

Evaluación de dos tecnologías de análisis químico en sustratos y suelo: electrodos selectivos versus métodos convencionales

Sofia Janeth Manssur Tomala

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de dos tecnologías de análisis químico en sustratos y suelo: electrodos versus métodos convencionales

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico Licenciatura

Presentado por

Sofia Janeth Manssur Tomala

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2020

Evaluación de dos tecnologías de análisis químico en el sustratos y suelo: electrodos selectivos versus métodos convencionales

Presentado por:

Sofia Janeth Manssur Tomala

Aprobado:



Gloria Gauggel (Nov 21, 2020 23:59 CST)

Gloria E. Arévalo, Dra.
Asesora Principal.



Rogel Castillo M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y Producción
Agropecuaria



Hugo Ramirez, Ph.D.
Asesor



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico



E. Aguilera (Nov 23, 2020 08:12 CST)

Eunice Aguilera, Ing. Quim.
Asesora

Evaluación de dos tecnologías de análisis químico en sustratos y suelo: electrodos selectivos versus métodos convencionales

Sofia Janeth Manssur Tomala

Resumen. Las nuevas tecnologías de análisis químico en medios de producción reciben procesos de validación previamente a implementarlas en un laboratorio, como el Kit Imacimus creado por la empresa “NT Sensors”, implementado en esta investigación con propósito de evaluar dos tecnologías de análisis químico de iones solubles en el suelo y sustratos: electrodos versus métodos convencionales y validar el método de los electrodos para medir ocho parámetros químicos en suelos y sustratos. Ambos, realizados en el Laboratorio de Suelos Zamorano. El estudio consistió en siete muestras con tres repeticiones tomados de suelos y sustratos en la sección de Olericultura intensiva, Zona 3, EAP Zamorano, en las que se analizó pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , Cl^- y NO_3^- . El análisis estadístico consistió en elaborar correlación lineal simple, diagrama de dispersión y coeficiente de determinación, para conocer el grado de asociación entre los métodos evaluados. Los resultados mostraron alta correlación de los métodos en los parámetros pH, potasio, magnesio, calcio y sodio, tanto en suelos como en sustratos; correlación moderada en amonio y cloruro; mientras que nitrato obtuvo baja correlación en suelos y moderada en sustratos. En conclusión, de los ocho electrodos Imacimus evaluados, no todos tienen la misma habilidad predictiva, ya que, son equivalentes en la detección en sustratos (pH, Na^+ , Cl^-) y en suelos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-). El K^+ se puede medir con los electrodos Imacimus, pero encontrando su equivalencia con la ecuación de regresión, en nitrato y amonio no es confiable aplicar dicha ecuación bajo las condiciones analizadas.

Palabras clave: Análisis de suelos, electrodos, elementos químicos.

Abstract. New technologies for chemical analysis in production means receive validation processes prior to implementation in a laboratory, such as the Kit Imacimus created by the NT Sensors company. Implemented in this research with the purpose of evaluating two technologies for the chemical analysis of soluble ions in the soil and substrates: electrodes versus conventional methods, and to validate the electrode method to measure eight chemical parameters in soils and substrates. Both were carried out at the Zamorano Soil Laboratory. The study consisted of seven samples with three replications taken from soils and substrates in the Intensive Olericulture section, EAP Zamorano, in which pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , Cl^- and NO_3^- were analyzed. The statistical analysis consisted of developing a simple linear correlation, scatter diagram and determination coefficient, to know the degree of association between the evaluated methods. The results showed a high correlation of the methods in the parameters pH, potassium, magnesium, calcium, and sodium both in soils and in substrates; moderate correlation in ammonium and chloride; while nitrate obtained low correlation in soils and moderate in substrates. In conclusion, of the eight Imacimus electrodes evaluated, not all have the same predictive ability since they are equivalent in detection in substrates (pH, Na^+ , Cl^-) and in soils (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-). The K^+ can be measured with Imacimus electrodes, but finding its equivalence with the regression equation, in nitrate and ammonium it is not reliable to apply said equation under the conditions analyzed.

Keywords: Analysis of soils, electrodes, chemical elements.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Cuadros y Figuras	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
4. CONCLUSIONES.....	24
5. RECOMENDACIONES.....	25
6. LITERATURA CITADA.....	26

ÍNDICE DE CUADROS Y FÍGURAS

Cuadros	Página
1. Datos generales de las muestras de sustratos de los cultivos en macrotúneles de Zona 3. Unidad de Olericultura, EAP Zamorano, Honduras.....	4
2. Datos generales de las muestras de suelo tomadas el 6/16/2020 en el Lote 2, Zona 3, Unidad de Olericultura, EAP Zamorano, Honduras.....	4
3. Concentración de los fertilizantes aplicados en los sustratos de los macrotúneles y en los suelos del Lote 2. Unidad de Olericultura, EAP Zamorano, Honduras.....	5
4. Programa semanal de fertirrigación mineral en el cultivo de chile, aplicado en el macrotúnel 1 (kg/ha/semana). Unidad de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.....	5
5. Programa semanal de fertirrigación mineral en el cultivo de chile, aplicado en el macrotúnel 3 (kg/ha/semana). Unidad de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.....	6
6. Programa de fertilización mineral en tomate, aplicado en el Macrotúnel 4. (kg/ha/semana). Unidad de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.....	6
7. Programa semanal de fertirrigación para cultivo de tomate híbrido Pony Express (HM Clause) y melón híbrido Tacana (HM Clause). Lotes 2b y 2c. Unidad de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.....	7
8. Coeficientes de correlación obtenidos durante la de calibración con tres soluciones patrón de los sensores de los diferentes electrodos.....	9
9. Interpretación de las concentraciones de iones solubles del extracto de saturación.....	10
10. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos, conductividad eléctrica (CE) y pH de los macrotúneles y suelos del lote evaluados durante la investigación.....	12
11. Resultados de análisis químico de pH, potasio, calcio y magnesio en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB), en sustratos a base de olote de raquis de maíz picado y compost 1:1 v/v, usado para la producción de cultivos en macrotúnel, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.....	13
12. Resultados de análisis químico de pH, potasio, calcio y magnesio en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB), en suelos del lote 2, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.....	13
13. Resultados de análisis químico de amonio, sodio, cloruro y nitrato en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB), en sustratos a base de olote de raquis de maíz picado y compost 1:1 v/v, usado para la producción de cultivos en macrotúnel, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva EAP Zamorano, Honduras.....	17
14. Resultados de análisis químico de amonio, sodio, cloruro y nitrato en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB), en suelos del lote 2, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.....	17
15. Comparación de resultados de las dos tecnologías de análisis químico en sustrato y suelo: electrodos (IMACIMUS) versus métodos analíticos convencionales (LAB).....	18
16. Coeficientes de correlación lineal simple (r) de los métodos de análisis químico: elec-	

trodos Imacimus y métodos analíticos convencionales en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	22
17. Coeficientes de determinación (R^2) de los métodos de análisis químico en suelos y sustratos. Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.....	23

Figuras	Página
1. Zona 3, Zona 3, Unidad de Aprendizaje y Producción de Olericultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras	3
2. Soluciones para calibración Multi ION de los electrodos de ion selectivo, Standard n° 1, n° 2, y n° 3.....	8
3. Diagrama de dispersión de pH en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.	19
4. Diagrama de dispersión de potasio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	19
5. Diagrama de dispersión de calcio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	20
6. Diagrama de dispersión de magnesio sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	20
7. Diagrama de dispersión de amonio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	20
8. Diagrama de dispersión de sodio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	21
9. Diagrama de dispersión de cloruros en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.....	21
10. Diagrama de dispersión de nitrato en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos orgánicos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.	21

1. INTRODUCCIÓN

El término calidad de suelo varía según el objetivo de quien lo observa, mientras que para los ambientalistas significa capacidad de sustentar la biodiversidad, para el administrador / productor significa disponibilidad del suelo para una mejor productividad y para los consumidores es la representación de producción de alimentos sanos (Bautista *et al.* 2004). Debido a lo mencionado, el término es regularmente usado como indicador integral de la calidad ambiental, seguridad alimentaria y viabilidad económica. Por ende, el análisis de suelos es fundamental, ya que, permite conocer el estado y la funcionalidad de los suelos en los que se trabaja y de esta manera la toma de decisiones sería menos compleja y más adecuada (García *et al.* 2012).

El origen de los análisis químicos foliar y edáfico surge a partir del siglo XVIII, a raíz de la teoría de la química moderna. En Europa (Francia e Inglaterra), se enfocaron en investigaciones analizando el suelo con visión agrícola y química, se determinó que las plantas contenían elementos derivados del agua, tierra y el aire. Además, relacionaron los compuestos químicos como el CO₂ con el aire y el suelo, y cómo estas interacciones repercuten en el crecimiento de las plantas (Navarro s.f.). La industria de fertilizantes, cuyas bases establecida a finales del siglo XIX, dio lugar a la creación del primer laboratorio dirigido a la agronomía en Nantes - Francia (1851), con el objetivo de controlar la calidad de los fertilizantes y analizar los suelos (Rebollo *et al.* 2005).

En los laboratorios se utilizan equipos de química analítica para analizar suelos y tejidos, mediante la aplicación de métodos convencionales validados y reconocidos internacionalmente (Arévalo y Gauggel 2019). Los análisis químicos de suelos y sustratos, parte de la obtención de los nutrientes presentes en cada muestra tomada y para determinar concentraciones se realiza diferentes métodos de análisis de iones solubles, cuya selección se ven influenciada por su eficacia en la zona agrícola analizada (López s.f).

El uso de nuevas tecnologías está en ascenso, buscando cubrir las necesidades que aparecen con la evolución, la agricultura de precisión requiere de sistemas que den resultados de manera rápida y veraz, para ejercer con eficiencia su trabajo. En la actualidad existen equipos como Veris MSP3 que cuenta con el pH sampler, que mide el pH automatizado mediante el contacto directo con el suelo (Novais *et al.* 2019), cuando se obtienen resultados anormales de pH en determinadas áreas, estos sirven como guía para proceder con análisis de laboratorios y así conocer la disponibilidad de los elementos químicos.

