



### CARTA DE ENTENDIMIENTO No. 1-2018

**ENTRE EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS –ICTA Y LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU ENTORNO –AMSCLAE-.**

En Bárcenas Villa Nueva del departamento de Guatemala el día tres de enero del año dos mil dieciocho (2018), constituidos en la sede central del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ubicado en el kilómetro veintiuno punto cinco, carretera al Pacífico, Bárcena Villa Nueva.

**COMPARECEMOS: JULIO RENÉ MORALES**, de sesenta y siete (67) años de edad, casado, Guatemalteco, de este domicilio, Ingeniero Agrónomo, me identifico con Documento Personal de Identificación –DPI- con Código Único de Identificación -CUI- número un mil ochocientos cincuenta y cinco, diecinueve mil novecientos noventa y siete, cero doscientos cinco (1855 19997 0205), extendido por el Registro Nacional de las Personas –RENAP- República de Guatemala, actúo en mi calidad de Gerente General y Representante Legal del **INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS**, que en lo sucesivo se le podrá denominar **ICTA**, acredito mi calidad con: **a)** Certificación del Acta de Toma de Posesión número cero cero uno guion dos mil diecisiete (001-2017), de fecha dos de enero de dos mil diecisiete, la que contiene Punto Resolutivo número JD guion cero cuatro guion cinco a guion doce diagonal dos mil dieciseises (JD-04-5ª-12/2016) emitido por la Honorable Junta Directiva del Instituto de Ciencia, dicha certificación fue emitida por el Director Administrativo y Financiero, con fecha doce de enero de dos mil diecisiete; **b)** Lo preceptuado en el artículo 18 numeral 2 del Decreto 68-72 Ley Orgánica del ICTA. Señalo como lugar para recibir notificaciones y citaciones el kilómetro veintiuno punto cinco (21.5), carretera al Pacífico, Edificio del ICTA, Bárcena, Villa Nueva, Guatemala, y por otra parte **LUISA CONSUELO CIFUENTES AGUILAR DE GRAMAJO**, de cincuenta y nueve (59) años de edad, casada, guatemalteca, Ingeniera Ambiental, con domicilio en el municipio de Panajachel, departamento de Sololá, me identifico con el Documento Personal de Identificación –DPI- con Código Único de Identificación -CUI- número un mil seiscientos sesenta y uno espacio cero nueve mil trescientos cincuenta y cinco



AMSCLAE

espacio cero ciento uno (1661 09355 0101) extendido por el Registro Nacional de las Personas – RENAP- de la República de Guatemala, actuó en calidad de **DIRECTORA EJECUTIVA DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN Y SU ENTORNO**, calidad que acredito con los documentos siguientes: **a)** Copia simple del Acuerdo número sesenta y seis guion dos mil dieciséis (66-2016) de la Vicepresidencia de la República de Guatemala, el cual quedó asentado en el libro número cuarenta y ocho mil doscientos cuarenta y seis (48246), folio ciento veinte y seis (126) y casilla sesenta y seis (66), de fecha diecinueve de febrero de dos mil dieciséis (19-02-2016); **b)** Copia simple del Acta de toma de posesión número seis guion dos mil dieciséis (6-2016) de fecha veinticinco de febrero del año dos mil dieciséis (25-02-2016), folios número cero cero ochenta y siete, cero cero ochenta y ocho y cero cero ochenta y nueve (0087, 0088 y 0089) del libro de actas del Departamento de Recursos Humanos de la AMSCLAE, autorizado por la Contraloría General de Cuentas; **c)** Copia simple del Acuerdo número ciento siete guion dos mil dieciséis (107-2016) del Vicepresidente de la República, el cual quedó asentado en el libro número cuarenta y ocho mil doscientos cuarenta y seis (48246), folio ciento treinta y tres (133) y casilla ciento siete (107), de fecha veintinueve de abril de dos mil dieciséis (29-04-2016), y **d)** Copia simple del Acuerdo Vicepresidencial número ciento veintitrés guion dos mil diecisiete (123-2017), el cual quedó asentado en el libro número cuarenta y ocho mil doscientos cuarenta y seis (48246), folio ciento setenta y cinco (175) y casilla ciento veintitrés (123), de fecha veintinueve de diciembre de dos mil diecisiete (29-12-2017). Señalo como lugar para recibir notificaciones o citaciones la Vía Principal tres guion cincuenta y seis (3-56) zona dos (2) del municipio de Panajachel, del departamento de Sololá. Los otorgantes manifestamos: a) Ser de los datos de identificación personal consignados; b) Que la documentación con que ejercitamos nuestras calidades son suficientes de acuerdo a nuestro juicio y a la ley; c) Que nos encontramos en el libre ejercicio de nuestros derechos civiles y que en idioma español convenimos celebrar la presente **CARTA DE ENTENDIMIENTO**, contenida en las siguientes cláusulas: -----  
**PRIMERA. ANTECEDENTES:** El ICTA, en coordinación con la AMSCLAE-, y en observación a sus funciones sustantivas y al objeto de su normativa reguladora, acuerdan mediante la suscripción de



la presente Carta de Entendimiento, desarrollar acciones necesarias para mejorar la tecnología y mantenimiento de los cultivos de productores agrícolas, al mismo tiempo preservando y conservando la cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno. -----

