

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO

Effect of nitrogen fertilization on maize crop to characterize greenhouse gas emissions

Daniel Raúl Vergara Rodríguez¹

RESUMEN

El proceso de fertilización en los cultivos de maíz es crucial para el desarrollo de las plántulas y el aseguramiento de óptimos volúmenes de producción a nivel industrial, la aplicación de nitrógeno es una práctica común en este tipo de cultivos de carácter comercial ya que este elemento es uno de los nutrientes esenciales que en ausencia limita el desarrollo y la productividad de la planta. Estas prácticas de fertilización nitrogenada generan depósitos de nitratos y nitritos en el sustrato que al ser degradados liberan grandes cantidades de gases como Óxido Nitroso (N₂O), gas carbónico (CO₂), y gas metano (CH₄), a la atmósfera causando una mayor absorción de la radiación solar y en consecuencia un aumento en la temperatura global conocido como efecto invernadero.

El proyecto se presenta como una opción diagnóstica del estado actual de las prácticas de cultivo en la región, se toma como base el cultivo de maíz ya que la región de la altillanura colombiana es conocida por ser una de las zonas donde ha prosperado este cultivo en alternación estacional con el cultivo de soya. Este trabajo se ejecuta en la estación Experimental Taluma de Corpoica, km 91 vía Puerto López – Puerto Gaitán (Meta) y se selecciona un suelo de sabana nativa (Oxisol). Para el estudio se toman parcelas de 400m² (20 x 20mts), parcelas completamente al azar, 4 tratamientos con diferentes dosis de aplicación de nitrógeno (0Kgs/N, 60Kgs/N, 120Kgs/N, 240Kgs/N), 3 repeticiones. El objetivo principal de la investigación es verificar el efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz respecto a producción de grano y a la emisión de gases efecto invernadero. Con este trabajo logramos demostrar la producción de grano de maíz bajo diferentes dosis de fertilización de nitrógeno, encontrándose una relación acorde entre la producción de grano y la aplicación de cada dosis de nitrógeno, caracterizando al mismo tiempo los gases que se emiten con estas aplicaciones, dentro de los cuales dieron como resultado el dióxido de carbono (CO₂), el gas metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), siendo este último el más potente y perjudicial a la atmósfera.

Se encontró que el tratamiento de 60Kgs/N, es el que mejor uso eficiente del nitrógeno realiza, no siendo suficiente la dosis para las producciones esperadas en la región y que los tratamientos de 120Kgs/N y 240Kgs/N, son los que más producen grano pero al mismo tiempo son los que más pérdida de nitrógeno tienen y donde mayor emisiones de óxido nitroso (N₂O) se ejecutan.

Es por esto que se debe trabajar arduamente en trabajos con los productores junto a entidades de investigación para lograr producir alimentos en esta zona con gran responsabilidad ambiental.

Palabras claves: Maíz, Manejo Agronómico, Fertilización, Nitrógeno, Gases, Emisión, Efecto Invernadero, Calentamiento Global, Producción Limpia.

¹ Agrónomo. Tesista Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, Acacias (Meta). Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. dr.vergara29@hotmail.com.

ABSTRACT

The process of fertilization in corn crops is crucial for the development of seedlings and ensuring optimal production volumes at industrial level, the application of nitrogen is a common practice in such commercial crops as this element is one of the essential nutrients in the absence limits the development and productivity of the plant. These practices generate nitrogen fertilization deposits of nitrates and nitrites in the substrate to be degraded release large amounts of gases such as nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄) into the atmosphere causing increased absorption solar radiation and consequently an increase in the overall temperature known as greenhouse.

The project is presented as a diagnostic option on the current state of farming practices in the region; it builds on the maize as the region of the Colombian high plains is known to be one of the areas where it has flourished this crop seasonal alternation with soybean crop. This work is performed in the Experimental Taluma Corpoica station, 91 km via Puerto Lopez - Puerto Gaitan (Meta) and a native savanna soil (Oxisol) is selected. For the study plots of 400m² (20 x 20mts), completely random plots, 4 treatments of nitrogen application rate (0lbs / N, 60kgs / N, 120kgs / N, 240Kgs / N), 3 repetitions are made. The main objective of the research is to verify the effect of nitrogen fertilization on maize grain yield about and greenhouse gas emissions. With this work we demonstrate the production of grain maize under different nitrogen fertilization, according finding a relationship between grain production and application of each dose of nitrogen, while characterizing the gases emitted with these applications, within which resulted in carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), the latter being the most powerful and damaging to the atmosphere.

It was found that treatment of 60kgs / N, is the best efficient use of nitrogen makes, not sufficient dose for expected production in the region and treatments 120kgs / N and 240Kgs / N, are the biggest producers grain but also are the most loss of nitrogen have and where greater emissions of nitrous oxide (N₂O) are executed.

That is why we must work hard at work with producers with research institutions to achieve food production in this area with great environmental responsibility.

Keywords: Corn, Agricultural Management, Fertilization, Nitrogen, Gases, Emissions, Greenhouse, Global Warming, Clean Production.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas han influenciado profundamente el ciclo del nitrógeno (N). Actualmente, el uso global de fertilizantes nitrogenados ha alcanzado aproximadamente las 100 millones de Ton/año con el fin de mantener los niveles de producción agrícola (IFA, 2005). Aproximadamente el 70% de los fertilizantes nitrogenados usados en los sistemas de producción agrícolas se pierde debido a la nitrificación y a sus procesos asociados (Raun y Johnson, 1999; Glass, 2003). En suelos agrícolas altamente fertilizados e irrigados la pérdida de N en forma de nitratos (NO₃⁻) a través de escorrentías puede alcanzar los 912 kg NO₃ - ha/año (Adriano *et al.*, 1972; Pratt y Adriano, 1973). Adicionalmente, la agricultura representa una fuente importante de generación de óxido nitroso (N₂O), un poderoso gas de efecto invernadero, produciendo alrededor de 70% de las emisiones antropocéntricas totales (Mosier, 1993; Smith *et al.*, 1997). “Se estima que las emisiones globales de N₂O producidas por áreas cultivadas es de 3.5 millones ton anuales, de las cuales 1.5 millones ton son directamente atribuidas al uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kroeze, 1994; Smith

et al., 1997). Por otra parte, los costos de los fertilizantes se están incrementando continuamente haciendo la producción agrícola más costosa que en décadas pasadas.

Lograr la sincronía entre el suministro de N y la demanda de los cultivos sin causar exceso o deficiencia es la clave para optimizar la comercialización y el mercadeo considerando la productividad del cultivo, las ganancias o utilidades, y la calidad ambiental (Cassman, *et al.*, 2002). Tomando en consideración los sistemas de producción de cereales (trigo, maíz, arroz, cebada, sorgo, mijo, avena, y centeno) la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) es aproximadamente 33%. El 67% restante representa pérdidas de los fertilizantes nitrogenados a través de escorrentías y volatilización (Raun *et al.*, 2002). Este hecho representa un gran problema en el manejo de nutrientes para la mayoría de cultivos en general.

MATERIALES Y METODOS

Localización.

El ensayo se estableció en la Estación Experimental Taluma, Km 91 vía Puerto López, Puerto Gaitán. La Estación tiene las siguientes coordenadas: 4°22' 11" N, 72°13' 33" O. El lote donde se estableció el experimento tiene las siguientes coordenadas: 4°22' 21" N, 72°13' 8" O.

El lote seleccionado es una Sabana virgen, la cual es el tipo de paisaje predominante en la región. El tipo de suelo es un oxisol, los cuales son mayoría en la región. Estos suelos son conocidos por su alta saturación de aluminio y bajos contenidos en nutrientes.

