante para cada uno de los solventes.

Las correlaciones cruzadas, es decir,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  vs  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en suspensión y  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  vs  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  en sobrenadante no presentan correlación lineal. Estas relaciones responden más bien a una función de tipo cuadrática, este ajuste de los datos proporciona mejores coeficientes de regresión tal como lo muestra la Figura 4.

Las mediciones de CE muestran una dependencia inversa con la cantidad de solvente en el extracto ya que esta disminuye con la dilución. Sin embargo, esta disminución no es del tipo lineal, sino cuadrática tal como lo sugieren los ajustes y coeficientes de correlación mostrados en las Tablas 3 y 4.

No se registran diferencias significativas en las mediciones de la CE realizadas tanto en las suspensiones como en los sobrenadantes, para cada uno de los solventes, es decir que resulta indiferente realizar la medición sea en la suspensión como en el sobrenadante. Por lógica, la conductividad medida en el extracto de  $\text{CaCl}_2$  0,01 M es mayor, sin embargo, esta puede ser corregida sustrayendo el blanco de la medición, es decir, la CE de la solución de  $\text{CaCl}_2$ .

En la Figura 8 se muestran las mediciones de la CE realizadas en el extracto acuoso y de  $\text{CaCl}_2$  corregidas por la sustracción del blanco ( $\text{H}_2\text{O}$  destilada: 0,022 mS; solución de  $\text{CaCl}_2$ : 2,050 mS). En el caso de los extractos acuosos, la sustracción del blanco no es significativa ya que la CE del agua destilada es menor que la apreciación con que es medida la CE del extracto. Después de la corrección del blanco de la solución de  $\text{CaCl}_2$ , los valores de CE son significativamente menores que los correspondientes a los extractos acuosos (prueba datos apareados para 95% de probabilidad).



**Figura 8.** Valores de CE en extracto acuoso y de  $\text{CaCl}_2$  corregidos del blanco.  $\text{CE}_{\text{CaCl}_2}$  2,050 mS,  $\text{CE}_{\text{H}_2\text{O}}$  0,022 mS.

Las mediciones de CE realizadas en la suspensión del extracto de  $\text{CaCl}_2$  son en promedio un 24,2% menores que las correspondientes a la suspensión del extracto acuoso. Por otro lado, las mediciones realizadas en el sobrenadante del extracto de  $\text{CaCl}_2$  son solo un 17,3 % menores que las respectivas al extracto acuoso.

En la Figura 9 se muestran las correlaciones de las medidas de CE corregidas, realizadas tanto en suspensión como en el sobrenadante del extracto  $\text{CaCl}_2$  en relación al extracto acuoso. Las relaciones obtenidas sugieren una relación lineal, especialmente en las mediciones realizadas en suspensión del extracto, donde el coeficiente de correlación lineal es más cercano a uno (1). Sin embargo, debido a las diferencias significativas entre los valores para los diferentes solventes, estas mediciones no son equivalentes entre sí.

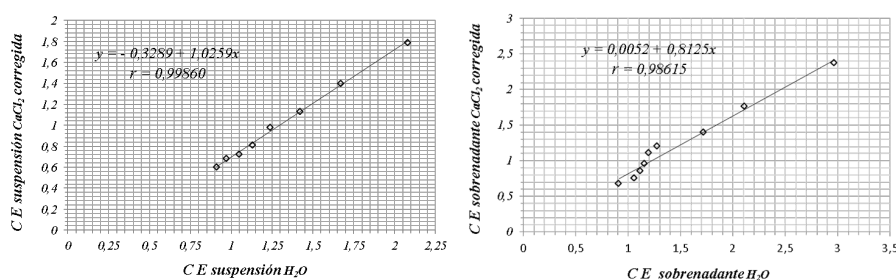


Figura 9. Correlaciones de las medidas de CE corregidas realizadas tanto en suspensión como en el sobrenadante del extracto  $\text{CaCl}_2$  en relación al extracto acuoso.

## CONCLUSIONES

Debido a la dependencia de las mediciones de pH y CE del valor de la relación compost/solvente, se buscaron unas condiciones experimentales donde estas mediciones fueran lo más independientes del valor de esta relación, a fin de garantizar mediciones más exactas. Según los resultados obtenidos en el trabajo, las mediciones de pH deberían realizarse en el sobrenadante del extracto acuoso a relaciones compost/solvente superiores a 1:6 o, en la suspensión del extracto con  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, a una relación compost/solvente entre 1:4 a 1:7. Lo anterior, debido a que, en estas relaciones, las mediciones de pH son menos dependientes de la cantidad de solvente en el extracto. Por otro lado, es mejor que las mediciones de CE en las muestras de compost se realicen en extracto acuoso, independientemente de si se toman en suspensión o en sobrenadante, a relaciones mayores de 1:6, donde los valores de conductividad son más independientes del valor de la relación compost/solvente. Sin embargo, los valores de la CE, después de la corrección del blanco, son significativamente mayores en el extracto acuoso, inclusive a relaciones compost/solvente superiores a 1/06.