**SEGUNDA. BASE LEGAL:** La presente Carta de Entendimiento se suscribe en base a lo establecido en los artículos 3 y 24 de la Ley Orgánica del ICTA, Decreto 68-72; artículo 5 de la ley de Creación de la AMSCLAE, Decreto Número 133-96; Reglamento de la ley de Creación de la AMSCLAE, Acuerdo Gubernativo No. 78-2012. -----

**TERCERA. OBJETO:** La presente Carta de Entendimiento tiene por objeto específico normar la ejecución conjunta, del proyecto "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de diferentes niveles de macronutrientes NPK en la cuenca del lago de Atitlán, Sololá" mediante la coordinación de acciones por parte del ICTA y la AMSCLAE, para contribuir al desarrollo e implementación de actividades, en la Cuenca del Lago de Atitlán coordinando las mismas a través del Departamento Agrícola Forestal de AMSCLAE y la disciplina de Suelos del ICTA, para contribuir al desarrollo e implementación de tecnología más adecuada para el mejoramiento de la producción a disposición de los pequeños productores dentro de la Cuenca del Lago de Atitlán, sin causar deterioros y contaminación en el Lago de Atitlán.-----

**CUARTA. OBLIGACIONES: A. EL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS – ICTA-** 1. Dar el seguimiento necesario a los ensayos de investigación que se realizarán en los territorios de la cuenca del lago de Atitlán. 2. Diseñar los ensayos a establecer en el campo según las necesidades discutidas en la reunión con los diferentes representantes. 3. Dar seguimiento técnico a los ensayos instalados, para su manejo y control de plagas y enfermedades, así como posterior cosecha y resultados finales. 4. Informar a los involucrados en la coordinación sobre los resultados preliminares o finales que se obtienen en los ensayos, tanto por escrito y verbalmente explicados. **B. DE LA AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA DEL LAGO DE ATITLAN Y SU ENTORNO:** 1. Apoyar con el combustible para los técnicos investigadores del ICTA para las actividades de ubicación de parcelas, establecimiento de ensayos y seguimiento de los mismos. 2. Suministrar los insumos necesarios (fertilizantes, Cal agrícola,

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*





Materia Orgánica, y demás insumos agrícolas) en el tiempo oportuno, para la implementación de los ensayos a establecer en los diferentes municipios en la cuenca del Lago de Atitlán, eximiendo al ICTA de sus responsabilidades en cuanto al seguimiento técnico, si la entrega de estos no ocurre a tiempo. 3. Coordinar mediante una buena planificación con los extensionistas, agricultores y los demás involucrados para el seguimiento de los ensayos experimentales a realizar durante la vigencia del presente documento. **C. DE LAS PARTES:** 1. Sujetarse a lo que establece el documento del Proyecto "Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación de diferentes niveles de macronutrientes NPK en la cuenca del lago de Atitlán, Sololá", el cual se adjunta como Anexo 1 a la presente Carta de Entendimiento. 2. Compartir los resultados del trabajo de investigación, entre los firmantes de la presente carta de entendimiento. 3. Coordinar el diseño y establecer el proyecto específico, para las áreas de acción. 4. Identificar las parcelas donde se establecerán los ensayos, coordinando con los dueños de las mismas. 5. Apoyo para la investigación o validación de agroquímicos recomendables en los cultivos, en la cuenca del Lago de Atitlán, sin descuidar la productividad en los terrenos en el territorio y logrando la disminución de la contaminación del lago de Atitlán.-----

**QUINTA: COMISIÓN DE ENLACE:** Que será un enlace institucional para la administración y coordinación de la presente Carta de Entendimiento, quienes tendrán la responsabilidad de dar seguimiento al cumplimiento de los compromisos asumidos por las partes, así como la elaboración de cronograma e informes periódicos de las actividades realizadas, que serán dirigidos a las autoridades superiores de cada institución, indicando los logros y avances en la ejecución. Por parte del ICTA, se nombra al Director de la Unidad Técnico Científica y por parte de la AMSCLAE se nombra al Jefe del departamento Agrícola Forestal. La Comisión tendrá la responsabilidad de dar seguimiento al cumplimiento de los compromisos asumidos por las partes, así como la elaboración de cronograma e informes periódicos de las actividades realizadas, que serán dirigidos a las autoridades superiores de cada institución, indicando los logros y avances en la ejecución. -----

**SEXTA. RELACIÓN LABORAL:** Las partes convenimos en que el personal comisionado de enlace para la realización conjunta de cualquier acción, como consecuencia de la presente Carta de





AMSCLAE

Entendimiento, continuará de forma absoluta bajo la dirección y dependencia de la parte con la cual tiene establecida su relación laboral contractual. Si en la realización de alguna actividad interviene personal que preste sus servicios a instituciones o personas distintas a las partes, éste continuará siempre bajo la dirección y dependencia de dicha institución o persona que la contrató, por lo que su intervención no originará ninguna relación de carácter laboral, civil, mercantil, ni de otra índole.