Análisis químico de suelo.

Atributos del Suelo	Sabana Nativa
Textura	FaAr
pH (Unidades)	4.8
Materia Orgánica (%)	1.1
P- Bray II (mg/kg)	1.6
Acidez Intercamb. (cmol/kg)	2.4
Aluminio (cmol/kg)	1.8
Ca (cmol/kg)	0.3
Mg (cmol/kg)	0.06
K (cmol/kg)	0.06
Sodio (cmol/kg)	0.06
CIC (cmol/kg)	2.88
S (mg/kg)	14.3
B (mg/kg)	0.7
Cu (mg/kg)	0.1
Fe (mg/kg)	48.0
Mn (mg/kg)	1.0
Zn (mg/kg)	0.9
Saturación de Alum (%)	83
Saturación de Bases (%)	17

Resultados de análisis de suelos

Diseño Experimental.

Para el estudio se toman parcelas de 400m² (20 x 20mts), parcelas completamente al azar, 4 tratamientos de dosis de aplicación de nitrógeno (0Kgs/N, 60Kgs/N, 120Kgs/N, 240Kgs/N), 3 repeticiones, 12 parcelas en total.

Preparación del Terreno.

Después de obtenidos los resultados del análisis de suelos, se procedió a la preparación del terreno, ejecutando primero un pase de rastra, para incorporar la vegetación existente en el terreno, en seguida se procedió a la aplicación de la enmienda con cal dolomítica para reducir la saturación de aluminio, aplicando 3 toneladas/ hectárea. La toxicidad del aluminio es el factor que más limita el crecimiento de las plantas en estos suelos fuertemente ácidos. Después se realiza un pase de cincel rígido para incorporar la cal, además descompactar el suelo y darle mayor profundidad de raíces a las plantas y ofrecerle una mayor profundidad de la humedad a las mismas.

Luego se deja quieto el terreno por unos 30 días para que la cal haga su trabajo. Durante este tiempo aparecen algunas malezas las cuales es necesario fumigarlas con herbicida para controlarlas. Por la textura del terreno no hubo necesidad de pasar más rastra para desterronar, con la última labor que es realizar un pase de pulidor, se deja el terreno listo para realizar la siembra. Estos tipos de suelo se les deben cuidar bastante en la preparación para evitar erosionarlos o compactarlos.

El material seleccionado de Maíz, fue el híbrido amarillo, 1596 de Monsanto, utilizando una dosis de 50.000 semillas por hectárea, para que queden 45.000 plantas por hectárea a cosecha, considerando un 8 a 10% de pérdidas en la germinación.

Se demarcan las parcelas con estacas de madera y se procede al establecimiento del ensayo. El ensayo se estableció en Julio 28 - 2014. Se sembró con máquina, se utilizó una sembradora de 4 tolvas, John Deere 2450. Esta sembradora siembra y fertiliza al mismo tiempo.

Manejo Agronómico.

Establecido el ensayo viene el manejo agronómico del cultivo, donde las labores son fertilización con nitrógeno primera y segunda dosis, toma de muestras de emisión de gases, control de plagas, enfermedades y malezas y luego cosecha del cultivo.

Fertilización.

Al momento de la siembra se debe fertilizar aplicando el total del fósforo, el 20% del nitrógeno, el restante de este elemento se aplica a los 15 y 35 días después de la siembra, el 50% del potasio y el restante se aplica a los 35 días después de la siembra, el total del calcio, magnesio y azufre, también se aplican los elementos menores en este momento de siembra. La dosis a utilizar por hectárea de los elementos fue la siguiente:

P: 100% a la siembra = 200 Kgs/ha ----DAP

N: 20% a la siembra = 15 días (40%) y 35 días (40%) = Urea

K: 50% a la siembra= 75 Kgs, 35 días 50%, 75Kgs= 150Kgs/ha= Cloruro de potasio.

Ca, Mg, S: A la siembra= Ca 30Kgs/ha, Mg 13Kgs/ha, S 8Kgs/ha= 100Kgs – delfoscamag

Elementos menores: A la siembra= 30Kgs/ha de Borozinco.

Fertilización de los diferentes tratamientos.

Parcelas de Tratamiento cero nitrógeno (0N)

T- ON a la siembra

Granufos: 13.9 Kgs

KCL: 3 Kgs

Delfoscamag: 4 Kgs

Borozinco: 1.2 Kgs

884grs x Surco

KCL: 3 Kgs – 35 días, 120grs x Surco

Parcelas de tratamientos con nitrógeno.

T- 60Kgs/N, 120Kgs/N, 240Khs/N a la siembra.

DAP: 8 Kgs

KCL: 3 Kgs

Delfoscamag: 4 Kgs

Borozinco: 1.2 Kgs

648grs x Surco

Urea a los 15 y 35 días:

T-60N: 652.5grs= 26.1grs/Surco

T-120N:3.260grs= 130.4grs/Surco

T-240N:8.480grs= 339.2grs/Surco

Factores Climáticos influyentes en el desarrollo del experimento.

Temperatura Media 27 °C (Mínima 21°C y Máxima 33°C)

Precipitación 2375m.m. media anual (Mínima 2200m.m. y Máxima 2500m.m.)

Brillo Solar 1916.5 Horas/Sol/Año, con un promedio de 5.2 horas Luz/día.

Evaporación 1636 m.m /Año

Velocidad del viento: Entre 5 y 8 Km/Hora

El cultivo del maíz tiene un requerimiento hídrico teórico de 600 mm durante el ciclo de cultivo. En su etapa vegetativa consume el 30% (180 mm) y en la etapa reproductiva el consumo es del 70% (420 mm).

Los datos de precipitación tomados nos muestran que hubo unas buenas condiciones de agua para el desarrollo del cultivo, que no hubo problemas de estrés hídrico. Las precipitaciones de julio a diciembre fueron las siguientes:

Precipitación Fase Experimento	
MES	mm
Julio	221
Agosto	154
Septiembre	128
Octubre	318
Noviembre	183

Diciembre	82
TOTAL PRECIPITACION	1086
Tabla. Precipitación.	D. Vergara

Control de plagas, Enfermedades y malezas en el cultivo.

Control de plagas.

Las plagas que principalmente atacan son el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el gusano barrenador del tallo (*Diatraea*).

El cogollero se controla con un inhibidor de quitina, para esto se aplicó MATCH 50, utilizando 40 cms por bomba de espalda de 20 lts, se realizaron 3 aplicaciones hasta el momento de floración donde esta plaga ya no aparece.

Para diatraea su control es biológico utilizando trichogramma, 50 pulgadas/hectárea, colocándolas a partir del día 25 después de germinado el maíz. Se realizan unas dos aplicaciones mientras el cultivo ya empieza su etapa de secado o etapa final, más o menos cada 20 días.

Enfermedades.

Para el control de algunas enfermedades que afectan el cultivo, se realizan controles preventivos para evitar cualquier ataque de estas. Dentro de las enfermedades que afectan el cultivo en esta zona podemos mencionar las principales como son; La Mancha de asfalto, la *Phaeosphaeria Maydis*, *Physoderma Maydis*.

Control Preventivo.

Para el control preventivo se realizaron aplicaciones cada 15 días, desde más o menos el día 40 después de la siembra, hasta más o menos el día 85 a 90, que es cuando la planta ya comienza su proceso de secado naturalmente, aquí ya no hay peligro de enfermedades. Se aplicó el fungicida, Amistar Top, 80 cms por bomba de motor de 20 lts.

Control de malezas.