Los sensores de condiciones químicas como pH, CE (conductividad eléctrica) y iones solubles nutrientes como nitratos, cloruros, amonio, magnesio, potasio, calcio y sodio, son las nuevas herramientas de la agricultura de precisión. Sin embargo, los nutrientes no pueden ser analizados directamente del suelo, requiere de una separación de muestra y suelo, para ello es necesario el uso de una sonda al vacío que extraiga los nutrientes solubles del suelo para luego ser determinados mediante lectores de multiparámetros como el Kit IMACIMUS, el cual se evalúa en el presente informe (NT Sensors 2018).

La empresa “NT Sensors” que ha estado enfocada en el desarrollo de electrodos selectivos de iones, creó el equipo IMACIMUS Multi Ion, que permite obtener la concentración de hasta 10

parámetros (pH, CE, NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y dureza/bicarbonatos) en 60 segundos. Para su validación la empresa realizó un informe comparativo con los resultados obtenidos de cuatro diferentes laboratorios que analizaron la misma muestra utilizando el equipo IMACIMUS. Concluyeron que, aunque haya variaciones en los análisis entre laboratorios y el equipo evaluado, las diferencias no son significativas (NT Sensors s.f).

Debido a que los métodos convencionales son procesos largos, se requiere tiempo para obtener los resultados analíticos de la muestra, en algunos casos más de una semana, sin embargo, el demandante crecimiento de la agricultura de precisión necesita otros métodos que agilicen la obtención de dichos resultados en especial el de pH y materia orgánica que son factores relevantes de producción. A causa de la demanda de resultados en menor tiempo y para facilitar el trabajo dentro del laboratorio se ha creado IMACIMUS Multi Ion, pero antes de ser usado en los análisis de laboratorio debe ser probado mediante experimentos y análisis estadístico que validen la veracidad de los resultados obtenidos (NT Sensors s.f).

La validación de equipos como este brinda beneficios a los usuarios, ya que, los análisis de suelo se realizan de una forma más práctica, lo que permite entregar rápidamente los resultados de los análisis químicos del pH y iones solubles como, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , Cl^- y NO_3^- . Una vez validada esta técnica analítica se puede integrar su uso en el Laboratorio de Suelos de Zamorano, como una opción entre sus servicios brindados y el aprendizaje de nuevas técnicas en la formación de los estudiantes.

Los objetivos del estudio fueron:

- Evaluar dos tecnologías de análisis químico de iones solubles en el suelo y sustratos: electrodos versus métodos convencionales.
- Validar el método de los electrodos para medir ocho parámetros químicos en suelos y sustratos.
- Determinar habilidad predictiva entre análisis químico convencional y prueba rápida Kit Imacimus.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La parte práctica de esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (LSZ), ubicado en el municipio de San Antonio de Oriente, Honduras. Las muestras de suelo fueron tomadas de dos condiciones diferentes de producción de hortalizas del programa de Olericultura en Zona 3, de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Se tomó muestra del suelo virgen, es decir, en donde no ha habido cultivo, además de tomar muestra en un suelo aledaño a estos en cultivo de tomate y de melón, los tres en el Lote 2 (2a, 2b y 2c). También se obtuvieron muestras de sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 bajo producción de tomate y chile en diferentes etapas (Figura 1).

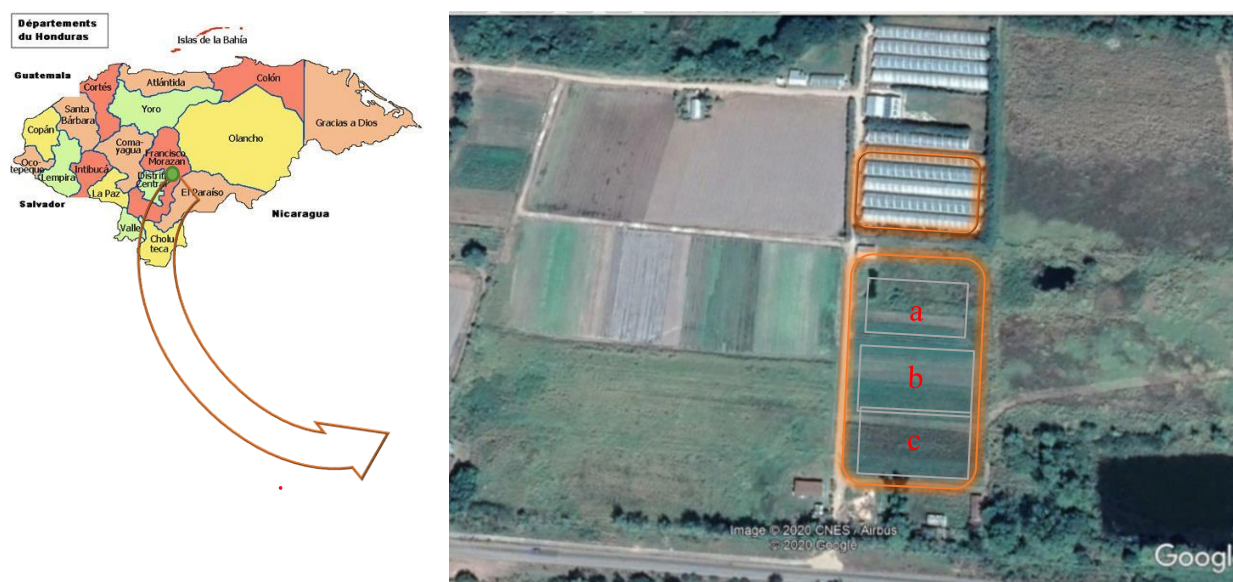


Figura 1. Zona 3, Unidad de Aprendizaje y Producción de Olericultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Muestreos en los Sustratos y Suelo

En macrotúneles

Los macrotúneles donde se realizaron los muestreos tienen un área de 940 m^2 . En cada ciclo de producción se tienen aproximadamente 1,600 plantas colocadas en bolsas plásticas negras con un volumen de 8 a 10 L. En este sentido se tiene una densidad promedio de 1.7 bolsas/m^2 . El cultivo de chile se trasplanta a una planta por bolsa y en tomate dos plantas por bolsa. Los cultivos en los macrotúneles reciben riego y fertilizantes, con un equipo automatizado o sistema de fertirrigación de precisión (NETAJET/Netafim) y como medio de cultivo se usa sustrato compuesto de 50% por olote picado y un 50% por compost. Las edades de los sustratos y los cultivos fueron diferentes en cada macrotúnel, dependiendo de las semanas de uso que tenían desde su trasplante (Cuadro 1). Es una práctica en esta unidad de producción, que el sustrato sea usado durante dos ciclos del

cultivo (caso específico para el cultivo chile), es decir, que cada 12 meses se cambia el sustrato del macrotúnel.

El muestreo de los sustratos se inició con el macrotúnel 1 que estaba en producción de chile Morrón (*Capsicum annuum* L.) híbrido Alliance (HMClause, USA). Este cultivo se encontraba en la etapa de producción II con más de 45 días después de trasplante (ddt). Luego se continuó el muestreo del sustrato en el macrotúnel 3 donde ya había finalizado el ciclo de cultivo y finalmente en el macrotúnel 4 que se encontraba sembrado con el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum* L) híbrido Matías (Semini's vegetable seeds, USA). Este cultivo estaba en su segunda etapa del ciclo productivo con 12 semanas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Datos generales de las muestras de sustratos de los cultivos en macrotúneles de Zona 3. Unidad de Olericultura, EAP Zamorano, Honduras.

Etapas de producción	Semanas de uso	Cultivo	Macrotúnel	Fecha de siembra
Sustrato nuevo	0	Sin cultivo	7	
II	7	Chile Morrón	1	05/01/2020
II	12	Tomate	4	3/27/2020
Cultivo finalizado	40	Chile Morrón	3	09/07/2019

Fuente: Caballero C. Instructora de la Unidad de Olericultura Intensiva. EAP Zamorano, Honduras

En suelo

Las muestras de suelo correspondieron de los lotes en producción con los cultivos melón y tomate. El melón híbrido Tacana (HMClause, USA) fue trasplantado a campo el 28 de enero del 2020 y el tomate híbrido Pony Express (HMClause, USA) el 15 de mayo del mismo año, ambos en el lote 2 de Zona 3 (2b: tomate y 2c: melón), donde se ubica el programa de Olericultura extensiva de la EAP, Zamorano (Cuadro 2). La cosecha del melón finalizó el 18 de abril del 2020, mientras que la cosecha del tomate fue durante el mes de agosto de 2020.

Cuadro 2. Datos generales de las muestras de suelo tomadas el 6/16/2020 en el Lote 2, Zona 3, Unidad de Olericultura, EAP, Zamorano, Honduras.

Lote	Cultivo	Fecha de trasplante (mes/día/año)	Semanas del cultivo	Etapas de producción
2a [‡]	Sin cultivo			
2b	Tomate	5/15/2020	4	Etapas I
2c	Melón	1/28/2020	21	Cultivo finalizado

[‡]Sin cultivo.

Fuente: Caballero C. Instructora de la Unidad de Olericultura Intensiva. EAP Zamorano, Honduras

Fertilización

Los fertilizantes que usan en el programa de fertilización de Zona 3 son hidro solubles. Estos fertilizantes son fosfato mono potásico (Prayon S.A. s.f.), fosfato mono amónico (Prayon S.A. s.f.), nitrato de amonio (Fermagri 2018), nitrato de calcio (Haifa s.f.), nitrato de potasio (Haifa s.f.), sulfato de magnesio (Fermagri 2018), sulfato de potasio (Fermagri 2018) y urea (Fermagri 2018), de concentraciones conocidas (Cuadro 3), que aportan lo iones a la solución de fertirriego.