**SEPTIMA. PROPIEDAD INTELECTUAL:** Las publicaciones que resulten de las acciones realizadas en el marco de la presente Carta de Entendimiento, serán debidamente referenciadas en cuanto a su autoría e instituciones participantes. En relación a las publicaciones, éstas deberán contar con la aprobación de la Comisión de Enlace contemplada en la presente Carta de Entendimiento, antes de su impresión y socialización. -----

**OCTAVA. CONTROVERSIA:** Las partes manifestamos que la presente Carta de Entendimiento es el producto de la buena fe, por lo que realizaremos todas las acciones posibles para su debido cumplimiento, sin embargo, en caso de presentarse un conflicto en cuanto a su interpretación y/o aplicación de sus cláusulas, se resolverá de común acuerdo entre los titulares de las partes o por la Comisión de Enlace. Para tal efecto, ambas partes señalamos como lugar para recibir notificaciones y citaciones, las consignadas al inicio del presente documento, específicamente en el apartado de las comparecencias. Las soluciones o acuerdos a que lleguemos, se harán constar por escrito y nos obliga las partes al momento de su firma. -----

**NOVENA. VIGENCIA:** La presente Carta de Entendimiento entra en vigencia a partir de la fecha de suscripción y finalizará el treinta y uno (31) de diciembre del año dos mil dieciocho (2018). -----

**DÉCIMA. AMPLIACIÓN O MODIFICACIÓN:** La presente Carta de Entendimiento podrá ser ampliada o modificada por mutuo consentimiento entre las partes, mediante la suscripción del o los addendums respectivos, los cuales pasarán a formar parte de la presente Carta de Entendimiento.

**DÉCIMA PRIMERA. TERMINACIÓN.** La presente Carta de Entendimiento podrá darse por terminada por las siguientes causas: a) Finalización del plazo de vigencia. b) Por mutuo acuerdo entre las partes. c) Por incumplimiento de una de las partes en los compromisos adquiridos. d) Por situaciones de fuerza mayor o caso fortuito, debidamente comprobados y si ese fuera el caso las



partes no incurrirán en incumplimiento, ni responsabilidad alguna. e) Unilateralmente, por decisión de una de las partes, dando aviso por escrito a la otra, con al menos dos (2) meses de antelación sin perjuicio de los trabajos que se estén desarrollando. En cualquiera de los casos anteriores, la Comisión de Enlace deberá establecer la forma en que se finalizarán las actividades pendientes.

**DÉCIMA SEGUNDA: PROHIBICIÓN:** Se prohíbe a las partes, ceder total o parcialmente los derechos provenientes de la presente Carta de Entendimiento. -----

**DÉCIMA TERCERA: ACEPTACIÓN:** En los términos y condiciones estipulados por el ICTA y la AMSCLAE, aceptamos el contenido íntegro de la presente Carta de Entendimiento, el cual leemos como otorgantes del mismo y estando enterados de su contenido, objeto, validez y efectos legales, la aceptamos, ratificamos y firmamos en el anverso de seis (6) hojas tamaño carta impresas en el anverso de cada una, con los logos de cada institución, en dos (2) originales.

  
**Ing. Julio René Morales**  
Representante Legal y  
Gerente General  
**ICTA**

  
**Inga. Luisa Consuelo Cifuentes de Gramajo**  
Directora Ejecutiva  
**AMSCLAE**



## PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

### **Respuesta del cultivo de maíz (*Zea mays L*) a la aplicación de diferentes niveles de macro nutrientes NPK en la cuenca del lago de Atitlán, Sololá (año 2018)**

Ing. Agr. M.Sc. Luis Márquez, ICTA  
Departamento Agrícola Forestal AMSCLAE

#### 1. Introducción

El lago de Atitlán es un icono cultural con 19 comunidades y 244,000 personas (censo 2009) que ocupan 1% de la cuenca. Por lo menos, cuatro municipalidades se abastecen de agua potable directamente de la orilla del lago.

Todas las aguas residuales provenientes de diferentes fuentes (humana, agrícola o industrial), deben someterse a un tratamiento apropiado antes de poder descargarse a aguas públicas sin ocasionar daño. En años recientes no se ha podido observar ninguna mejora aparente en el manejo de las aguas residuales alrededor del lago, a pesar del florecimiento de cianobacteria en el 2009. (Unidos por el Lago de Atitlan,2013)

Los suelos que rodean la cuenca son de la serie Atitlán, Patzité, Camancha y Toliman, que se ubican dentro de los órdenes de suelos, Entisoles, Inceptisoles, Andisoles y molisoles, las clases agrologicas de suelos que rodean al lago son Clase IV, VII, VII y VIII, por lo que son suelos con serias limitantes para su uso agrícola. Son suelos francos arenosos, bien drenados, con pH moderadamente ácido, con baja a media saturación de bases, con baja capacidad de asimilación de fosforo por parte de las plantas, con moderada a alta erosión del suelo, con fuerte pendiente. (Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sololá, Guatemala)

El cultivo de maíz es de suma importancia en Guatemala en todos los sectores sociales, principalmente en el área rural, ya que forma parte fundamental de la dieta diaria de la población, por lo que el cultivo de maíz constituye una de las pocas alternativas para la sobrevivencia en el área rural

La dosificación adecuada de los nutrientes al cultivo de maíz no solo contribuye a que el agricultor optimice sus recursos económicos, sino que también influye directamente en la conservación de la fertilidad natural de los suelos y disminuye los riesgos de contaminaciones ambientales entre otros, principalmente del recurso agua de los mantos freáticos y otros cuerpos de aguas superficiales, ya sea por lixiviación de nutrientes o el arrastre de los mismos por las aguas de escorrentía.