Este también es uno de los controles de gran importancia por la competencia por nutrientes que ejercen las malezas sobre el cultivo principal.

Desde el momento en que realizamos la siembra debemos comenzar a realizar este control; para esto aplicamos atrazina como preemergente, 1.5 kgs / hectárea. De aquí en adelante se realiza una aplicación entre surcos más o menos cada 30 días con un herbicida de contacto, para este fin utilizamos Finale, 200 cms por bomba de espalda de 20 lts. Durante el ciclo vegetativo del cultivo hasta cosecha se realizan más o menos 3 aplicaciones de herbicida.

Emisión de gases efecto invernadero.

La agricultura es responsable de la liberación de 5100 a 6100 megatoneladas (Mt) de equivalentes de CO₂ a la atmósfera. Actividades relacionadas con la agricultura representan el 47% de las emisiones generadas por los humanos, y el 58% de óxido nitroso (N₂O).

En 100 años, el potencial de calentamiento global de N₂O y CH₄ son 300 y 25 veces mayores respectivamente que el CO₂.

Para la toma de muestras de gases se utilizaron los siguientes materiales: Anillos en PVC, de 20 cms de diámetro, cámaras de PVC, 20 cms de diámetro, bandas de caucho, jeringas plásticas de 20 mL, agujas hipodérmicas No. 24, frascos de vidrio (vial), termómetros digitales, cronómetros digitales, recipiente plástico. Para la toma de muestras se siguieron las recomendaciones del laboratorio de Servicios Ambientales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), las cuales están plasmadas en un protocolo. A este protocolo actual se le realizaron algunas adaptaciones de metodología para la toma de las muestras en campo sugeridas por el mismo laboratorio para minimizar el margen de error. (*Laboratorio de servicios ambientales, 2003*).

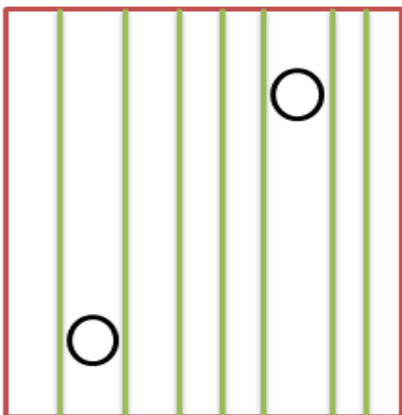
Adaptaciones al protocolo para la toma muestras de emisión de gases

Las adaptaciones realizadas fueron el diámetro de los anillos y las cámaras, la cantidad de anillos y cámaras colocadas por parcela, la forma como se deben tomar y guardar los gases en los frascos. Todas estas adaptaciones quedan escritas dentro de este mismo protocolo siendo recomendación explícita del laboratorio.

1. Instalación de anillos y cámara de PVC.

Los anillos que tienen aproximadamente 20 cm de diámetro y 10 cm de altura, deben sobresalir 5 a 6 cm de la superficie para permitir la instalación de las cámaras, al instalar el anillo, se debe tener cuidado para que no se deforme y mantenga su forma cilíndrica, de lo contrario el ajuste posterior con la cámara no será bueno y aparecerían escapes de gas que invalidarían el muestreo. Una vez instalados, los anillos permanecerán fijos en su lugar durante todo el tiempo de muestreo. Se instalarán 2 anillos por cada parcela en forma diagonal y evitando los bordes.

Forma de instalación de las Cámaras.



1. Forma de muestreo de gases

Todos los materiales necesarios para la toma de muestras de gases deben alistarse y revisarse antes de iniciar el muestreo para evitar cualquier contratiempo. Los frascos deben marcarse con cada

tiempo correspondiente y distribuirse con anterioridad en cada una de las parcelas al inicio del muestreo. En la segunda cámara de cada parcela deben colocarse los frascos, allí debe haber 4 frascos, con tiempos 0, 10, 20 y 30 minutos. En los frascos también se debe colocar la fecha de muestreo.

Al momento del muestreo, se instalan cámaras de PVC (10 cm de alto, 20 cm diámetro) sobre los anillos instalados en el campo (Figura 2). Las cámaras se cierran herméticamente con una banda de caucho. Para cada cámara se toman muestras de aire correspondientes a los tiempos 0, 10, 20 y 30 minutos, contados a partir de la ubicación de la cámara. Se utilizarán cámaras con un orificio de venteo para equilibrar presión.

Para tomar una muestra de aire, se utilizan jeringas plásticas de 20 mL conectadas a una válvula o llave de plástico. Con el embolo de la jeringa completamente en el fondo de la misma (volumen dentro de la jeringa = 0) y la válvula en posición abierta, se introduce la aguja de la jeringa en uno de los tapones de caucho de la cámara. Se bombea unas dos veces para mezclar bien los gases, solamente en el momento de tomar el tiempo 0, luego en los otros tiempos no es necesario mezclar. Se toman 10 mL de aire en la primera cámara y se cierra la válvula, se saca la jeringa y se dirige a la segunda cámara y se toman otros 10 mL de aire, se cierra la válvula, se extrae la jeringa, se toma el frasco, se introduce la aguja de la jeringa en el tapón de este, cerca de esta aguja de la jeringa se introduce otra aguja, se abre la válvula y enseguida se baja el embolo hasta los 15 mL, evacuando al ambiente 5 mL, por la aguja colocada, se cierra la válvula de la jeringa y se extrae la aguja adicional, se abre la válvula de la jeringa y se depositan los 15 mL en el frasco, se cierra la válvula y se extrae la jeringa. Cuando se introduce la jeringa en el frasco con vacío para inyectar los 15ml de muestra que han quedado en la jeringa, si el vacío del frasco es adecuado el émbolo de la jeringa debe bajar por sí mismo hasta aproximadamente 10 mL al abrir la válvula (este valor puede cambiar si hay más o menos humedad en la muestra). Si no se observa ningún movimiento en el pistón al introducir la aguja en el frasco, se debe girar el pistón de la jeringa. Algunas veces el agua de condensación u otros compuestos volátiles de la muestra hace que el embolo se atasque. Si al girar un poco el embolo, este de todos modos no baja, ello indica que el frasco no tiene vacío y en tal caso, se debe proceder a reemplazado.

Los viales son colocados en el recipiente plástico a la sombra, para evitar cambios por la exposición a altas temperaturas.

Es necesario conocer exactamente la temperatura del aire dentro de la cámara al momento del muestreo para poder calcular adecuadamente los flujos de gases. Para ello, la primera cámara en cada parcela debe estar equipada con un termómetro que permitirá registrar la temperatura para cada uno de los tiempos y un reloj digital.

Cada tratamiento o parcela se debe tomar dentro de los diez minutos que hay entre un tiempo y otro en cada una de las repeticiones para evitar que si se toman con mucha diferencia de tiempo podría haber diferencias sustanciales entre tratamientos.

3. Análisis de las muestras

Las muestras son analizadas en un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14A , equipado con detector de ionización de llama (FID) en el análisis del metano y detector de captura de electrones (ECD) para el análisis del óxido nitroso.

Toma de muestras de gases en campo.

Conociendo los pasos a seguir en la forma como se debían tomar las muestras se determinó realizar tres muestreos en diferentes fechas durante el desarrollo del cultivo y por ende del ensayo.

Toma primera muestra: Tres (3) días después de la primera fertilización nitrogenada (Agosto 15 – 2014).

Toma segunda muestra: Tres (3) días después de la segunda fertilización nitrogenada (Septiembre 4 -2014).