Cuadro 3. Concentración de los fertilizantes aplicados en los sustratos de los macrotúneles y en los suelos del Lote 2. Unidad de Olericultura, EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	N	P₂O₅	K₂O	CaO	MgO	S
Fosfato mono potásico		52.1	34.5			
Fosfato mono amónico	12.0	61.4				
Nitrato de amonio	33.5					
Nitrato de calcio	15.5			26		
Nitrato de potasio	13.0		46.0			
Sulfato de magnesio					16	13
Sulfato de potasio			50.0			18
Urea	46.0					

Programa de fertilización en macrotúnel

Los programas de fertilización se elaboran de acuerdo con el cultivo y la etapa de producción, por lo que se usa diferentes programas. En el macrotúnel 1 el cultivo de chile al tener siete semanas recibió fertilizantes correspondientes a la segunda fase (Cuadro 4). El sustrato del macrotúnel 3 con residuos de la fertilización recibida en las tres fases del cultivo de chile el cual ya había finalizado antes de hacer el muestreo (Cuadro 5). El macrotúnel 4 con tomate manzano (*Solanum lycopersicum* L.) en etapa II con 12 semanas recibía fertirrigación mineral para segunda fase del cultivo (Cuadro 6).

Cuadro 4. Programa semanal de fertirrigación mineral en el cultivo de chile, aplicado en el macrotúnel 1, (kg/ha/semana). Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	FASE I (6-45 DDT)	FASE II (46-150 DDT)	FASE III (151 -185 DDT)
Fosfato mono potásico	1.9	1.8	2.3
Nitrato de amonio	12.9	0.0	0.0
Nitrato de calcio	28.0	22.8	6.3
Nitrato de potasio	8.0	15.9	7.0
Sulfato de magnesio	6.2	7.5	5.9
Sulfato de potasio	13.9	35.6	11.5
Urea	6.9	2.9	5.4

Fuente: Programa de fertilización para chile en macrotúnel. Sección Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

Cuadro 5. Programa semanal de fertirrigación mineral en el cultivo de chile, aplicado en el macrotúnel 3, (kg/ha/semana). Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	Fase I (6-25 DDT)	Fase II (26-45 DDT)	Fase III (46-185 DDT)
Fosfato mono potásico	0.7	0.7	0.7
Nitrato de calcio	1.4	1.7	1.9
Nitrato de potasio	0.7	0.9	0.0
Sulfato de magnesio	1.2	1.4	1.5
Nitrato de amonio	0.3	0.3	0.3
Semanal	Aplicación de 25 mL de ácido orto fosfórico en el último riego. Se deja en las cintas y se lava el día siguiente.		

Fuente: Programa de fertilización para tomate en macrotúnel. Sección Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

Cuadro 6. Programa de fertilización mineral en tomate, aplicado en el Macrotúnel 4, (kg/ha/semana). Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	FASE I (6-45 DDT[¥])	FASE II (46-150 DDT)	FASE III (151 -185 DDT)
Fosfato mono potásico	0.1	0.1	0.1
Fosfato mono amónico	0.9	0.8	0.8
Nitrato de amonio	12.9	12.8	4.1
Nitrato de calcio	28.0	27.7	8.9
Nitrato de potasio	0.8	15.9	8.1
Sulfato de magnesio	6.2	7.5	5.9
Sulfato de potasio	13.9	35.6	12.1
Urea	6.9	4.6	0.5
Observación:	Aplicación semanal de 25 mL de ácido fosfórico en el último riego. Se deja en las cintas y se lava el día siguiente.		
	Aplicación de Vitel (Micronutrientes) 1,700 g distribuidos en todo el ciclo del cultivo.		
	Aplicación de ácidos húmicos y melaza en todos los riegos diarios.		

[¥]Días después de trasplante.

Fuente: Programa de fertilización para tomate en macrotúnel. Sección Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

Programa de fertilización de cultivos en suelo

Al encontrarse en el mismo terreno las características físicas y químicas del suelo son muy similares, por ende, el plan de fertirrigación fue similar en los dos cultivos. Solo hay una pequeña diferencia en la etapa de inicio de llenado de fruto para melón que fue a los 45 días después del trasplante (ddt) y en el caso del tomate a los 50 a 55 ddt. En esta etapa se dobló el potasio, se disminuyó el nitrógeno y magnesio en un 40 a 45% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cronograma semanal de fertirrigación para cultivo de tomate híbrido Pony Express (HM Clause) y melón híbrido Tacana (HM Clause). Lotes 2b y 2c. Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.

Fertilizantes	Dosis kg/ha/semana
Nitrato de Amonio	12
Nitrato de Calcio	2
Nitrato de Potasio	2
Sulfato de Magnesio	1
Sulfato de Potasio	1
Urea	5

Fuente: Ramirez H. Jefe de la Unidad de Olericultura Intensiva y Extensiva. Enero, 2020.

Métodos para toma de muestras

Suelo y sustrato. Las muestras de suelo analizadas estaban compuestas por cinco sub-muestras cada una. Las mismas se tomaron en forma de zigzag en diferentes camas en los cultivos de melón y tomate sembrados en suelo al aire libre. En el caso de los macrotúneles, el muestreo se hizo en las bolsas (los maceteros) de las hileras centrales de cada macrotúnel, con un barrenador, a lo largo del macrotúnel, hasta completar una bolsa de una libra de muestra para cada caso. En todos los casos se tomaron tres muestras por cultivo y edad del sustrato.

Equipos

Imacimus Multi Ion. Diseñado para cuantificar los macro-nutrientes necesarios en la agricultura convencional y macrotúneles, se basa en tecnología analítica que incluye el uso de electrodos que son nanotubos de carbono. A través de estos nanotubos es posible realizar la medición de iones solubles, simultáneamente en corto tiempo. Los electrodos son selectivos, es decir, un electrodo por cada parámetro evaluado, en este caso: pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , NO_3^- y Cl^- . Para utilizar el equipo y obtener los resultados en la computadora, se debe descargar el software iMA Cimus (<https://www.ntsensors.com/es/descargar-software/>) completando el proceso de registro con el número de serie del equipo (NT Sensors s.f.).

Análisis químico convencional. Los métodos e instrumentos usados por el Laboratorio de suelos de Zamorano (LSZ) para el análisis de iones en solución son: lectura directa del pH con Orion Star A211 Benchtop pH Meter, conductividad eléctrica con Conductímetro Orion Star A212, para las bases (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+), Espectrofotómetro de Absorción Atómica VARIAN AA240FS, nitratos y amonio con Espectrofotómetro (GENESYS™20) por método de colorimetría, cloruro por titulación (método Argentometría) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) extraído con acetato de amonio 1 N y cuantificado por Kjendahl.

Conductímetro Orion Star A212. Son medidores de laboratorio confiables y fáciles de usar mediante el menú en pantalla, es usado para medir la conductividad eléctrica, pertenece a la empresa “Thermo Scientific” de Reino Unido (Thermo Scientific 2013).

Orion Star A211 Benchtop pH Meter. También pertenece a la empresa “Thermo Scientific”. Se utiliza para mediciones directas de pH, registra hasta 2000 conjuntos de puntos con fecha y hora (Thermo Scientific 2016).

Espectrofotómetro (GENESYS™20). Pertenece a la empresa “Thermo Spectronic”, es adecuado para el uso en laboratorios enfocados en el control de calidad y producción, por su uso en análisis de rutina. En este proyecto se lo usó para analizar nitratos y amonio, gracias a su capacidad de leer diferentes longitudes de ondas se puede determinar el contenido de estos elementos (Thermo Spectronic s.f.).

Espectrofotómetro de Absorción Atómica AA240FS. Pertenece a la empresa Varian, Inc. Proporciona resultados completos de potasio, calcio, magnesio y sodio, de cada muestra (Varian s.f.).

Destilador FOSS. Es un instrumento de destilación de la marca FOSS, automatizado, que se basa en la medición colorimétrica de una reacción química (FOSS s.f.).

Proceso de análisis químico

Curva de calibración del Kit Imacimus. Los electrodos se calibran mediante tres soluciones patrón diseñadas por el proveedor del equipo, “NT Sensors” (Figura 2). La calibración de los electrodos se realiza al inicio de cada sesión de lectura, sumergiendo cada electrodo en las tres soluciones sucesivamente, cada electrodo Imacimus va midiendo las diferentes concentraciones de los tres patrones y a su vez el software iMA Cimus procesa los datos creando un coeficiente de correlación, el cual debe ser lo más cercano a uno.



Figura 2. Soluciones para calibración Multi ION de los electrodos de ion selectivo, Standard n° 1, n°2, y n°3.

La calibración del electrodo de pH es diferente, se calibra separado de la prueba Multi ION, se usan dos soluciones con niveles de pH conocidos, primero introduce en la de pH 4, luego en la de pH 7, esta calibración es válida por un periodo más largo que la calibración del Multi ION.

La calibración de los electrodos fue satisfactoria con coeficientes de correlación altos, de acuerdo con la guía de usuario, obtenida en la página de la empresa (NTSensors 2018), los coeficientes > 0.99 son considerados “altos” (Cuadro 8), por ende, se puede continuar con el proceso de análisis químico de las muestras.

Cuadro 8. Coeficientes de correlación obtenidos durante la de calibración con tres soluciones patrón de los sensores de los diferentes electrodos “NT Sensors”.

Elemento	R ² obtenido en la calibración del electrodo
K ⁺	0.996
Ca ²⁺	0.998
Mg ²⁺	0.999
NH ₄ ⁺	0.999
Na ⁺	0.999
Cl ⁻	0.996
NO ₃ ⁻	0.998

Métodos de extracción y lectura de iones

Pasta saturada. Se usa para la extracción de iones en la solución del suelo y sustrato, primero se pesa la muestra en la balanza digital Scout Pro – OHAUS, se procede a saturar el suelo con agua destilada, es decir, que no debe acumular agua en la superficie, ni perder el brillo. Para analizar componentes iónicos se deja en reposo más de cuatro horas y posteriormente se extrae la solución con una bomba de vacío marca Ermerson (Plasencia 2017).

Colorimetría. Este método facilita información cuantitativa, que consiste en determinar concentración de moléculas leyendo la fracción de luz incidente absorbida por una solución a una longitud de onda conocida. Para nitratos fue 410 nanómetros y para amonio a 630 nanómetros (Pescador 2011).

Argentometría. Es un método volumétrico que se basa en la formación de precipitados del catión Ag⁺ para la cuantificación de aniones como cloruros. El término Argentometría se da por realizar la titulación de los precipitados con Nitrato de Plata como valorante (Molina y Torres 2008).