El objetivo de la fertilización es aplicar los fertilizantes en el momento oportuno y en el lugar adecuado, para que sean aprovechados por la planta de una mejor manera. Los fertilizantes deben ser aplicados al momento de la siembra o a los ocho días después de la

misma, teniendo el cuidado que el fertilizante no entre en contacto con las semillas, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente (Poey, 1979).

Por lo anteriormente descrito sobre la situación del manejo de los suelos que rodean al lago y a los problemas provocados por la acumulación de fosforo en el lago AMSCLAE e ICTA, unen esfuerzos para iniciar una serie de ensayos para determinar los niveles de fertilización al cultivo de maíz que incidan directamente sobre el rendimiento del cultivo y que sea preferentemente bajo en fosforo.

## **2. Marco teórico**

### **IMPORTANCIA DE LA FERTILIZACIÓN**

La agricultura es un sector económico estratégico y multifuncional, que tiene como principal finalidad, asegurar de forma indefinida una producción de alimentos y diversas materias primas suficientes para cubrir las necesidades de una población humana creciente. Aunque la evolución de las técnicas agrícolas ha sido continua desde los inicios de la agricultura, hace unos 8,000 – 10,000 años, en función del nivel de desarrollo científico técnico de la sociedad, es a partir de mediados del siglo XX, cuando el avance fue más sobresaliente, dando lugar a aumentos espectaculares en las producciones agrícolas (Thevenet, 1995), que proporcionaron un marcado aumento de la población humana, pasando de unos 2,500 millones de personas en 1950, a unos 6,400 millones en el 2004. Obviamente, en el citado avance tecnológico que generó el llamado cultivo intensivo o convencional, han contribuido las mejoras logradas en distintas técnicas agrarias como las variedades seleccionadas, la fertilización, el riego, los fitosanitarios, la protección, etc. (FNUAP, 2004).

En cuanto a la fertilización del suelo, basada inicialmente en la utilización de los residuos orgánicos disponibles, principalmente estiércoles y fertilizantes inorgánicos de origen natural, experimentó un cambio drástico a partir de la década de 1950, con el desarrollo de los fertilizantes inorgánicos N-P-K, lo que contribuyó en gran medida a aumentar los rendimientos de los cultivos. Así, Sherwood estima en 30 a 50% la contribución de los fertilizantes inorgánicos N-P-K al aumento de producción vegetal registrado en los últimos decenios, y entre estos materiales cabe destacar la importancia de los fertilizantes inorgánicos nitrogenados (de síntesis), de los que en la actualidad depende la alimentación de más dos mil millones de personas (Smil, 1997).

El objetivo de la fertilización es aplicar los fertilizantes en el momento oportuno y en el lugar adecuado, para que sean aprovechados por la planta de una mejor manera. Los fertilizantes deben ser aplicados al momento de la siembra o a los ocho días después de la misma, teniendo el cuidado que el fertilizante no entre en contacto con las semillas, contribuyendo a que las raíces lo absorban oportunamente (Poey, 1979).

### **2.2 IMPORTANCIA DE LOS MACRONUTRIENTES N-P-K EN LAS PLANTAS**

### 2.2.1 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es el elemento más limitativo que hay en casi todos los suelos, por lo que prácticamente siempre hay que suministrarlo en diferentes formas. El nitrógeno es un elemento muy dinámico que entra y sale del sistema de varias maneras (Castellanos, Uvalle y Aguilar, 2000).

Después del agua, el N es el nutriente más importante en el desarrollo de la planta, dado su abundancia en las principales biomoléculas de la materia viva; si a esto añadimos que los suelos suelen ser más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento, no resulta extraño que sea, junto con el fósforo y el potasio, el elemento clave en la nutrición mineral. Las formas iónicas preferentes de absorción de nitrógeno por la raíz son el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Existe también la posibilidad de conseguir  $\text{N}_2$  atmosférico fijado simbióticamente por leguminosas y algunas otras familias de plantas gracias a microorganismos de géneros como *Rhizobium* y *Frankia* y también por la absorción de amoníaco (gas) que se introduce en la planta a través de estomas; ambos terminan convirtiéndose en amonio. No resulta fácil fijar el estado nutricional de las plantas en lo que se refiere al nitrógeno, dado a que la presencia del ion nitrato se ve regulada por aspectos como la desnitrificación hasta formas gaseosas de nitrógeno, la inmovilización microbiana y la lixiviación, mientras que el ion amonio se ve afectado por su volatilización en forma de amoníaco, su absorción por el coloide arcilloso-húmico del suelo y la nitrificación (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra en la fracción de nitrógeno orgánico, no asimilable por las plantas. De ahí la importancia de los procesos de mineralización del nitrógeno en el suelo, habitualmente controlados por microorganismos, por lo que es muy difícil dictaminar el potencial nutritivo de nitrógeno en el suelo, aún más, si consideramos los procesos mencionados de desnitrificación y lixiviación. Esta última determina el enorme impacto ambiental que los nitratos de origen agrícola ejercen en la contaminación de los acuíferos subterráneos (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