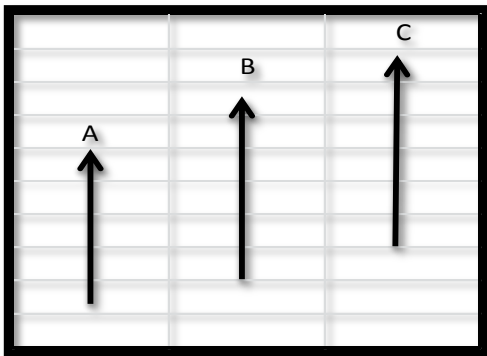
Toma tercera muestra: Cinco (5) días antes de la cosecha. (Diciembre – 4 – 2014).

En el momento de realizar el muestreo cuando se tomó la muestra de uno de los tratamientos, se procedió a realizar el mismo tratamiento en las tres repeticiones, dentro de los diez minutos que hay entre un tiempo y otro, para evitar diferencias entre los tratamientos. Para esta labor se utilizaron 3 personas.

Se inició el muestreo con el tratamiento de la parcela 1, o sea 120N, se hizo la lectura de los 4 tiempos a este tratamiento, terminado este tratamiento se inició con otro y así sucesivamente hasta terminar todos los tratamientos. El tiempo utilizado para realizar todo el muestreo de las 12 parcelas son más o menos 180 minutos.

Cosecha del cultivo.

La metodología definida para realizar el muestreo en el momento de la cosecha fue la siguiente:



- Para el muestreo de la parte aérea de la planta se tomarán 3 surcos de 10 mts de largo al azar (A, B, C), por cada parcela en cada uno de los tratamientos.
- Se tomarán número de plantas y de mazorcas por cada uno de los surcos seleccionados para muestreo en cada parcela.
- Se cosecharán las mazorcas contadas por cada uno de los surcos seleccionados para muestreo en cada parcela y se les tomara su peso y se expresara en gramos.
- Las mazorcas cosechadas y pesadas por cada surco, se desgranarán y se pesara el grano, expresando este peso en gramos.
- Las plantas contadas por cada surco seleccionado para muestreo se cortarán y se pesarán para obtener el peso de la biomasa por surco. Este peso se expresara en kilogramos.
- Tomar muestras de grano por tratamiento (uniendo las tres repeticiones), para análisis de laboratorio
- Tomar muestras de plantas completas por tratamiento (uniendo las tres repeticiones), para análisis de laboratorio.
- Estos procesos se realizarán en todos los tratamientos de las tres repeticiones del experimento.



El ciclo vegetativo del material sembrado a cosecha esta entre los 120 a 130 días. Tratando de obtener una humedad óptima al momento de cosecha se dejó hasta los 140 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de resultados, hay que recordar que la Orinoquia Colombiana, es una zona relativamente nueva para la agricultura, hasta hace unos años atrás se decía que era imposible producir algún cultivo por las condiciones de suelo que se tenían; la investigación en el campo agrícola por parte de algunas entidades de gran importancia como Corpoica, entidad nacional y el CIAT como entidad internacional, han logrado cambiar este pensamiento en los agricultores y en inversionistas nacionales e internacionales, que ahora ven la región como una despensa agrícola a nivel nacional y de América Latina en general.

Sabemos que la mayoría de tierras en América Latina ya tienen uso para la agricultura, la ganadería, además de forestales, cultivos para biocombustibles y otros, mientras que en esta zona apenas se comienza a explotar en estos campos.

El maíz es un cultivo que para expresar su potencial requiere de algunas buenas condiciones y entre estas esta las horas luz/día, mientras más luz/día haya, mayor energía tomara la planta y mayor será su producción.

Es claro que esta zona no la podemos comparar con otras zonas productoras de otros países como Brasil o Estados Unidos, donde las producciones están por encima de las 10 Ton/ha, pero todo debido a la posición geográfica en que se encuentran estos países, su latitud juega un papel importantísimo en la producción especialmente de este cultivo. Sus horas luz/día llegan tranquilamente a 14 horas promedio, mientras que aquí en la zona de la Orinoquia apenas llegamos a 5.2 horas luz/día.

Pero aun así con estos contratiempos, es una zona para tener en cuenta por el gran tamaño de hectáreas en las que se podrían producir alimento, pues estamos hablando en total de cerca de trece millones de hectáreas, de las cuales 3.500.000 pertenecen a la Altillanura plana, sabanas no inundables, las cuales están ubicadas en los departamentos de Meta y Vichada, y el restante en los otros departamentos pertenecientes a la Orinoquia Colombiana.

Producción de Grano de acuerdo a los Tratamientos de Nitrógeno

Para medir la producción de grano se evaluaron 4 tratamientos, con tres repeticiones, parcelas totalmente al azar (parcelas de 400m²), de los cuales uno es el testigo 0N, y los otros son tres tratamientos con diferentes dosis/ha de nitrógeno, entre los cuales tenemos 60N, 120, 240N.

Se muestrearon 3 surcos de 10 mts, por tratamiento, se tomaron mediciones como número de plantas por surco, numero de mazorcas por surco, peso de mazorcas con tusa y peso del grano sin tusa para cada surco, en cada uno de los tratamientos y en cada repetición, esto para obtener rendimiento por tratamiento en cada una de las repeticiones. El peso del grano con tusa se tomó como un dato adicional para estimar el rendimiento del cultivo, no teniendo mayor relevancia ya que el dato más importante es el peso del grano como tal.

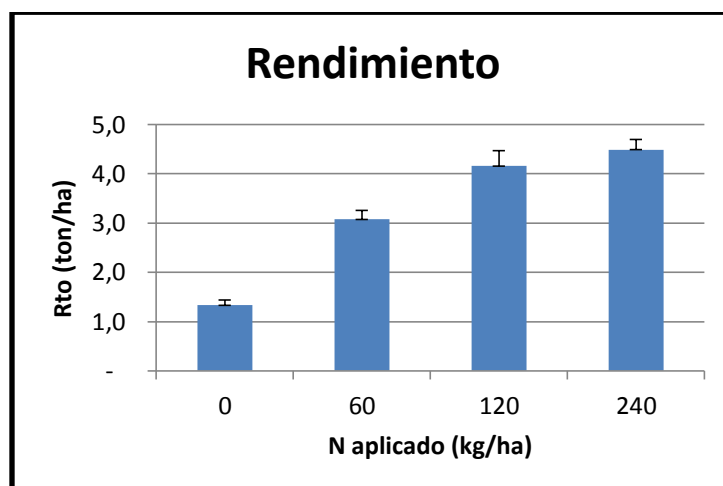
Los datos tomados por tratamiento en cada repetición (parcela de 400m²), se le sacaron promedio por repetición, luego se sumaron las tres repeticiones por tratamiento y se obtuvo promedio para

cada tratamiento, 0N, 60N, 120N y 240N. También se llevaron estos promedios a toneladas/hectárea para cada tratamiento.

Se observó que entre repeticiones de cada uno de los tratamientos no hay diferencias significativas, para la producción de grano del cultivo, dando confiabilidad en la toma de datos y resultados obtenidos.

En lo referente a la producción de grano en el maíz, tenemos que para poder producir maíz en este tipo de suelos con saturaciones altas de aluminio, 80%, primero que todo hay que realizar una aplicación de cal dolomita correspondiente entre dos y tres toneladas respectivamente para corregir esta saturación. Una saturación de bases para producir maíz en esta región puede estar entre un 35 a 45%. Por otro lado también se afirma que para lograr producir grano hay que efectivamente realizar la aplicación de este elemento tan importante como lo es el nitrógeno.

Rendimiento.