Análisis químico con Kit Imacimus 5

Medición de nutrientes en el suelo y sustrato. Se inicia con el acondicionamiento y calibración de los electrodos con la ayuda de soluciones estándares. Del filtrado que se obtuvo de la pasta saturada para los métodos convencionales se usa la misma solución para determinar la concentración de los iones con los electrodos Imacimus (Imacimus 2018).

Interpretación de resultados

Los resultados son reportados por el laboratorio en mg/L y se convierten a meq/L para su interpretación, de acuerdo con los niveles de calificación (Cuadro 9), que van desde muy bajo a muy alto.

Cuadro 9. Interpretación de las concentraciones de iones solubles del extracto de saturación.

Nivel	CE dS/m	meq/L					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ³	Cl ⁻
Muy Bajo	<0.5	<1.0	<1.0	<2.0	<0.5	<2.0	<1.0
Bajo	0.5- 1.0	2.0- 3	1.0- 2	2.0- 3	0.5-1	2.0- 3	1.0- 2
Mod. Bajo	1.1- 1.5	3.1- 5	2.1- 3	3.1- 5	1.1- 2	3.1- 5	2.1- 4
Medio	1.51- 2.5	5.1- 10	3.1- 5	5.1- 8	2.1- 3	5.1- 8	4.1- 6
Mod. Alto	2.51- 4.0	10.1- 15	5.1- 8	8.1- 10	3.1- 4	8.1- 12	6.1- 10
Alto	4.1- 5.0	15.1- 20	8.1-10	10.1- 15	4.1- 5	12.1- 14	10.1- 15
Muy Alto	>5	>20	>10	>15	>5	>14	>15

Fuente: Castellanos J. 2013. Intagri. México.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se basó en calcular el coeficiente de correlación lineal simple de Pearson (r), como índice para medir la intensidad de relación entre los métodos de evaluación, valores menores a 0.30 significan correlación baja, correlación moderada en valores de 0.30 a 0.70 y correlación alta a valores mayores a 0.70 (Laguna 2014). También se realizó el diagrama de dispersión para las variables prueba rápida Kit Imacimus (X) y análisis químico convencional (Y) en los diferentes tratamientos (suelos y sustratos), en los ocho parámetros analizados. Con esto se obtuvo ecuaciones predictivas de relación entre los métodos de análisis evaluados y se pudo calcular el coeficiente de determinación (R^2) que demuestra la fuerza de asociación entre las variables, cuando los valores son próximos a 0 significa que no existe asociación entre X y Y (Laguna 2014).

Para el análisis estadístico se usó el programa Excel versión 15 (2013), para calcular los coeficientes de correlación lineal simple de Pearson para cuantificar el grado de asociación entre las variables método de electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales. Además de elaborar los diagramas de dispersión y obtener los coeficientes de determinación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y Conductividad eléctrica (CE) de los sustratos y los suelos

La retención de nutrientes en sustratos orgánicos se diferencia a la de suelos debido a que la materia orgánica tiene mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que las partículas como arcilla, arena o limo (INTAGRI 2015; SENA 2017). Para confirmarlo se realizó el análisis de CIC en el que se comprobó lo mencionado. La CIC de los sustratos es muy alta y varía entre 39 y 61 cmol/kg, mientras que en el suelo varía entre 14 y 22 cmol/kg (Cuadro 10), por su textura que según Hernández Cornejo (2020), es franco arcilloso, y coinciden con los valores del rango 15 – 30 cmol/kg que pertenecen a suelos franco-arcillosos (INTAGRI 2015).

Se observa que los programas de fertilización tienen alta influencia en el comportamiento de la conductividad eléctrica, en los sustratos alcanza niveles muy altos, mayor de 6.2 dS/m una vez se comienza a fertilizar. El suelo amortigua el efecto de los fertilizantes solubles, ya que la CE no alcanza más de 1.03 dS/m como en el lote 2b con el cultivo de tomate y se mantiene más alta que el suelo que no tuvo ningún uso (Cuadro 10).

La conductividad eléctrica no obedece a una tendencia de incremento relacionada a la CIC, puede haber un muy alto CIC con una CE de 1.3 dS/m, esto es normal, ya que, el pH y el CE pueden variar entre valores de CIC similares, a pesar de que ambas son variables dependientes de sitios de carga presentes en arcillas (Pérez *et al.* 2017). Con la CE se puede hacer una breve estimación de la cantidad de sales presentes en la solución extraída (Plasencia 2017), por eso es importante mantener el monitoreo de las condiciones del sustrato.

Análisis de pH y iones solubles en sustratos

Los resultados obtenidos de las concentraciones de cada parámetro evaluado por los métodos analíticos convencionales del laboratorio y por el Kit de análisis rápido Imacimus en los sustratos, dejan ver que el análisis de pH varía levemente de un electrodo a otro, pero mantiene la tendencia, es decir, que mantienen diferencias no mayores a 0.4 entre los resultados de ambos métodos, siendo el de menor diferencia los del sustrato de 12 semanas de uso (Cuadro 11).

Se aprecia que en las muestras de los macrotúneles 1 y 3, el comportamiento del pH en sustrato tiende a cambios drásticos (Cuadro 11). Esta reacción se debe a los programas de fertilización aplicados, en los que incluyen dosis de fosfato monoamónico, nitrato de amonio y sulfato de magnesio. Estos fertilizantes tienen acción acidificante, principalmente el que incluye sulfato, ya que este compuesto reacciona con el calcio presente en el medio formando CaSO_4 el cual por su lenta solubilidad es lixiviado por el agua del riego (Ginés y Mariscal 2002).

Cuadro 10. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los sustratos, conductividad eléctrica (CE) y pH de los macrotúneles y suelos del lote evaluados durante la investigación.

Edad (Semanas)	Cultivo	Macro túnel /Lote	CIC	CE		pH			
			cmol ⁺ /kg	dS/m	Inter [‡]	Ima	Inter [‡]	Lab	Inter [‡]
0	Sin cultivo	7	61	1.3	MdB [§]	7.73	L Al [¥]	7.41	L Al [¥]
7	Chile Morrón	1	45	13.8	MA	5.99	M Ac	5.9	M Ac
12	Tomate	4	39	6.2	MA	7.73	L Al	7.8	L Al
40	Chile Morrón	3	50	11.1	MA	6.71	L Ac	6.31	L Ac
0	Sin cultivo	2a	14	0.49	MB	6.78	L Ac	7.78	L Al
4	Tomate	2b	22	1.03	MdB	7.1	L Al	8.05	M Al
21	Melón	2c	16	0.82	B	6.63	L Ac	7.79	L Al

[§]MA: Muy alto, A: Alto, MdA: Moderadamente alto, M: Medio, MdB: Moderadamente bajo, B: bajo, MB: Muy bajo

[¥]L Al: Ligeramente alcalino, L Ac: Ligeramente ácido, M Ac: Moderadamente ácido, M Al: Moderadamente alcalino

[‡]Inter: Interpretación, Ima: Imacimus

En el macrotúnel 4, a pesar de incluir los fertilizantes referidos, no ocurre el mismo cambio, debido a que en el programa de fertilización se excluye las aplicaciones de ácido ortofósforico, además el óxido de calcio (CaO), presente en el fertilizante nitrato de calcio, expresa las propiedades higroscópicas que lo representan, es decir, que al entrar en contacto con el agua se convierte en hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) resultando en una solución básica (Caballero *et al.* 2017).

En los sustratos, las lecturas de las bases potasio y magnesio, difieren entre los métodos empleados y mantienen una relación inversa en la tendencia del comportamiento de los iones en la solución nutritiva del sustrato, es decir, que la lectura con el electrodo Imacimus es “muy alta” y la misma refiere un nivel “muy bajo” con el método seguido en el laboratorio de suelos en potasio, mientras que en magnesio la lectura con Imacimus fue de muy baja, moderadamente baja y media a 0, 7 y 40 semanas de uso del sustrato, y con el método del laboratorio los valores dieron muy altos.

En el sustrato de 12 semanas de uso, la tendencia fue similar en las dos lecturas, es decir, fue cero con Imacimus y un nivel muy bajo con el método del laboratorio. Similar a este comportamiento resultó la lectura del calcio a las 0, 7 y 40 semanas de uso del sustrato (Cuadro 11), la de sodio a las 0, 12 y 40 semana y los cloruros en todo momento. En nitrato la lectura fue similar por los dos métodos únicamente en el sustrato sin uso (Cuadro 12). Sin embargo, en el sustrato de siete semanas de uso la tendencia del calcio fue inversa (Cuadro 11) y la del sodio de media a alta a las 12 semanas (Cuadro 12).

Cuadro 11. Resultados de análisis químico potasio, calcio y magnesio en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos IMACIMUS y métodos analíticos convencionales (LAB), en sustratos a base de olote (raquis de maíz picado) y compost 1:1 v/v, usado para la producción de cultivos en macrotúnel, Zona 3, Programa de Olericultura Intensiva, EAP Zamorano, Honduras.

Macro túnel	Edad sustrato (semanas)	K ⁺				Ca ²⁺				Mg ²⁺			
		Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]
7	0	10.9	MA [§]	0.19	MB	26.3	MA	36.6	MA	2.2	MdB	23.4	MA
1	7	12.3	MA	0.15	MB	4.4	MdB	13.7	MdA	0.2	MB	10.8	MA
4	12	8.6	MA	0.20	MB	1.2	MdB	3.4	B	0.0	MB	1.9	B
3	40	14.3	MA	0.16	MB	34.6	MA	54.5	MA	4.4	Med	36.8	MA

^YIma: IMACIMUS electrodos, LAB. Analizado en el laboratorio de suelos por métodos convencionales

[§]MA: Muy alto, A: Alto, MdA: Moderadamente alto, M: Medio, MdB: Moderadamente bajo, B: bajo, MB: Muy bajo

[£]Inter: Interpretación

Cuadro 12. Resultados de análisis químico de amonio, sodio, cloruro y nitrato en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos IMACIMUS y métodos analíticos convencionales (LAB), en sustratos a base de olote de raquis de maíz picado y compost 1:1 v/v, usado para la producción de cultivos en macrotúnel, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.