En la planta el nitrógeno se distribuye en tres grupos: más del 50% se halla en compuestos de elevado peso molecular (proteínas y ácidos nucleicos); el resto, en forma de nitrógeno orgánico soluble (aminoácidos, amidas, aminas y otros) y nitrógeno inorgánico (principalmente iones nitrato y amonio). Su contenido en el total del peso seco de la planta oscila entre el 1.5 y el 5% (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Los síntomas de deficiencia de nitrógeno son los característicos de un elemento muy móvil: clorosis en las hojas adultas que, con frecuencia, caen de la planta antes de ser necróticas. Algunas plantas como tomate y ciertas variedades de maíz, muestran una coloración purpúrea causada por la acumulación de pigmentos antocianos (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Un exceso de nitrógeno se manifiesta por un exceso de follaje con un rendimiento pobre en frutos, como sucede en cultivos tan diferentes como los de cítricos y patatas. Se desconoce las razones de este crecimiento relativamente elevado en la zona aérea, pero lo que sí parece seguro es que la transferencia de azúcares hacia las raíces o los tubérculos queda afectada de

alguna forma, quizás debido a un desequilibrio hormonal. El exceso de nitrógeno también hace que los tomates se partan al madurar. En general, existe un desarrollo radicular mínimo frente a un desarrollo foliar grande, con la consiguiente elevación de la proporción parte aérea – raíz, justo lo inverso de lo que sucede en condiciones de deficiencia. También, en algunos cultivos, el exceso de nitrógeno determina un retardo en la floración y formación de semillas (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

El problema de la definición de la dosis de fertilización nitrogenada es una decisión compleja que depende de muchas variables, algunas de las cuales ocurrirán a posteriori de tomada la decisión y, por lo tanto, no tiene una solución exacta. Para su determinación es indispensable el conocimiento del objetivo de la producción, de los requerimientos nutrimentales del cultivo, según la etapa de desarrollo y su potencial productivo, así como de las características de su sistema radical, del nivel de nitratos en el suelo, del nivel de materia orgánica del mismo, de las condiciones físicas y químicas del suelo, de las condiciones climáticas durante el desarrollo del cultivo, de la eficiencia de manejo del agua y del manejo agronómico, pues todo esto afectará la eficiencia de uso del nitrógeno, tanto del que ya está disponible en el suelo y del que se mineralizará durante el desarrollo del cultivo, como del que proviene del fertilizante (Castellanos *et al.*, 2000).

El principal objetivo de la producción es lograr mayor rentabilidad por unidad de superficie mediante un incremento de la producción, mejoramiento de la calidad de la cosecha y oportunidad de mercado, con un enfoque económico y sustentable. La producción de semilla o forraje, el destino del producto: mercado fresco o el procesamiento industrial, son objetivos específicos que también influyen en el manejo de la fertilización (Castellanos *et al.*, 2000).

Las diferentes especies vegetales, híbridos o variedades, tienen distintos requerimientos nutrimentales según su etapa de crecimiento o desarrollo y su potencial de rendimiento. La extracción total de nitrógeno que realiza un cultivo está en función de la concentración de este nutrimento en la materia seca y de la magnitud del rendimiento de grano o porción de interés económico y de paja o residuo de cultivo. Este último es producto de la interacción entre la constitución genética de la planta, el ambiente (temperatura, radiación solar y precipitación pluvial o suministro de riego), el manejo fitosanitario y el manejo agronómico en general (Castellanos *et al.*, 2000).

El suministro de nitrógeno del suelo proviene de: a) El N mineral en forma de nitratos en el perfil del suelo, b) el N mineralizado de la materia orgánica nativa del suelo, y c) El N proveniente de los residuos de cultivo, el cual puede ser positivo (N mineralizado) o negativo (N inmovilizado), dependiendo de la relación C/N de éstos, y d) El N proveniente de enmiendas orgánicas, cuando se aplican estos abonos al suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

El siguiente factor de mayor importancia para calcular la dosis de nitrógeno a aplicar es la eficiencia de utilización. Este factor determinará finalmente en qué proporción se debe incrementar la dosis calculada de N a partir de los datos de demanda bruta y del suministro del suelo (N mineral del suelo, N potencialmente mineralizable de la materia orgánica, efecto del cultivo anterior y del manejo de su residuo). La eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado varía desde 30 hasta 90%. Este rango de eficiencia es el resultado de la gran

variación en las propiedades físicas del suelo (textura del suelo y/o problemas de compactación), la incorporación y calidad de los residuos de cultivo, el sistema de aplicación del agua, la eficiencia del riego, la época de aplicación y fuente de nitrógeno, la magnitud de la precipitación y la profundidad del sistema radicular del cultivo a establecer, etc. Sin embargo, a menudo este intervalo oscila entre 40 y 70% (Castellanos *et al.*, 2000).