La anterior afirmación se desprende luego de analizar las producciones de cada uno de los tratamientos. En el tratamiento sin nitrógeno (0N), es claro que la producción es muy baja por la falta de este elemento, su producción fue escasamente de 1.3 Ton/ha.

La mayor producción de grano se obtuvo con la mayor dosis de nitrógeno que fue 240 Kgs de N/ha, la cual llegó a 4.5 Ton/ha

Para el tratamiento de 60N, es importante ver que con una dosis que es apenas una tercera parte de lo que utilizan actualmente los agricultores en esta zona, (180 Kgs de N/ha), la diferencia con los otros tratamientos es apenas de 1.1Ton, con respecto al tratamiento 120N y de 1.4 Ton, con respecto al tratamiento 240N.

Esto demuestra el buen aprovechamiento del nitrógeno en este tratamiento, a razón que en el momento de la aplicación del nitrógeno la planta está necesitada de este elemento y la dosis aplicada suple la necesidad de la planta en ese momento.

La diferencia de producción de grano entre los tratamientos con mayor dosis de aplicación de nitrógeno, entre 120N y 240N, no es significativa, es apenas de 0.3 Ton/ha, teniendo en cuenta que la dosis de mayor aplicación de nitrógeno (240N), es el doble de la otra dosis, (120N), pero también es claro que con la mayor dosis de aplicación de nitrógeno se obtiene la mayor producción.

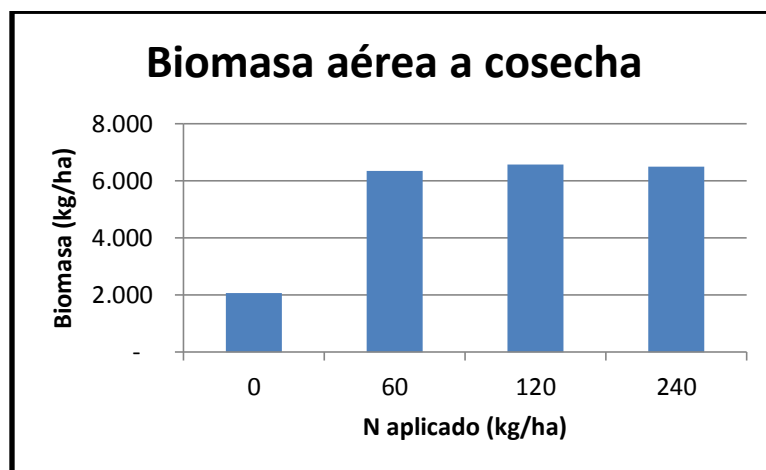
Siendo la diferencia en producción de grano entre los tratamientos de 120N y 240N, poco significativa nos indica que la aplicación tan alta de nitrógeno (240N) no es recomendable, pues son altos los costos de aplicación de nitrógeno los cuales aumentarían los costos de producción/ha ostensiblemente.

Conociendo que en 60 Kgs de N, tenemos el mayor aprovechamiento del nitrógeno en este cultivo específicamente, pero que 60 Kgs de N/ha, no suplen la cantidad requerida por el cultivo y que la mejor producción de grano la obtenemos aplicando entre 120 y 240 Kgs de N, podemos pensar que una aplicación correcta estaría entre los 150 y 180 Kgs de N/ha, y que se podría dividir la aplicación en más veces. Normalmente la aplicación de nitrógeno se ejecuta en dos aplicaciones, una a los 15 días después de la siembra y la otra a los 35 días después de la siembra; la aplicación de las dosis sugeridas se podría ejecutar en 3 aplicaciones, que sería de la siguiente forma: A los 13, 26 y 39 días después de la siembra, pensando en un mejor aprovechamiento del nitrógeno por parte de la planta y evitando las pérdidas que afectan al medio ambiente.

Al haber una mayor cantidad de aplicaciones, el agricultor va a pensar que los costos de producción se van a aumentar, pero hay que entender que la aplicación sería menos costosa con respecto al aprovechamiento del nitrógeno por parte del cultivo y por ende el beneficio que esto traería, pues se vería reflejado en un aumento en la producción de grano y en menos daño al medio ambiente. El costo beneficio sería mejor para el agricultor, pero mucho más para el medio ambiente.

De acuerdo a los resultados en la producción de grano de maíz en la zona de la Orinoquia Colombiana, sabemos que hay que ejecutar varios pasos para lograr obtener unas buenas producciones, que hay que ejecutar los correctivos al suelo y ajustar las aplicaciones del nitrógeno, en sus dosis y cantidad de veces en que se debe dividir estas aplicaciones para evitar pérdidas innecesarias, logrando una mayor eficiencia en la producción de este cultivo, proporcionando con esto un mayor desarrollo en esta zona, olvidada por cierto un poco por el estado.

Producción de Biomasa de acuerdo a los Tratamientos de Nitrógeno.



Para la producción de biomasa en el cultivo del maíz se evaluó igual que para la producción de grano, 4 tratamientos, con tres repeticiones, parcelas totalmente al azar (parcelas de 400m²), de los cuales uno es el testigo 0N, y los otros son tres tratamientos con diferentes dosis/ha de nitrógeno, entre los cuales tenemos 60N, 120, 240N.

Se muestrearon 3 surcos de 10 mts, por tratamiento, se tomaron mediciones como número de plantas por surco, peso de la biomasa por surco, en cada uno de los tratamientos y en cada

repetición, esto para saber la producción de la biomasa por tratamiento en cada una de las repeticiones.

Los datos tomados por tratamiento en cada repetición (parcela de 400m²), se le sacaron promedio por repetición, luego se sumaron las tres repeticiones por tratamiento y se obtuvo promedio para cada tratamiento, 0N, 60N, 120N y 240N. Estos promedios se llevaron a toneladas/hectárea para cada tratamiento.

Hay que mencionar que no hubo diferencias significativas entre repeticiones dentro de cada uno de los tratamientos.

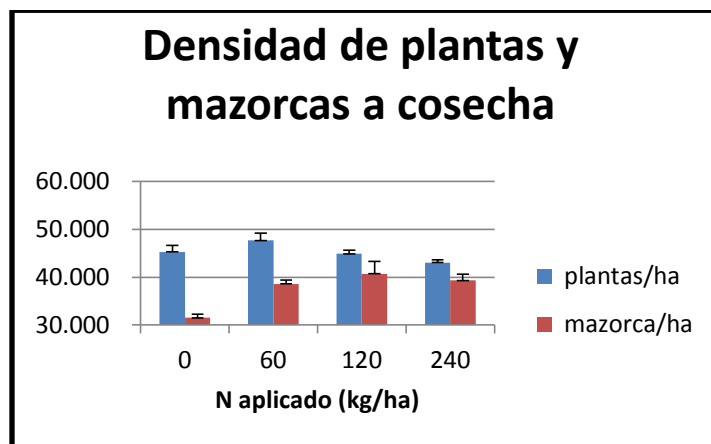
Para la biomasa de las plantas, obtenida en cada uno de los tratamientos, tenemos que para el tratamiento de 0N, es el que proporciona menos cantidad, llegando apenas a 2 Ton/ha. La falta del nitrógeno evito el buen desarrollo en las plantas, pues son plantas que quedaron con porte bajo, un poco débiles y poco forraje.

Entre los tratamientos de 60N, 120N y 240N, no hay una diferencia significativa en producción de biomasa, siendo un poco menor el tratamiento de 60N en comparación de los otros dos tratamientos que están un poco más altos en cantidad, pero muy similares entre ellos. La diferencia entre estos tratamientos es que en el tratamiento de 60N, las hojas son un poco más amarillentas durante su etapa vegetativa y sus tallos son un poco más delgados, comparadas con las de los tratamientos de 120N y 240N.