Macro túnel	Edad sustrato (semanas)	NH ₄ ⁺		Na ⁺				Cl ⁻				NO ₃ ⁻			
		Ima ^Y	LAB	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]
7	0	17	0	10.1	A [§]	18	MA	35	MA	43	MA	99	MA	34.4	MA
1	7	21	0	7.2	Med	14.8	A	30	MA	11	A	84	MA	0.3	MB
4	12	9	0	1.6	MB	2.4	B	35	MA	31	MA	51	MA	0.1	MB
3	40	24	0	11.4	MA	18.9	MA	36	MA	51	MA	96	MA	1.2	MB

^YIma: IMACIMUS electrodos, LAB. Analizado en el laboratorio de suelos por métodos convencionales

[§]MA: Muy alto, A: Alto, MdA: Moderadamente alto, M: Medio, MdB: Moderadamente bajo, B: bajo, MB: Muy bajo

[£]Inter: Interpretación

Por otra parte, el sustrato nuevo contiene alta concentración de bases (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), cloruro y nitratos a causa de su composición 100% materia orgánica, excepto en la determinación de magnesio con Imacimus que lo reportó como moderadamente bajo (Cuadros 11 y 12), pero el sustrato de 40 semanas contiene concentraciones mayores de calcio, magnesio, sodio y cloruro por ambos métodos a pesar de la diferencia entre los resultados de electrodos y análisis convencional, esto puede ser resultado de la aplicación de fertilizantes por mayor tiempo, es decir, durante las tres fases del cultivo.

La concentración del ion amonio no se detectó con el método usado en el laboratorio, ya que datos negativos indican que no hay presencia de este ion, pero con el electrodo Imacimus si registró valores que representan entre el 17 a 25% del nitrato que es una proporción recomendada para obtener mayor rendimiento de frutos según la literatura en un programa de fertilización de tomate con nitrato y amonio (Rivera *et al.* 2014), lo cual hace pensar que el método de colorimetría usado en el laboratorio no tiene la capacidad de detectar los niveles de este ion reportado con el electrodo (Cuadro 12).

Análisis de pH y iones solubles en suelo

Los valores de pH en suelo, entre ambos métodos, tienen variación constante cercana a una unidad de pH, siendo mayor el resultado obtenido con el electrodo del laboratorio de suelos. Una unidad parece poco, pero debe tenerse en cuenta que el comportamiento del pH es logarítmico y que una unidad de diferencia de un pH de 7 a 8 significa una variación de 10^{-7} a 10^{-8} iones concentrados en cada caso. También la acción a tomar varía en función del pH. Un pH de 7.10 se interpreta como neutro y 8.05 la interpretación como moderadamente alcalino y la dinámica de la fertilidad cambia según sea el pH.

Por esta razón es determinante contar con un electrodo de calidad calibrado por laboratorios especializados en calibración de equipos analíticos como SCM Metrología y Laboratorios S.A, acreditado por ECA, el cual es referente obligatorio para el diseño y aplicación de instrumentos de gestión ambiental (SCM s.f.) a este laboratorio se envían los equipos del Laboratorio de Suelos Zamorano para su calibración y así brindar lecturas confiables a los usuarios. Debido a que es fundamental contar con electrodos de alta calidad porque una lectura errónea tendría consecuencias negativas en la producción de los cultivos de los usuarios (Dotro *et al.* 1994)

Sin embargo, con los mismos electrodos se midió el pH en sustrato, donde la variación no fue mayor. En los suelos, las propiedades acidificantes de ciertos fertilizantes son de menor impacto por la presencia de diferentes partículas y coloides, a diferencia de la composición del sustrato en los macrotúneles (Oliverio 2014).

En referencia al calcio, magnesio y sodio tienden a presentar diferencias cercanas a una unidad de meq/L, que tienen similar calificación en la interpretación de los resultados de ambos métodos analíticos en suelos, las concentraciones de estos elementos se mantienen entre bajas y muy bajas en todos los suelos. La misma tendencia la mantiene el cloruro a pesar de que presenta concentraciones muy altas (> 15), de similar interpretación con los dos métodos. Potasio y nitrato

mantiene relación inversa, mientras que los resultados obtenidos por Imacimus resultan muy altos, los resultados de los análisis convencionales son muy bajos para nitrato y desde moderadamente bajo a bajo en potasio (Cuadros 13 y 14).

Las concentraciones de amonio en suelo no fueron detectadas por el método convencional, ya que da resultados negativos, a diferencia de los electrodos que si detectan esas bajas concentraciones del ion amonio en los tres suelos (0.28 a 0.39 meq/L). El lote no sembrado se mantiene como el de menor concentración de sodio en comparación a los lotes sembrados eso significa que los fertilizantes contienen sodio (Cuadros 13 y 14). El suelo sin cultivo tiene niveles muy altos de cloruro, esto puede resultar como consecuencia de estar expuesto a recibir los residuos de las fertilizaciones aplicadas en los suelos vecinos cultivados.

Comparación de resultados de las dos tecnologías de análisis químico en sustrato y suelo: electrodos versus métodos analíticos convencionales

En los sustratos hay mayor retención de los nutrientes, sin embargo, la situación es diferente para nitratos y amonio, que según los resultados obtenidos por el método de laboratorio indican que las concentraciones detectadas de nitrato son muy bajas en suelos y en los sustratos con 7, 12 y 40 semanas de uso; y las concentraciones de amonio no son detectadas en ningún medio de producción. Si no se hubiera realizado la lectura con los electrodos selectivos se podría decir que esta baja concentración de nitrato se debe a que es un anión y al tener carga negativa no es retenido por las partículas en el suelo o en el sustrato y se pierde por lixiviación, por ende, se tendría bajas concentraciones al momento de la toma de muestra (INTAGRI 2015).

En los análisis de laboratorio se observó pH moderadamente alcalino en las muestras de suelos y en los sustratos niveles desde moderadamente ácido hasta moderadamente alcalino (Cuadros 11 y 13), los niveles alcalinos de pH trae consecuencias negativas en la producción por la disminución de disponibilidad de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, zinc), ya que el pH determina la disponibilidad de nutrientes en la solución de suelo o sustrato según el nivel de acidez o alcalinidad por la concentración de iones de hidrogeno (INTAGRI 2018).

En sustratos hay mayor concentración de sodio que en los suelos, hasta en el sustrato sin uso se observa niveles altos a diferencia del suelo sin cultivo que es el que menos presencia de sodio tiene, los niveles altos se pueden explicar por la composición del sustrato (Cuadros 11 y 13). Los electrodos Imacimus de ion potasio y magnesio no detectan concentraciones altas de dichos elementos, el primero solo tiene esta limitante en suelos, ya que, en sustratos mostró un comportamiento normal. A diferencia del calcio cuya diferencia entre las lecturas de ambos métodos es baja tanto en sustratos como en suelos y no se observa que las concentraciones sean un limitante para la lectura (Cuadros 11 y 13).

En el sustrato nuevo se observa similar contenido de cloruro al suelo con cultivo de 21 semanas, pero lo que resalta es que en ambos la lectura con método convencional (Argentometría) muestra lecturas mayores que la obtenidas por Imacimus. Los suelos de cero y cuatro semanas mantienen diferencia similar y los otros sustratos no mantienen ninguna tendencia. Igual que en nitrato que

los resultados son muy variados, no se puede establecer una tendencia del comportamiento de las lecturas en sustrato ni en las de suelo (Cuadros 12 y 14).

Los valores de amonio y nitrato son muy diferentes (Cuadros 12 y 14) lo que causa mucha confusión en los resultados obtenidos, por eso surgen dudas respecto a la credibilidad de los métodos usados, es decir, de los electrodos de ion selectivo y el convencional, colorimetría, el cual se usa en el laboratorio actualmente.

Cuadro 13. Resultados de análisis químico de potasio, calcio y magnesio en solución (mg/L), con dos tecnologías: electrodos IMACIMUS y métodos analíticos convencionales (LAB), en suelos del lote 2, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.

Lote	Semanas de uso	K ⁺				Ca ²⁺				Mg ²⁺			
		Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inte [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]
2a	0	12.8	MA [§]	1.2	MdB	1.5	B	2.3	B	0.08	MB	0.67	MB
2b	4	22.4	MA	1.3	MdB	3.1	MdB	3.9	MdB	0.08	MB	1.08	B
2c	21	7.3	MA	0.5	B	2.4	B	3.5	MdB	0.08	MB	0.83	MB

^YIma: IMACIMUS electrodos, LAB. Analizado en el laboratorio de suelos por métodos convencionales

[§]MA: Muy alto, A: Alto, MdA: Moderadamente alto, M: Medio, MdB: Moderadamente bajo, B: bajo, MB: Muy bajo

[£]Inter: Interpretación

Cuadro 14. Resultados de análisis químico de amonio, sodio, cloruro y nitrato en solución (meq/L), con dos tecnologías: electrodos IMACIMUS y métodos analíticos convencionales (LAB), en suelos del lote 2, Zona 3, Programa de Olericultura intensiva, EAP Zamorano, Honduras.

Lote	Semanas de uso	NH ₄ ⁺		Na ⁺				Cl ⁻				NO ₃ ⁻			
		Ima ^Y	LAB	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]	Ima ^Y	Inter [£]	LAB	Inter [£]
2a	0	0.39	0	1.2	MB [§]	0.3	MB	58	MA	45	MA	63.0	MA	0.05	MB
2b	4	0.33	0	2.0	B	2.5	B	62	MA	48	MA	39.5	MA	1.92	MB
2c	21	0.28	0	1.5	MB	2.2	MB	34	MA	45	MA	21.1	MA	0.24	MB

^YIma: IMACIMUS electrodos, LAB. Analizado en el laboratorio de suelos por métodos convencionales

[§]MA: Muy alto, A: Alto, MdA: Moderadamente alto, M: Medio, MdB: Moderadamente bajo, B: bajo, MB: Muy bajo

[£]Inter: Interpretación

El amonio y el nitrato son fuentes de nitrógeno para las plantas, sin embargo, no se puede aplicar altas concentraciones de amonio porque resultaría tóxico y dañaría el balance para la absorción de los cationes potasio, calcio y magnesio, por eso se recomienda aplicaciones inferiores al 25%, es decir que menos del 25% del nitrógeno aplicado puede provenir en forma de amonio (Favela *et al.* 2006).