### 2.2.2 Fósforo (P)

El fósforo es el segundo nutrimento en importancia, a juzgar por la frecuencia con que ocurre la deficiencia en el suelo. En cuanto a sus funciones en la planta, forma parte de un gran número de compuestos orgánicos esenciales, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila (Castellanos *et al.*, 2000).

El fósforo es disponible para la planta como ion fosfato y se absorbe preferentemente como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en suelos con un pH inferior a 7 y como anión divalente  $\text{HPO}_4^{2-}$  en suelos básicos, con pH superior a 7. En contraste con el nitrógeno, el fósforo no se encuentra en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato, ya sea en forma libre o como un compuesto orgánico, principalmente como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o formando enlaces anhídridos ricos en energía, como es el caso del ATP y del ADP. Desempeña, por tanto, un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y en todo el metabolismo energético. Asimismo, el fósforo tiene un papel estructural importante en muchas moléculas y estructuras celulares, como en el caso de enlaces diéster presentes en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos, los cuales son fundamentales en las estructuras membranosas. Con todo, una parte importante del fosfato en la planta se encuentra en forma iónica libre: el 75% en las vacuolas y el 25% restante, en la matriz y los orgánulos citoplasmáticos, en equilibrio con los ciclos metabólicos (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

El fosfato se redistribuye fácilmente en la mayoría de las plantas de un órgano a otro, acumulándose en las hojas jóvenes y en las flores y semillas en desarrollo; en consecuencia, los síntomas de deficiencia se presentan primero en las hojas adultas. Las plantas deficientes presentan enanismo y, en contraste con las deficientes en nitrógeno, un color verde intenso, tomando un color parduzco a medida que mueren. La madurez se ve retardada en comparación con la de las plantas control aunque en muchas especies, es la relación del fósforo con el nitrógeno la que regula la maduración: el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fósforo la acelera. El fósforo en exceso determina, al contrario que en el caso de nitrógeno, un gran desarrollo de las raíces en relación con la parte aérea, lo que determina una baja proporción parte aérea – raíz. Un factor muy importante que facilita la absorción de fósforo en condiciones naturales es la presencia de micorrizas, que son asociaciones simbióticas entre hongos del suelo y las raíces de las plantas (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Los cultivos varían en su capacidad para abastecerse de fósforo del suelo. El fósforo a diferencia del nitrógeno, es muy poco móvil y, por lo tanto, es muy importante que su aplicación total sea al momento o antes de la siembra, lo más cercana a la raíz. Por otro lado, este nutrimento suele ser fijado en algunos suelos, especialmente en los suelos ácidos o con alto contenido de alofano (Andosoles) o ricos en óxidos de Fe, Al y Mn, al igual que en los suelos con alto contenido de carbonato de calcio. En suelos muy ácidos es recomendable

primeramente aplicar el encalado para que el fósforo que se aplique sea asimilado por el cultivo. En suelos ricos en fósforo, en los que se recomienda una dosis muy baja de fósforo, ésta se considera “de arranque” o “inicio”, por lo que debe ser aplicado en banda, lo más cercana a la línea de siembra para promover su absorción desde las etapas iniciales de desarrollo, en virtud de que una vez que se desarrolla la raíz, ésta puede tomar el P del resto de la masa del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

### **2.2.3 Potasio (K)**

Junto con el fósforo y el nitrógeno, constituye el contenido principal de los fertilizantes de máxima comercialización debido a la importancia de estos tres elementos. Su comportamiento, a pesar de su naturaleza catiónica, es muy similar a la que presentan el fósforo y el nitrógeno, redistribuyéndose con suma facilidad de los órganos maduros a los juveniles, dada su solubilidad y baja afinidad por los ligandos orgánicos, de los que fácilmente se intercambia. Es el catión más abundante en la vacuola y el citoplasma, donde puede alcanzar concentraciones de 100 mM y entre 2000 – 5000 ppm en el xilema, por ejemplo, en remolacha azucarera. Desempeña por tanto, un papel clave en la osmorregulación que tiene lugar en los procesos de apertura y cierre estomáticos, así como en las nastias y tactismos. Por otra parte, el potasio es un activador de más de 50 sistemas enzimáticos, entre los que destacan oxidorreductasas, deshidrogenasas, transferasas, sintetasas y quinasas. Aunque puede ser sustituido en algunos casos, pues solo es necesario para el cambio conformacional de la apoenzima, dadas las altas concentraciones necesarias, a veces resulta difícil considerar un sustituto *in vivo* (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

El potasio es un activador de muchas enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, y también activa enzimas que son necesarias para formar almidón y proteínas. Este elemento también es tan abundante que es uno de los contribuyentes más importantes al potencial osmótico de las células y, por consiguiente, a su presión de turgencia (Salisbury y Ross, 2000).

La deficiencia de potasio en los cultivos se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz y a una debilidad de los tallos que hace a las plantas especialmente sensibles a la acción del viento, las lluvias, etc., principalmente en el caso de monocotiledóneas. En dicotiledóneas, los primeros síntomas de clorosis aparecen también en hojas adultas que posteriormente se hacen necróticas; se retrasa el crecimiento y se producen pérdida de turgencia y marchitamiento, mucho más acusados cuando hay déficit hídrico. En condiciones de exceso de K se incrementa su consumo, salvo en semillas, y ese consumo de lujo puede interferir en la absorción y disponibilidad fisiológica de Ca y Mg (Azcón-Bieto y Talón, 2003).