De acuerdo a estos resultados podemos decir que en el tratamiento de 60N, se corrobora el mejor aprovechamiento del nitrógeno por parte de la planta y la gran pérdida de nitrógeno en los otros dos tratamientos.

Se puede concluir que estos resultados de biomasa están relacionados con la producción de grano; si se proporciona al cultivo unas buenas condiciones durante todo su desarrollo vegetativo, su producción de grano correspondería en parte a esta situación. Una planta fuerte y en buenas condiciones responderá con excelentes resultados.

Densidad de Plantas y de Mazorcas.



En la densidad de plantas y mazorcas se observó que la densidad de plantas fue mayor que la de mazorcas, y los tratamientos de 0N y 60N, fueron los que mostraron mayor diferencia entre plantas y mazorcas, esto debido a la falta del nitrógeno en uno y a la baja dosis en el otro, a un que las plantas se establecieron no produjeron mazorcas.

Eficiencia del uso y recuperación del nitrógeno por parte del cultivo

Eficiencia uso y recuperación del nitrógeno en el cultivo de maíz.

Indicador	Tratamiento	Kgs/ha	Ton/ha-Kgs/ha
Eficiencia agronómica del uso del nitrógeno.	60N	52.43	3.1 Ton
	120N	35.29	4.2 Ton
	240N	18.78	4.5 Ton
Eficiencia de recuperación del nitrógeno por parte del cultivo.	60N	0.82	49,2 Kgs
	120N	0.66	79.2 Kgs
	240N	0.36	86.4 Kgs

Eficiencia agronómica del uso del nitrógeno para cada uno de los tratamientos.

La tabla, nos indica que en el tratamiento 60N, por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este produce 52.43 Kgs/ha. Esto quiere decir que para este tratamiento el uso eficiente del nitrógeno es de 3.1 Ton/ha, de grano

Para el tratamiento de 120N, nos indica que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este produce 35.29 Kgs/ha, de grano. Esto quiere decir que para este tratamiento el uso eficiente del nitrógeno es de 4.2 Ton/ha, de grano.

Para el tratamiento de 240N, nos indica que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este produce 18.78 Kgs/ha, de grano. Para este tratamiento el uso eficiente del nitrógeno es de 4.5 Ton/ha, de grano.

Es aquí donde se confirma lo que se ha dicho en los párrafos anteriores de los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos para la producción de grano y biomasa del cultivo.

La tabla, nos muestra claramente que en el tratamiento de 60N, es donde se realiza la mayor eficiencia de uso del nitrógeno, en donde por cada kilo de nitrógeno aplicado hay una mayor conversión, pues por cada kilo de nitrógeno aplicado se obtiene 52.43 kgs/ha, de grano, mientras que en el de 120N se obtiene 35.29 Kgs/ha, y para el de 240N se obtiene 18.78 Kgs/ha, observándose una gran diferencia entre estos dos últimos tratamientos con respecto al primero (60N).

Si comparamos este tratamiento de 60N, con los otros dos de 120N y 240N, donde en estos dos últimos el uso eficiente es menor que en el tratamiento de 60N, podríamos decir que al realizar una aplicación como los tratamientos de 120N y 240N tenemos pérdidas grandes de nitrógeno, que estarían afectando al medio ambiente y por ende al agricultor en su parte económica.

Eficiencia de recuperación del nitrógeno por parte del cultivo.

La tabla nos indica que en el tratamiento 60N, por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este recupera 0.82 Kgs/ha. Esto quiere decir que para este tratamiento la eficiencia de recuperación del nitrógeno por parte del cultivo es de 49.2 Kgs/ha.

Para el tratamiento de 120N, nos indica que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este recupera 0.66 Kgs/ha. Esto quiere decir que para este tratamiento la eficiencia de recuperación del nitrógeno por parte del cultivo es de 79.2 Kgs/ha.

Para el tratamiento de 240N, nos indica que por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo, este recupera 0.36 Kgs/ha. Esto quiere decir que para este tratamiento la eficiencia de recuperación del nitrógeno por parte del cultivo es de 86.4 Kgs/ha.

Creemos que la buena eficiencia de nitrógeno en el tratamiento de 60N, es porque la cantidad de nitrógeno aplicado es apenas la que necesita la planta en ese momento, logrando un mejor aprovechamiento y evitando las pérdidas que se suceden en los otros dos tratamientos, (120N y 240N).

Al parecer las pérdidas de nitrógeno son mayores cuando los niveles de fertilización son más altos y se dan por volatilización y se da por alta humedad en el suelo en el momento de la fertilización y temperaturas mayores a 22°C. En recientes estudios se ha comprobado que al aplicar altos niveles de nitrógeno no se presentan diferencias en producción de maíz, solo se reduce la eficiencia de este nutriente y se incrementa las pérdidas como NO_3 o como NH_4 (Wachendorf et al., 2006; Martha et al., 2004; Nevens, 2003, Bundy and Andraski, 2005).

Resultados Emisión de Gases Efecto Invernadero.

La emisión de gases a causa de las fertilizaciones con nitrógeno son talvez de las emisiones más dañinas al medio ambiente, por los gases que se emiten durante este proceso, entre los cuales se pudo **caracterizar luego de los análisis de laboratorio, al dióxido de carbono (CO_2), gas metano (NH_4) y óxido nitroso (NO_2)**, siendo este el más potente de estos tres.

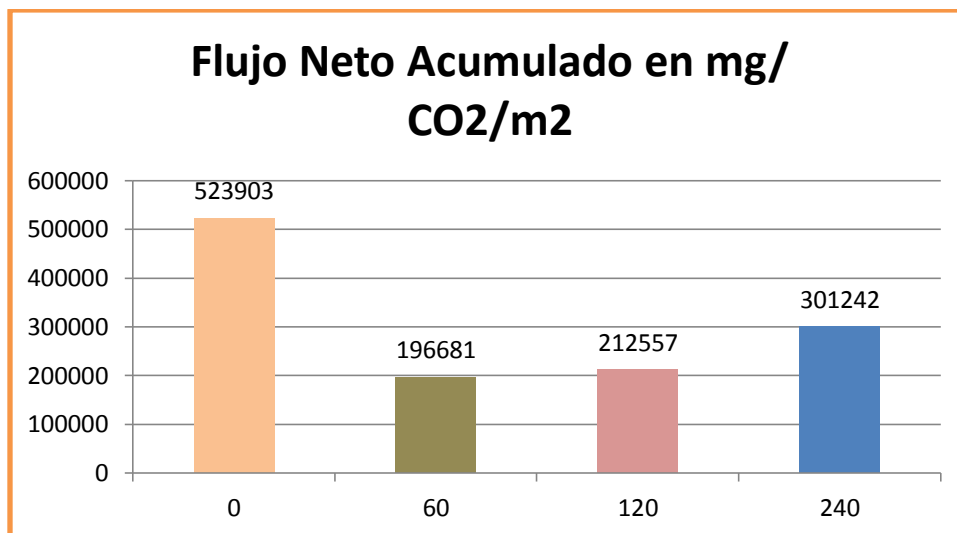
Hay que tener en cuenta que todas estas emisiones de gases, en estos tipos de sistemas agrícolas se realizan por la actividad microbiana existente en el medio, complementado con algunas condiciones de humedad y temperatura en el suelo.

Los muestreos de toma de gases se realizaron tres días después de las aplicaciones de nitrógeno y 5 días antes de la cosecha del cultivo. Se realizó un muestreo después de la primera fertilización nitrogenada, un segundo después de la segunda fertilización nitrogenada y un tercero 5 días antes de la cosecha.