Las lecturas realizadas por los dos métodos son equivalentes en pH, Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- en sustratos y Ca^{2+} , Na^+ y Cl^- en suelos (Cuadro 15). Usar los resultados de Ca^{2+} en sustratos con discreción, ya que no siempre resultan equivalentes. En potasio las lecturas son inversas entre un método y otro tanto en suelo como en sustrato y NO_3^- en suelo. Mg^{2+} en suelo presenta lecturas invertidas, pero no en todos los programas de fertilización. El método usado en el laboratorio no detecta el ion amonio, aún a concentraciones altas tanto en sustrato como en suelo (Cuadro 15). En sustratos el valor de amonio detectado por el sensor equivale entre el 17 a 25% de contenido de nitrato, pero en suelo los niveles detectados son muy bajos. Para detectar nitratos y potasio con los sensores Imacimus aplicar fórmulas de regresión lineal a las lecturas para reportar los valores equivalentes a la medición en el laboratorio. No se recomienda usar el electrodo de pH de Imacimus en suelo.

Cuadro 15. Comparación de resultados de las dos tecnologías de análisis químico en sustrato y suelo: electrodos (IMACIMUS) versus métodos analíticos convencionales (LAB).

Parámetro	Sustrato		Suelo	
	IMACIMUS	LAB	IMACIMUS	LAB
pH	Equivalentes		Diferencias cercanas a la unidad siendo LAB más alcalino.	
K^+	Alto	Bajo	Alto	Bajo
NO_3^-	Sin fertilizante es equivalente, con fertilizante inversa		Alto	Bajo
Ca^{2+}	Comparables en niveles bajo y altos, pero en valores intermedios difiere la interpretación, aunque se mantiene cerca.		Equivalentes	
Mg^{2+}	Inverso, pero no en todos los programas		Equivalentes	
Na^+	Equivalentes		Equivalentes	
Cl^-	Equivalentes		Equivalentes	
NH_4^+	17 a 25% del NO_3^-	No detecta	Detecta valores muy bajos	No detecta

Análisis estadístico

Diagramas de dispersión. Los diagramas de dispersión muestran que la relación lineal se cumple para los siguientes parámetros: pH (Figura 3), potasio (Figura 4), calcio (Figura 5), magnesio (Figura 6), sodio (Figura 7) y cloruro (Figura 8); esta dispersión lineal coincide con las altas y moderadas correlaciones obtenidas anteriormente. Mientras que para amonio (Figura 9) y nitrato (Figura 10) los datos se hallan muy dispersos lo que indica la baja correlación entre los métodos analíticos evaluados.

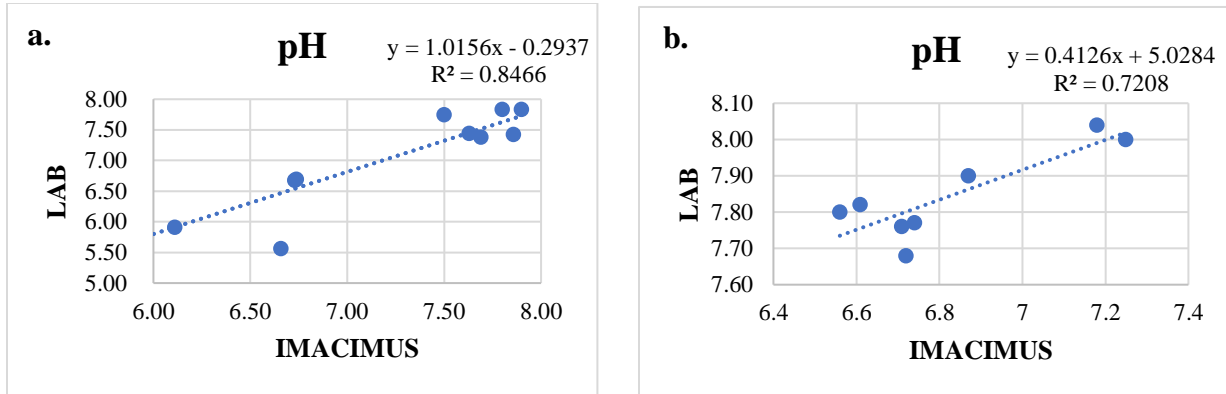


Figura 3. Diagrama de dispersión de pH en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

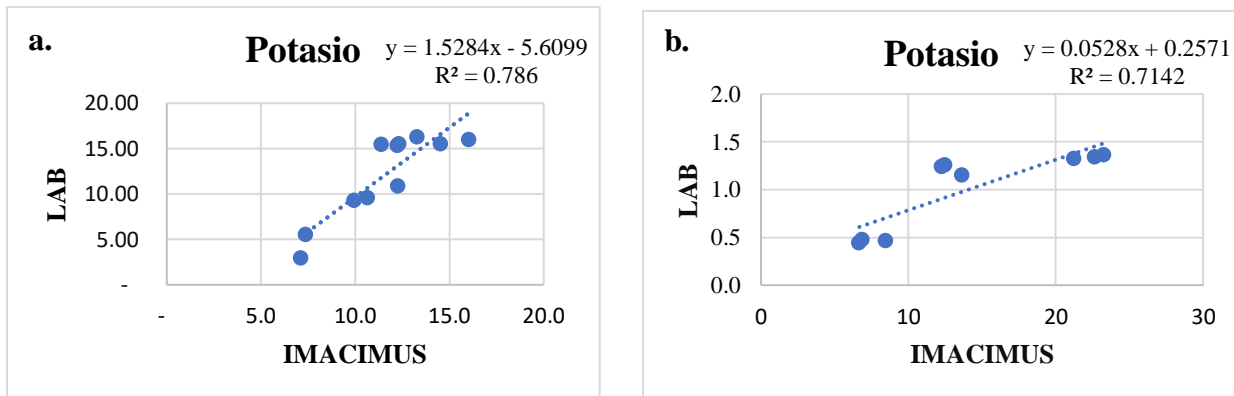


Figura 4. Diagrama de dispersión de potasio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

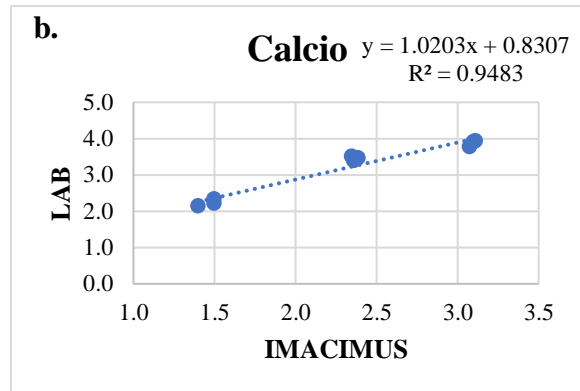
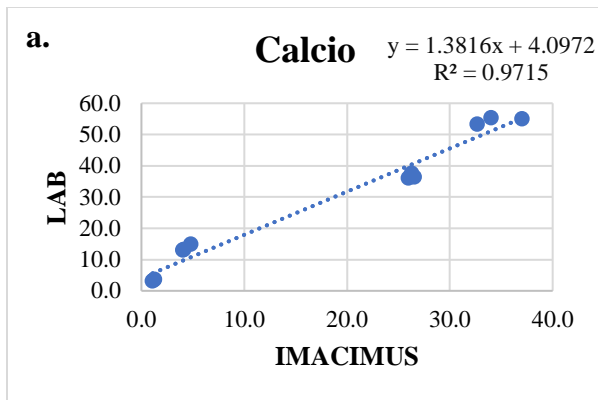


Figura 5. Diagrama de dispersión de calcio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

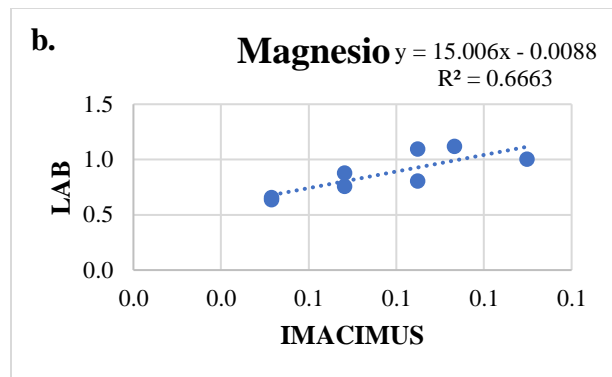
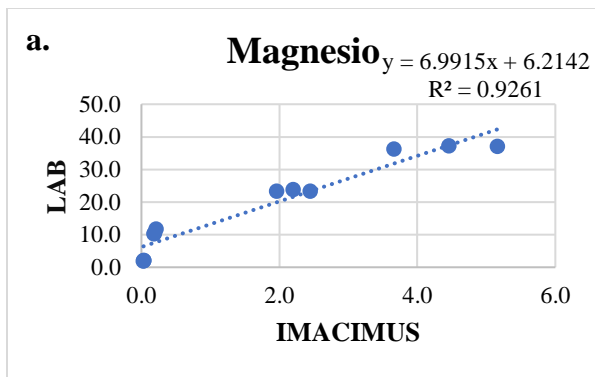


Figura 6. Diagrama de dispersión de Magnesio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

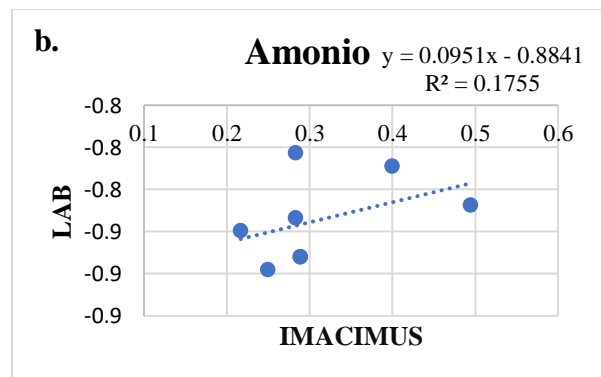
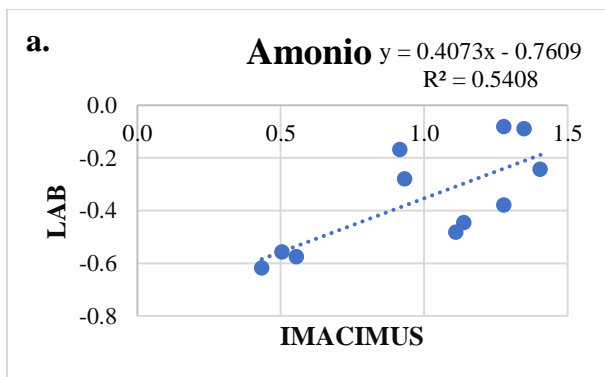