Se ha reportado una interacción positiva entre nitrógeno y potasio, incluso que bajo un buen suministro de potasio la respuesta al N suele ser mayor. El potasio suele favorecer el metabolismo de nitrógeno, especialmente del nitrógeno amoniacal. La interacción entre potasio y fósforo no está muy bien documentada, sin embargo, en condiciones de deficiencia de P se reduce la absorción de K y viceversa. Sin embargo, aparentemente esto no es más que un mero efecto de la ley del mínimo. Por otro lado, se ha reportado que la aplicación de potasio reduce la deficiencia de zinc inducida por el exceso de fósforo. En cuanto al calcio

y magnesio, éstos son dos nutrimentos con los que el potasio mantiene relaciones antagónicas, prácticamente en todos los cultivos. Un alto suministro de potasio reduce la absorción de magnesio y calcio, sin embargo, un alto suministro de magnesio y calcio afecta poco la absorción de potasio. Por otro lado, en condiciones de deficiencia de calcio en el suelo, se desfavorece la absorción de potasio debido a la pérdida de integridad de la membrana celular. Se ha reportado que la absorción de manganeso, zinc y cobre se ve favorecida en forma general por la aplicación de potasio (Castellanos *et al.*, 2000).

### **3. Objetivos**

#### **General**

Determinar el efecto de las diferentes dosis de  $N-P_2O_5-K_2O$ , aplicadas al cultivo de maíz, sobre los rendimientos de grano comercial.

#### **Específicos**

Determinar el nivel adecuado de  $N-P_2O_5-K_2O-Ca-Mg$  y S dentro de la variable continua de la función de rendimiento, que incida positivamente en la producción de grano comercial de maíz.

### **4. Hipótesis**

Los niveles de  $N-P_2O_5-K_2O-Ca-Mg$  y S evaluados en este estudio, tienen similar efecto sobre la producción de grano comercial de maíz.

### **5. Metodología**

#### **5.1 Localidad y época (s)**

Se establecerán ensayos experimentales en las diferentes comunidades que se encuentran alrededor de la cuenca del lago, se instalarán con genotipos de maíz criollo y mejorado, (ICTA Compuesto Blanco e ICTA V-301), la siembra se realizará en los meses de abril y mayo.

#### **5.2 Diseño experimental**

Se utilizará un diseño experimental de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones y diez tratamientos.

#### **5.3 Tratamientos**

Cuadro 1. Tratamientos a evaluar en el estudio del efecto de la aplicación de macronutrientes N-P-K en el cultivo del maíz, en la cuenca del lago de Atitlán, Sololá. 2017.

Tratamiento	Kg/ha				
	N	P	K	M.O	Cal
1	110	110	00	1000	500
2	105	17	105	1000	00
3	110	110	00	1000	00
4	105	17	105	00	500
5	75	40	40	00	500
6	105	17	105	1000	500
7	110	110	00	00	00
8	100	80	100	00	00
9	105	17	105	00	00
10	110	110	00	00	500

#### 5.4 Tamaño de la unidad experimental

El tamaño de la unidad experimental será de 20 m<sup>2</sup>, tomándose datos de los surcos centrales, por lo que el área neta será de 10 m<sup>2</sup>.

#### 5.5 Modelo estadístico

El modelo estadístico que corresponde al diseño experimental bloques completos al azar, se indica a continuación:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta de la  $ij$ .ésima unidad experimental

$M$  = Efecto de la media general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental asociado a la  $ij$ -ésima unidad experimental

$i$  = Número de tratamientos

$j$  = Número de repeticiones

#### 5.6 Variables de respuesta

Para alcanzar los objetivos planteados, es fundamental conocer el rendimiento de grano obtenido con cada uno de los tratamientos aplicados y sus respectivas repeticiones.

### 5.7 Análisis de la información

Para la variable evaluada, se realizará análisis de varianza (ANDEVA), cuando se determinen diferencias significativas entre los tratamientos, se procederá a efectuar las respectivas pruebas de medias DGC, Para cada localidad los análisis se correrán individualmente y luego un combinado para la región que comprende la cuenca del lago, así como un análisis de correspondencia.

### 5.8 Manejo del experimento

**Preparación del terreno:** Previo a la siembra se realizaran las labores necesarias para preparar el terreno y dejarlo listo para la siembra. Esta labor se realizará en forma manual, de acuerdo a la forma de trabajo de cada productor de la región.

**Trazo del experimento:** se procederá a la delimitación de los surcos y de las unidades experimentales, y a efectuar el sorteo respectivo de los tratamientos.

**Siembra:** de acuerdo a lo expresado por los productores, la misma se realizará de forma manual, con azadón, se manejaran distancias de 1 m entre surcos y 0.60 m entre posturas; colocando 5 granos por postura.

**Control de malezas:** durante el ciclo de cultivo y de acuerdo a las necesidades, se realizaran las limpiezas que sean necesarias (pre y post emergencia). Esta labor se realizará en forma manual.