## REFERENCIAS

1. Pérez, A.; Céspedes, C.; Núñez, P. Caracterización Físico-Química y Biológica de Enmiendas Orgánicas Aplicadas en la Producción de Cultivos en República Dominicana. R. C. Suelo Nutr. Veg. 2008, 8 (3), 10-29.
2. Millán, F.; Hétier, J. M. Apéndice Analítico: Métodos de análisis de suelo, Descripción y Reflexiones. En: Tierras Llaneras de Venezuela... Tierras de Buena Esperanza. López, R.; Hétier, J. M.; López, D.; Schargel, R.; Zinck, A.; Eds.; Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes: Mérida, Venezuela, 2015; pp 697 – 863. ISBN: 978-980-11-1781-0.
3. Tan, K. H. Principles of Soil Chemistry. 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 1993; pp 267 – 271. ISBN: 0-8247-8989-X.
4. Tan, K. H. Soil Sampling, Preparation and Analysis. Marcel Dekker, Inc., New York, 1996; pp 106 – 107. ISBN: 0-8247-9675-6.
5. Dahlgren, R. A.; Walker, W. J. Solubility control of KCl extractable aluminum in soils with variable charge. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1994, 25 (11-12), 2201 – 2214. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629409369182>.
6. Sarooshi, R. A.; Weir, R. G.; Barchia, I. M. Soil pH, extractable phosphorus and exchangeable cations as affected by rates of fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium applied over several years to Valencia orange trees. Aust J Exp Agric, 1994, 34, 419-42. DOI: <https://doi.org/10.1071/ea9940419>.
7. Pansu, M.; Gautheyrou, J.; Loyer, J-Y, L'analyse du sol. Echantillonnage, instrumentation et controle. Manson, Paris, 1998; pp 92. ISBN: 2-225-83130-0.
8. Aitken, R. L.; Moody, P. W., Interrelations between Soil pH Measurement in Various Electrolytes and Soil Solution pH in Acidic Soils. Aust. J. Soil Res. 1991, 29, 483 – 491. DOI: <https://doi.org/10.1071/sr9910483>.

9. Sadzawka, A.; Carrasco, M. A.; Grez, R.; Mora, M., Métodos de análisis de compost. NCh 2880, Métodos TMECC 04.11: determinación electrométrica de pH y TMECC 04.10: Conductividad eléctrica para compost. INIA Chile, Serie Actas INIA No. 30. 2005.
10. Houba, V. J. G.; Novosamsky, I.; Lexmond, Th. M.; Van Der Lee, J. J. Applicability of 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as a Single Extraction Solution for the Assessment of the Nutrient Status of Soils and Other Diagnostic Purposes. Commun. In Soil Sci. and Plant Anal. 1990, 21, (19-20), 2281 – 2290. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103629009368380>.
11. Melgarejo, M. P.; Ballesteros, M. I.; Bendeck, M. Evaluación de algunos Parámetros Físico Químicos y Nutricionales en Humus de Lombriz y Compost Derivados de Diferentes Sustratos. Rev. Colomb. Quím., 1977, 26 (2), 11 – 19.
12. Rodríguez Macías, R.; Alcantar González, E. G.; Iñíguez Covarrubias, G.; Zamora Natera, F.; García López, P. M.; Ruiz López, M. A., et al. Caracterización Física y Química de Sustratos Agrícolas a partir de Bagazo de Agave Tequilero. INTERCIENCIA, 2010, 35 (7), 515-520.
13. Norma Técnica Colombiana 5167. Productos para la Industria Agrícola, Productos Orgánicos usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas. 2004.
14. Houba, V. J. G.; Novosamsky, I.; Huybregts, A. W. M.; Van Der Lee, J. J.. Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl<sub>2</sub> by EUF and by some conventional extraction procedures. Plant Soil. 1986, 96, 433 – 437. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf02375149>.
15. Houba, V. J. G.; Lexmond, Th. M.; Novosamsky, I.; Van Der Lee, J. J. State of the Art and Future Developments in Soil Analysis for Bioavailability Assesment. Sci. Total Environ. 1996, 178, 21 – 28. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04793-x](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04793-x).
16. Slattery, W.J.; Burnett, V. F. Changes in soil pH due to long term soil storage. Aust. J. Soil Res. 1992, 30 (2), 169 – 175. DOI: <https://doi.org/10.1071/sr9920169>.
17. CIDIAT. Taller II de Enmiendas y Abonos Orgánicos. Métodos y Procedimientos analíticos Aplicables en Abonos y enmiendas Orgánicas: Hacia la Normalización. ULA - CIDIAT, Mérida. 2012.
18. Sánchez, A.; Millán, F.; Prato, J. G. Caracterización de materiales compostados a partir de residuos vegetales de los mercados municipales de la ciudad de Mérida. Publicación “in extensu” memorias XX Congreso de la Sociedad venezolana de la Ciencia del Suelo, Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Centrales “Rómulo Gallegos”, San Juan de Los Morros, 2013.