Figura 7. Diagrama de dispersión de Amonio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

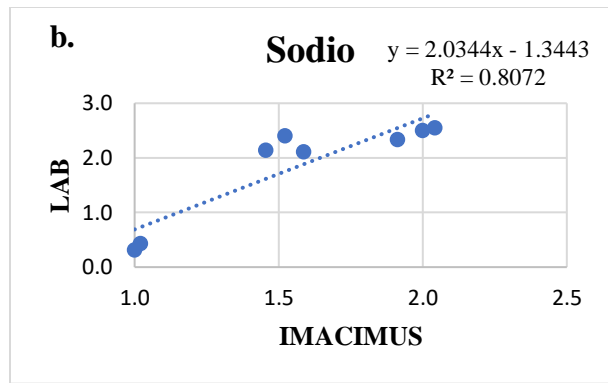
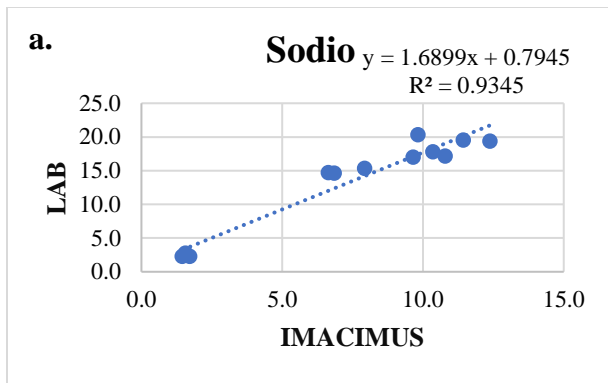


Figura 8. Diagrama de dispersión de Sodio en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

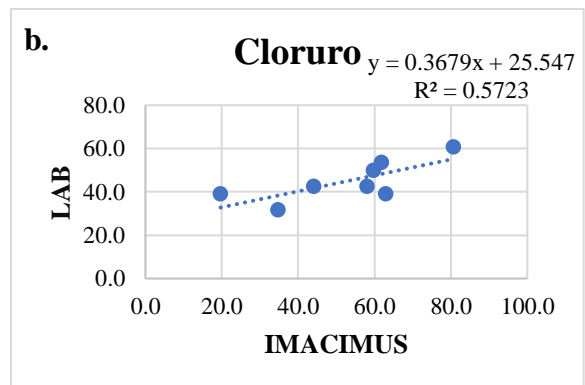
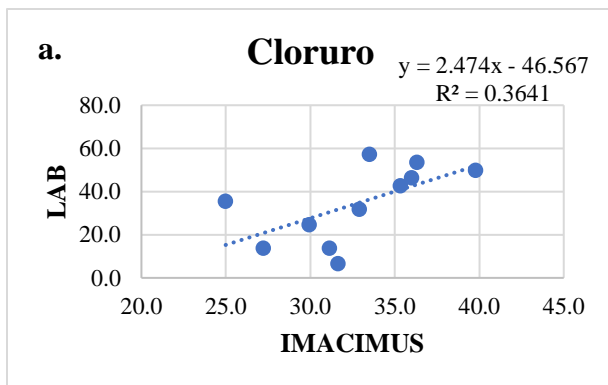


Figura 9. Diagrama de dispersión de Cloruro en sustratos (a) y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

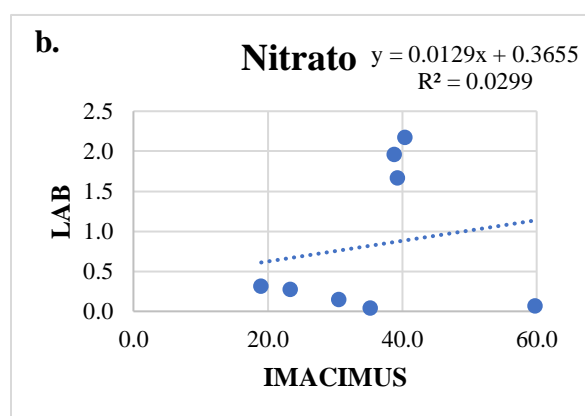
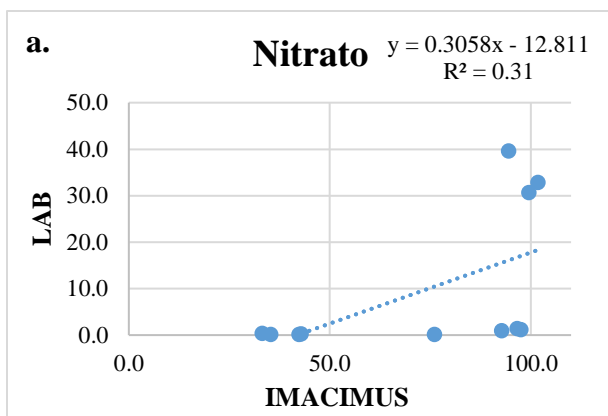


Figura 10. Diagrama de dispersión de Nitrato en (a) sustratos y en suelos (b), medido con electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales (LAB) en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

Coefficientes de correlación lineal simple (r). A pesar de obtener buenos coeficientes al momento de la calibración (Cuadro 2) descrito en la metodología, en los análisis químicos de suelo se obtuvo correlación baja para nitrato (0.17), asociación moderada para amonio (0.42), y asociación alta (> 0.7) para pH, cloruro, potasio, calcio, magnesio y sodio. En los análisis químicos de sustrato no hubo correlaciones bajas, se obtuvo asociación moderada en cloruro (0.6) y nitrato (0.56), y asociación alta (> 0.7) en pH, amonio, potasio, calcio, magnesio y sodio. Los resultados fueron tabulados para mejor comprensión (Cuadro 16).

Cuadro 16. Coeficientes de correlación lineal simple (r) de los métodos de análisis químico: electrodos Imacimus y métodos analíticos convencionales en suelos Lote 2 y sustratos de los macrotúneles 1, 3, 4 y 7 de Zona 3, Programa de Olericultura. EAP Zamorano, Honduras.

Parámetro evaluado	Medios de crecimiento de los cultivos	
	Suelos	Sustratos
pH	0.85	0.92
K ⁺	0.85	0.89
Ca ²⁺	0.97	0.99
Mg ²⁺	0.82	0.96
NH ₄ ⁺	0.42	0.74
Na ⁺	0.90	0.97
Cl ⁻	0.76	0.60
NO ₃ ⁻	0.17	0.56

Para el parámetro cloruro, en ambos tratamientos, se infiere correlación moderada a la probable presencia de iones de Ag⁺, S²⁻, Br⁻ o CN⁻, que de acuerdo con la guía del usuario Imacimus, la presencia de uno de estos elementos provocaría lecturas poco confiables. De la misma forma para otros parámetros como nitrato y amonio, tendrían elementos que en ciertas cantidades alterarían las lecturas de los mismos.

Las lecturas de nitrato pueden ser interferidas por los altos contenidos del ion cloruro que a la vez está relacionado con altos contenidos de nitritos (Arango y Pérez 2005). Al observar los resultados de cloruro en el análisis de laboratorio se comprueba que las muestras contenían altos niveles de este ion, por ende, puede ser la causante de la baja correlación entre los análisis de nitrato. Además de que la presencia de nitritos hace que los valores de nitrato medido con electrodos sean más altos que los que se obtienen por colorimetría. En 2003, Shen *et al.* concluyeron que, en suelos alcalinos, valores de pH mayores a 6.5, la acumulación de nitritos es alta y que las muestra con bajos niveles de nitrato son más vulnerables a la interferencia por el ion nitrito.

Coefficientes de determinación lineal simple (R^2). Se observa relación proporcional entre coeficiente de correlación y coeficiente de determinación, a mayor r mayor R^2 , y a menor r se obtiene menor R^2 . Esta comparación ayuda a confirmar el grado de asociación de las variables. De acuerdo con Laguna (2014) que dice que la relación de estos coeficientes ayuda a comprender que una correlación impresionante con un valor de $r= 0.7$ puede representar solo un $R^2= 0.49$, lo que significaría que en un modelo de regresión sólo explicaría menos del 50% de la variabilidad de las observaciones.

Se recurrió a estos dos métodos estadísticos para brindar evidencia estadística del grado de asociación y habilidad predictiva entre métodos de análisis químico. Sin embargo, los resultados fueron no satisfactorios para nitrato, amonio en análisis químico de suelos para cloruro, y nitratos en análisis químico en sustratos, con coeficientes de determinación que varían entre 17 a 36% (Cuadro 17), es decir que menos del 50% de la variabilidad de los resultados fueron advertidos por los electrodos predictores. En este caso, los resultados obtenidos por el Kit Imacimus a diferencia de los elementos mencionados, tiene mejor habilidad predictiva para pH, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ .

Cuadro 17. Coeficientes de determinación (R^2) de los métodos de análisis químico en suelos y sustratos. Programa de Olericultura, Zona 3. EAP Zamorano, Honduras.

Ion	Suelos	Sustratos
pH	0.72	0.85
K^+	0.71	0.79
Ca^{2+}	0.95	0.97
Mg^{2+}	0.66	0.93
NH_4^+	0.18	0.54
Na^+	0.81	0.94
Cl^-	0.57	0.36
NO_3^-	0.03	0.31

4. CONCLUSIONES

- Se evaluaron dos tecnologías de análisis químicos: los métodos analíticos convencionales en laboratorio y el Kit Imacimus de electrodos selectivos en suelos y sustrato, encontrando la relación de los ocho parámetros analizados.
- El uso de los electrodos de pH, Na⁺, Cl⁻, K⁺, Ca²⁺ en sustratos, y pH, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻ en suelos, es válido. El NH₄⁺ y NO₃⁻ no pueden ser validados por la alta variabilidad y la baja predicción que existe entre los datos obtenidos.
- De los ocho electrodos Imacimus evaluados, no todos tienen la misma habilidad predictiva ya que son equivalentes en la detección en sustratos (pH, Na⁺, Cl⁻) y en suelos (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻). K⁺ se puede medir con los electrodos Imacimus, pero encontrando su equivalencia con la ecuación de regresión, en nitrato y amonio no es confiable aplicar dicha ecuación bajo las condiciones analizadas.