**Control de plagas y enfermedades:** en el área se realizaran aplicaciones para el control de plagas y enfermedades, si fuese necesario.

**Fertilización:** la primera fertilización se realizará a los 40 días después de la siembra, cuando se realice la primera limpia, aplicando el total de fósforo de cada tratamiento, así como el 50% del nitrógeno y potasio, el material de enmienda (cal agrícola) y la materia orgánica se aplicaran a los 8 días después de la emergencia. Al momento de la segunda limpia (calza), se aplicará el restante 50% de nitrógeno y potasio requerido en cada tratamiento.

**Cosecha:** cuando más del 90% de las plantas presenten el grado de madurez apropiado, se procederá a la cosecha. Para ello, en cada unidad experimental se recolectaran las mazorcas (frutos) de cada planta en forma manual.

## 6. Cronograma de actividades

Actividad	2018										2019
	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Búsqueda de terrenos	■	■									
Compra de insumos	■	■									
Diseño de ensayos	■										
Instalación de ensayos		■	■								
Primera fertilización			■	■							
Supervisión			■	■	■	■	■	■	■	■	
Segunda fertilización						■	■	■			
Supervisión				■	■	■	■	■	■	■	
Cosecha										■	■
Análisis de información											■
Redacción de informe final											■

## 7. Presupuesto

El presupuesto de los experimentos es manejado en su totalidad por la administración de AMSCLAE. ICTA colabora con el diseño de los experimentos, su instalación, supervisión, cosecha, análisis de la información y redacción del informe final, en esta parte también participara AMSCLAE. ICTA cubre algunos renglones que no son cubiertos por AMCLAE.

## 8. Referencias bibliográficas

Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2003). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona, España. 522 p.

DIGEGR, Dirección de información geográfica, estratégica y gestión de riesgo, Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sololá, Guatemala. Volumen I, 2013.

Poey, D. (1979). Los componentes del rendimiento y su aplicación en la investigación de cultivos. Guatemala. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Boletín Técnico No. 3, 17 p.

Smil, V. (1997). Global population and the nitrogen cycle. Científica American 277:58-63.

Unidos por el Lago de Atitlán, Estado del Lago de Atitlán, informe 2013

**ANEXOS**

**DOSIS A APLICAR DE FERTILIZANTES EN LOS ENSAYOS DE MAÍZ EN SOLOLÁ 2018, SI EL DISTANCIAMIENTO ENTRE SURCOS ES DE 0.90 m, EN LA PRIMERA FERTILIZACIÓN**

**CUADRO No. 1**

TRAT	Gramos/postura						
	20-20-0	19-4-19	10-50-0	UREA	0-0-60	M.O.	CAL
1	30					54	27
2		23		2.86	2.19	54	
3	30					54	
4		23		2.86	2.19		27
5			4.34	7.90	3.62		27
6		23		2.86	2.19	54	27
7	30						
8			8.68	9.91	9.04		
9		23		2.86	2.19		
10	30						27

El cuadro No. 1, indica el total en gramos que deberán aplicarse en cada ensayo y de acuerdo con cada tratamiento.

**Cuadro No. 2,**

TRAT	Gramos/postura						
	20-20-0	19-4-19	10-50-0	UREA	0-0-60	M.O.	CAL
1	30					54	27
2		23		1.43	1.1	54	
3	30					54	
4		23		1.43	1.1		27
5			4.34	3.95	1.81		27
6		23		1.43	2.19	54	27
7	30						
8			8.68	4.96	4.52		
9		23		1.43	1.1		
10	30						27

El cuadro No. 2, indica la cantidad de gramos a aplicar por tratamiento considerando que el Nitrógeno y el potasio se fraccionan al 50 % al inicio y 50% al candeo.

**DOSIS A APLICAR DE FERTILIZANTES EN LOS ENSAYOS DE MAÍZ EN SOLOLÁ  
2018, SI EL DISTANCIAMIENTO ENTRE SURCOS ES DE 1.00 m, EN LA PRIMERA  
FERTILIZACIÓN**

TRAT	Gramos/postura						
	20-20-0	19-4-19	10-50-0	UREA	0-0-60	M.O.	CAL
1	33					60	30
2		26		3.17	2.43	60	
3	33					60	
4		26		3.17	2.43		30
5			4.81	8.76	4.0		30
6		26		3.17	2.43	60	30
7	33						
8			9.64	11.0	10.0		
9		26		3.17	2.43		
10	33						30

El cuadro No. 1, indica el total en gramos que deberán aplicarse en cada ensayo y de acuerdo con cada tratamiento.

TRAT	Gramos/postura						
	20-20-0	19-4-19	10-50-0	UREA	0-0-60	M.O.	CAL
1	33					60	30
2		26		1.58	1.22	60	
3	33					60	
4		26		1.58	1.22		30
5			4.81	4.38	2.00		30
6		26		1.58	1.22	60	30
7	33						
8			9.64	5.5	5.00		
9		26		1.58	1.22		
10	33						30

El cuadro No. 2, indica la cantidad de gramos a aplicar por tratamiento considerando que el Nitrógeno y el potasio se fraccionan al 50 % al inicio y 50% al candeo.