Se muestrearon dos cámaras por tratamiento en cada una de las repeticiones, tomando los 4 tiempos establecidos para muestreo; 0, 10, 20 y 30 minutos. Estas muestras se tomaron para cada tratamiento de acuerdo a lo establecido en el protocolo.

Las muestras se enviaron al laboratorio para sus respectivos análisis y este a su vez nos entregó los resultados de estos análisis directamente en gráficas para lograr entender su interpretación, pues con los datos crudos es complicado explicar lo que sucede en el sistema, además esta interpretación la realiza un profesional de este campo.

Flujos acumulados de Dióxido de Carbono (CO_2).



Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (CIAT). Febrero / 2015

La gráfica, nos explica la acumulación de flujos netos de CO₂, en mg por m². En esta vemos que en el tratamiento de 0N, es donde sucede la mayor emisión de CO₂, en comparación con los otros tratamientos que llevan nitrógeno, pero esta se da más naturalmente por la actividad microbiana que se encuentra en el tratamiento, junto a unas condiciones de humedad y temperatura óptimas para que esto suceda. Esto quiere decir que en los días antes del muestreo hubo lluvias y temperaturas las cuales favorecieron las condiciones para que se diera este proceso.

Tenemos que para el tratamiento 0N, su emisión es de 523.903 mg / m², esto quiere decir que su emisión es de aproximadamente 5.239 kgs/ha /año.

Para los tratamientos con nitrógeno, tomando el de 240N, que es el que más emite, su emisión apenas llega a 3.012 Kgs/ha /año.

Las emisiones de CO₂, no son tan relevantes para el sistema ya que el mismo cultivo ayuda a controlarlo cuando lo toma para realizar su fotosíntesis. Toda la vegetación toma este gas para sus procesos fisiológicos, disminuyendo en gran parte todas estas emisiones que se causan. Dentro de los otros tratamientos que llevan nitrógeno, las emisiones son bajas y no hay diferencias significativas para las emisiones de CO₂.

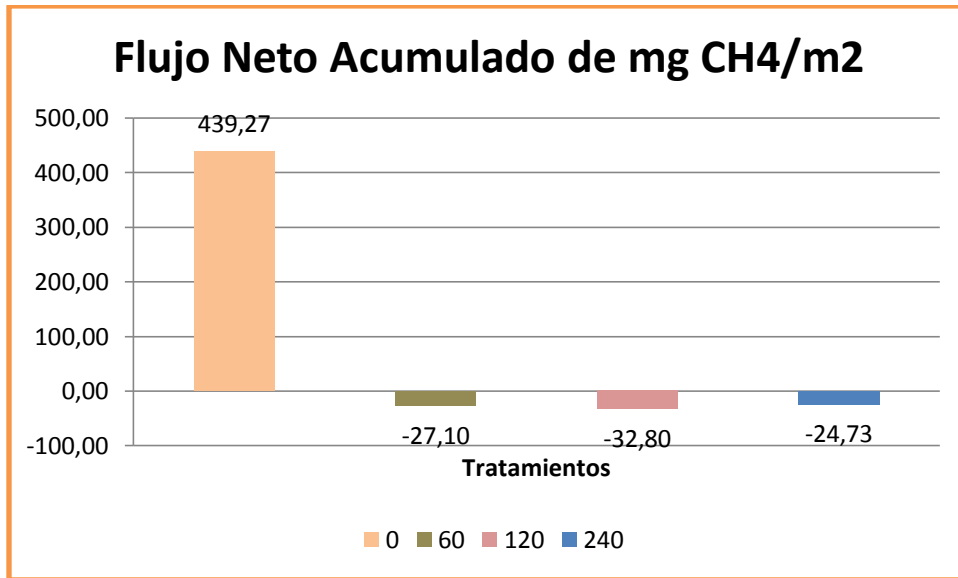
Flujos acumulados de Metano (NH₄).

La gráfica, nos muestra claramente que mientras que en el tratamiento 0N, se está emitiendo gas metano, los otros tratamientos que llevan nitrógeno, lo están acumulando, lo cual diría que no estarían afectando al medio ambiente.

Esto nos dice que cuando se realizan aplicaciones de nitrógeno, no hay emisiones de gas metano, solo acumulaciones. Estas emisiones que muestra la gráfica en el tratamiento 0N, se dan más por reacciones de óxido reducción en el suelo, que por cualquier otro factor.

Teniendo que el tratamiento 0N, emite 439,27 mg/m², podemos decir que en el sistema se estaría emitiendo aproximadamente 4.39 kilos de metano / ha / año.

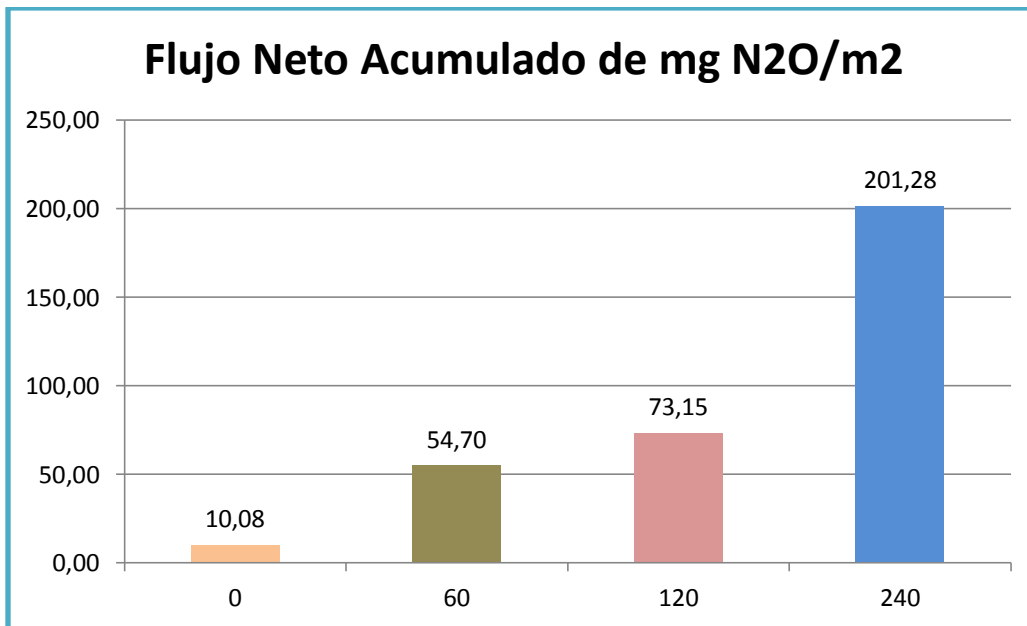
La cantidad de gas metano que acumula el sistema es bastante baja, solo alcanza los 0.846 kgs / ha / año.



Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (CIAT). Febrero / 2015

Con estos resultados podríamos decir que la zona de la Altillanura cultivada en maíz (7.000 has), no estaría afectando en emisiones de gas metano al medio ambiente, las emisiones se presentarían más por procesos naturales, que por otro factor. A nivel mundial las emisiones de gas metano pueden estar alrededor de los 400 a los 450 millones de toneladas / año.

Flujos acumulados de óxido nitroso (N₂O).



Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (CIAT). Febrero / 2015

La gráfica, nos muestra los acumulados de N₂O, donde se presenta una interacción significativa entre la aplicación de fertilizante de acuerdo a los resultados donde las dosis más altas después de 3 días del efecto de la aplicación muestra los valores más altos de flujo, esto puede estar asociado a

las condiciones de la sabana nativa de la Altillanura Colombiana donde los suelos bajo estas condiciones naturales se caracterizan por ser suelos marginales debido a su baja fertilidad natural y a su susceptibilidad a una rápida degradación a diferencias de los sistemas donde ha recibido un manejo agronómico mejorando así algunas propiedades físico-químicas del suelo como incremento de la fertilidad y condiciones de calidad de suelo en cuanto a la estructura como el caso donde se ha sembrado pasturas o algunos cultivos como maíz y soya.

Es claro que para el tratamiento de 240N, es donde se presenta la mayor emisión de este gas por ser la cantidad más alta de nitrógeno aplicado.

Por otra parte podemos estimar que si tenemos aproximadamente 7.000 hectáreas sembradas de maíz en la Altillanura Colombiana y que los productores utilizan una dosis de 180 kgs de N / ha, esta dosis emitiría aproximadamente 147 mg de N₂O / m², emitiendo por hectárea / año aproximadamente 1.47 kilos de N₂O, estos nos daría aproximadamente una emisión de 10.290 kilos de N₂O / año para toda el área sembrada en esta zona. (10.2 Ton de N₂O / año).

Aunque es un porcentaje bastante bajo, que no es muy representativo conociendo las emisiones globales anuales de N₂O, que llegan a los 12.7 millones de toneladas, si es preocupante porque se debe manejar de una forma donde se beneficie el agricultor y el medio ambiente.

Es a este gas (N₂O), que se le debe apuntar y que se debe tratar de mitigar, pues es el causante en gran porcentaje de los problemas del cambio climático en el mundo.

CONCLUSIONES

- ❖ El trabajo realizado demostró claramente que con las aplicaciones de nitrógeno efectivamente hay emisión de gases efecto invernadero, logrando caracterizar al mismo tiempo estos mismos, dentro de los cuales tenemos el CO₂, CH₄ y N₂O, siendo este último el más potente y perjudicial a la atmósfera.
- ❖ Se logró medir que al aplicar mayor cantidad de nitrógeno hay mayor producción de grano de maíz, pero también hay mayores pérdidas de nitrógeno y por consiguiente mayor emisión de óxido nitroso (N₂O).
- ❖ Se logró observar que el nitrógeno es un elemento esencial para lograr obtener buenas producciones de maíz, el cual debe ser aplicado en dosis adecuadas para evitar pérdidas que afecten al medio ambiente, evidenciándolo claramente; donde no se aplicó nitrógeno la producción fue muy baja y donde se aplicó nitrógeno sus producciones fueron más altas.
- ❖ Los resultados arrojaron que el tratamiento de 60N, es el que tiene un mejor uso eficiente del nitrógeno y que es donde hay menor pérdida al momento de la aplicación de nitrógeno, no siendo suficiente esta dosis para lograr una producción aceptable que cubra los gastos de producción y deje ganancias al productor y que el menor uso eficiente del nitrógeno lo tiene el tratamiento de 240N, llegando a unas pérdidas de nitrógeno de casi el 60%.

RECOMENDACIONES

- Dadas las actuales condiciones ambientales por toda la gran contaminación, se necesita desarrollar nuevas tecnologías y métodos para regular estas emisiones de gases que causan estas fertilizaciones nitrogenadas y así mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno y mitigar el cambio climático.
- Se necesita la integración de sistemas con bajos niveles de nitrificación que beneficien a la agricultura y al medio ambiente.
- Conociendo las grandes pérdidas de nitrógeno que se tienen en las aplicaciones, que pueden llegar a más del 60% y de acuerdo a los resultados anteriores se debe pensar seriamente en dividir la aplicación de nitrógeno en tres y no en dos como se tiene actualmente, para obtener un mejor aprovechamiento de este elemento.
- Se debe hacer más énfasis a los productores en el mal uso que se le está dando al nitrógeno el cual no solo está afectando al medio ambiente sino a ellos también económicamente.
- Es de gran importancia que las entidades de investigación sigan desarrollando experimentos encausados a obtener buenas producciones en los diferentes cultivos, pero beneficiando al medio ambiente
- La zona de la Orinoquia Colombiana es para tener en cuenta, es una gran alternativa de producción de cultivos que pueden ayudar a la seguridad alimentaria en nuestro país, ya que en el futuro la demanda de alimento será mayor.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Bowman, A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H. 2002. Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochem. Cycles* 16(4):1058.
- ✓ Hutchinson, G.L., Mosier, A.R., 1981. Improved soil cover method for field measurements of nitrous-oxide fluxes. *Soil Science Society of America Journal* 45(2), 311-316.
- ✓ Balcázar, L., Orozco, M y Samacá, H. 2003. Fuentes y fundamentos de la competitividad agrorural en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- Banco Mundial y la FAO. 112 p.
- ✓ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. 2004. Coyuntura y Tendencias Agropecuarias. Volumen 1, Número 1. 20 p.
- ✓ Martínez, A. 2004. Cadenas productivas Caribe Húmedo. Secretaria Técnica CORPOICA Cereté. CORPOICA. 30 p. (Documento de trabajo).
- ✓ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2004. Costos de producción de maíz amarillo

tecnificado en Colombia. Documento de trabajo Número 28. www.agrocadenas.gov.co.

- ✓ Garay, L.; Espinosa Fenwarth, A. 2004. Borrador de avance preliminar sobre los estudios preparatorios para la negociación del TLC con Estados Unidos. Bogotá, Minagricultura. 93 p.
- ✓ Bouwman AF, Van Vuuren dP, derwent RG, Posch, m. 2002. A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems. *Water Air Soil Poll* 141:349-382.
- ✓ Desjardins RL, Keng JC. 1999. Nitrous oxide emissions from agricultural sources in Canada. En: Desjardins RL, Keng JC, Hauguen-Kozyra K, editores. *Proceedings of the International Workshop on Reducing Nitrous Oxide Emissions from Agroecosystems*, Edmonton, Canadá: Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch; Alberta Agriculture, Food and Rural development, Conservation and development Branch.
- ✓ [CIAT] Centro Internacional de Agricultura Tropical. 2007. Annual Report Climate Change Project, Informe Anual 2007. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT.
- ✓ Rao IM, Kerridge PC, Macedo M. 1996. Adaptation to low fertility acid soils and nutritional requirements of Brachiaria. En: Miles JW, Maass BL, do Valle CB, editores. *The biology, agronomy and improvement of Brachiaria*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. pp 53-71.
- ✓ Reza S, Mejía S, Torregroza L, Jiménez N, Espinosa M, Suárez E, Pastrana I, novoa R. 2011. emisiones de gases de efecto invernadero por tres accesiones de Brachiaria humidicola y Panicum máximum cv tanzania en el valle medio del Sinú. *Boletín Técnico*. Cereté, Colombia: Corpoica.
- ✓ Smith KA, Mctaggart IP, Tsuruta H. 1997. Emissions of N₂o and no associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture, and the potencial for mitigation. *Soil Use Manage* 13:296-304
- ✓ Subbarao G, Nakahara K, Hurtado M, Ono H, Moreta D, Salcedo A, Yoshihashi A, Ishikawa T, Ishitani M, Ohnishi-Kameyama M, et al. 2009. Evidence for biological nitrification inhibition in Brachiaria pastures. *PNAS* 106(41):17302-17307.
- ✓ Tejos R, Rodríguez C, Pérez N, Rivero L, Terán, Colmenares M. 1996. Gramíneas forrajeras promisorias para el llano bajo. En: *II Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal*. Barinas: universidad nacional Ezequiel Zamora. pp. 9-14.