5. RECOMENDACIONES

- Del Kit Imacimus se recomienda usar los electrodos de pH, Cl^- , Na^+ en sustratos y Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- en suelos.
- Verificar la presencia de los elementos que interfieren en la lectura de los cloruros: Ag^+ , S^{2-} , Br^- o Cianuro (CN^-).
- Realizar la validación del Kit Imacimus lo más pronto posible desde su compra para evitar fallas de fábrica antes de perder la garantía brindada por la empresa “NT Sensors”.
- Los sensores son muy sensibles al proceso de acondicionamiento, por lo que se deben seguir las indicaciones precisas de los tiempos de calibración.
- Revisar otros métodos de detección de amonio y nitratos.
- Para pH correr más pruebas en suelos de pH variable para encontrar la relación.
- Preparar soluciones de concentración conocida de potasio, nitrato, amonio y medir con ambos métodos: electrodos Imacimus y métodos convencionales, usados en esta investigación.

6. LITERATURA CITADA

- Arango G, Pérez J. 2005. Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. 8 p; [consultado el 15 de sep. de 2020]. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v58n1/a12v58n1.pdf>
- Arévalo G, Gauggel C. 2019. Métodos de análisis de suelos, plantas y aguas. Manual de prácticas de laboratorio. Curso manejo de suelos y nutrición vegetal. 2019, segunda edición. Tegucigalpa (Honduras): Litocom. p. 76-78.
- Bautista A, Etchevers J, del Castillo R, Gutierrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. (España): ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ECOLOGÍA TERRESTRE. 8 p; [consultado el 17 de oct. de 2020]. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Caballero C, Álvarez E VH, Lima N JC. 2017. Estimación y alteraciones químicas de suelos tiomórficos con la aplicación de cal en invernadero. *Idesia (Arica)*, 35(4), 7-16; [consultado el 15 de oct. del 2020]. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292017000400007
- Castellanos J. 2017. Interpretación del Extracto de Saturación. En: Congreso de Nutrición Vegetal Intagri. (México).
- Dotro P, Nardi M, Rodríguez D, Rodríguez V. 1994. Estudio de la evolución del pH en función de la temperatura. Club de Ciencias "Leonardo Da Vinci" Departamento de Investigación y Desarrollo. 65 p. (Argentina); [consultado el 27 de oct. de 2020]. <https://pdf4pro.com/view/estudio-de-la-evoluci-243-n-del-ph-en-funci-243-n-de-la-b429b.html>
- [SCM], Estándares de calidad ambiental. Sin fecha. SCM Metrología [internet]. SCM; [consultado el 27 de oct. del 2020]. <https://www.scmmetrologia.com/>
- Favela E, Preciado P y Benavides A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. 149 p. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (México); [consultado el 25 de oct. de 2020]. Researchgate: <https://www.researchgate.net/publication/305280176>
- Fermagri. 2018. Fermagri Innovación en Fertilizantes. Solubles; [consultado el 17 de oct. de 2020]. <http://www.fermagri.com/solubles.html>
- FOSS. Sin fecha. Keltec™ 8400. (España); [consultado el 1 de nov. del 2020]. <https://www.fossanalytics.com/es-es/kjeldahl>
- García Y, Ramírez W, Sánchez S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso; Patos y Forrajes. Matanzas (Cuba). [consultado el 17 de oct. de 2020]. Scielo: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Ginés I, Mariscal I. 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo; [consultado el 15 de oct. de 2020]. Madrid (España) http://oa.upm.es/3176/2/MARISCAL_MONO_2002_01.pdf
- Haifa. Sin fecha. Fertilizantes solubles en agua; [consultado el 17 de oct. de 2020]. <https://www.haifa-group.com/es/fertilizantes-solubles-en-agua>
- Hernández Cornejo E. 2020. Actualización de la evaluación de la aptitud de los suelos de uso agrícola de Zamorano y su mapeo con Sistemas de Información Geográfica [Tesis de pregrado]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 101 p.

- Imacimus. 2018. Multi Ion Meter USER'S GUIDE. Tarragona (España); [consultado el 15 de ago. del 2020]. NT Sensors: <https://www.ntsensors.com/user-guides/>
- INTAGRI. 2018. Disponibilidad de Nutrientes y el pH del Suelo. Artículos Técnicos de INTAGRI; [consultado el 28 de oct. del 2020]. Serie Nutrición Vegetal. Núm. 113 México. 4 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/disponibilidad-de-nutrientes-y-el-ph-del-suelo>
- INTAGRI. 2015. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Serie Suelos. Artículos Técnicos de INTAGRI; [consultado 15 de oct. de 2020]. Núm. 09. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Laguna C. 2014. Correlación y regresión lineal. (España): Instituto Aragones de Ciencias de la Salud. 18 p; [consultado el 13 ago. de 2020]. IACS: <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T04.pdf>
- Molina W, Torres K. 2008. Propuesta de actualización en el desarrollo didáctico del programa de análisis químico cuantitativo. 349 p; [consultado el 12 de sep. de 2020]. Universidad de El Salvador. <https://core.ac.uk/download/pdf/11228441.pdf>
- Navarro G. Sin fecha. Química Agrícola. Evolución y concepto. (España): Universidad de Murcia 28 p; [consultado 15 de oct. de 2020]. PDF: <https://www.um.es/documents/811811/13016255/Quimica+Agricola+Evolucion+y+concepto.pdf/1c673c81-a704-4789-acee-96548d8dda33>
- Novais W, Rodríguez J, Peret J, Soto C, Villalobos J, Fuentes C, Abdalla, K. 2019. Calibración y validación del equipo Veris MSP3 en dos suelos de Guanacaste, Costa Rica. Limón (Costa Rica): Univerdidad EARTH. 17 p; [consultado el 13 de jul. de 2020]. Scielo.sa.cr: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v30n2/2215-3608-am-30-02-00535.pdf>
- NT Sensors. Sin fecha. Analizador de iones multiparamétrico - IMACIMUS Multi ION Kit; [consultado el 2 de sep. 2019]. <https://www.ntsensors.com/es/imacimus-series/analizador-de-nutrientes/>
- NT Sensors. 2018. Medición de nutrientes en el suelo. 2p; [consultado 2 de nov. de 2019].
- Oliverio M. 2014. Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). [Tesis de pregrado]. Universidad Rafael Landívar. 81 p; [consultado 15 de sep. del 2020]. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/22/Tut-Maynor.pdf>
- Pérez A, Galvis A, Bugarín R, Hernández T, Vásquez M y Rodríguez A. 2017. Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata; [consultado el 25 de oct. de 2020]. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol8. p. 171.177. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-171.pdf>
- Pescador B. 2011, Pruebas Colorimétricas. Universidad Militar Nueva Granada. 5p; [consultado 18 de oct. de 2020]. <https://www.monografias.com/docs/Pruebas-Colorimetricas-F364XSVFC8U2Z>
- Plasencia A. 2017. Guía de estudio Análisis de suelos, Cátedra de Edafología. (Argentina). [consultado el 17 de oct. de 2020]. Universidad de Tucumán: <https://www.edafologia.org/descargas/>
- Prayon. Hortipray. Sin fecha. Fosfato Monoamónico (MAP). 2p; [consultado el 17 de; oct. de 2020]. <http://www.prayon.com/media/pdf/horticulture/map/Flyer-MAP-ESP.pdf>
- Prayon. Hortipray. Sin fecha. Fosfato Monopotásico (MKP). 2p; [consultado el 17 de oct. de 2020]. <http://www.prayon.com/media/pdf/horticulture/mkp/Flyer-MKP-ESP.pdf>

- Rivera E, Sandoval M, Rodríguez M, Trejos C, Gasga R. 2014. Fertilización de tomate con nitrato y amonio en raíces separadas en hidroponía. *Revista Chapingo Serie horticultura*. Vol. 20, núm. 1. 57-70 p. Universidad Autónoma Chapingo. (México).
- [SENA], Servicio Nacional de Aprendizaje. 2017. Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. [internet]. Colombia: SENA; [consultado el 18 de oct. de 2020]. https://www.researchgate.net/publication/323823646_Muestreo_de_Suelos_Tecnicas_de_Laboratorio_e_Interpretacion_de_Analisis_de_Suelos
- Shen Q, Ran W, Cao Z. 2003. Mechanisms of nitrite accumulation occurring in soil nitrification. *Chemosphere*. Vol. 50; p. 747-753.
- Rebollo M, Prieto T, Brero V. 2005 Aproximación a la historia y epistemología del concepto de suelo: implicaciones didácticas. (España): Universidad de Málaga. 5 p; [consultado el 15 de oct. de 2020]. PDF: <https://core.ac.uk/download/pdf/13301285.pdf>
- Thermo Scientific. 2013. Thermo Scientific Orion Star A212. Advanced conductivity benchtop meter. 2p; [consultado el 31 de oct. de 2020]. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/STARA2120?SID=srch-hj-STARA2120#/STARA2120?SID=srch-hj-STARA2120>
- Thermo Scientific. 2016. Thermo Scientific Orion Star A211. Advanced pH benchtop meter. 2 p; [consultado el 1 de nov. de 2020]. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/STARA2110#/STARA2110>
- Thermo Spectronic. Sin fecha. Espectrofotómetro GENESYS™20. 4p; [consultado el 18 de oct. de 2020]. (Reino Unido). https://www.cienytec.com/PDFS/Especc_G20_cat_esp_full.pdf
- Varian. Sin fecha. Varian Atomic Absorption Spectrometers. 16 p; [consultado el 1 de nov. del 2020]. <http://www.bu.edu/chemistry/files/cic/other/Vairan%20AA%20Intro.pdf>