

Cuantificación de los nitritos del suelo en un cultivo de palma de aceite en los Llanos Orientales y su relación con la lluvia, la variabilidad espacial y la labranza con cincel

Quantification of soil nitrites in an oil palm field in the colombian eastern plains and their relation with rainfall, spatial variability and chisel plowing

JORGE CARREÑO*; ALVARO ACOSTA**; FERNANDO MUNÉVAR**; MÓNICA CUÉLLAR**

R E S U M E N

Investigaciones realizadas por Cenipalma han mostrado que, con frecuencia, los suelos de las plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) presentan condiciones físicas adversas, tales como capas superficiales de arcilla, alta compactación, conductividad hidráulica lenta o períodos prolongados de alta humedad, las cuales limitan la aireación del suelo, pudiéndose presentar condiciones de reducción. Entre los principales grupos de constituyentes del suelo cuya dinámica se ve alterada por este estado de reducción, están las formas inorgánicas de nitrógeno, debido a que la condición de anaerobios es uno de los factores que propicia la acumulación de nitritos. Para conocer la variabilidad espacial y temporal de la concentración de nitritos se realizó un muestreo sistemático en suelos con limitaciones para el drenaje (Tropaquepts), de la plantación Palmas del Casanare en la región del Upía, departamento del Casanare, Colombia. En cada uno de cuatro suelos se estableció una unidad experimental de muestreo conformada por una palma central y las cuatro palmas más próximas y equidistantes a la primera. Las líneas imaginarias que unen la palma central con cada una de las circundantes se denominaron trayectos; de esta forma, dos trayectos cruzaban la calle de cosecha y dos las calles de acumulación de hojas de poda (palera). En el suelo se tomaron muestras a cuatro distancias a partir de la base de la palma, y en cada distancia, a su vez, a tres profundidades dentro de cada trayecto. La concentración de nitritos se evaluó tanto en época de lluvia como en época seca, y luego en dos oportunidades más después de haber aireado el suelo mediante el uso de un arado de cincel. Como de cada punto de muestreo se tomaron cuatro muestras (réplicas), el estudio comprendió un total de 1.536 muestras. Se encontraron diferencias significativas ($\alpha=5\%$) en la concentración de nitritos entre épocas, calles y profundidades. No se encontraron diferencias significativas entre suelos. La concentración de nitritos fue mayor en la época de lluvia que en la época seca, y mayor en las calles de cosecha que en las paleras. La concentración de nitritos en la época húmeda en las calles de cosecha superó los niveles considerados en la literatura como fitotóxicos. La labor de cincelado permitió disminuir las concentraciones de nitritos en el suelo y cambiar su patrón de variabilidad espacial. La variabilidad temporal y espacial que se encontró, debe tenerse en cuenta en estudios futuros relacionados con el tema.

* Estudiante de Ingeniería Agronómica, Instituto Universitario de La Paz, Barrancabermeja, Colombia.

** Investigadores Asociado, Titular y Auxiliar, respectivamente. Centro de Investigación en Palma de Aceite -Cenipalma. Apartado Aéreo 252171, Santafé de Bogotá, Colombia.

SUMMARY

Preliminary research carried out by Cenipalma has shown that the soils planted with oil palm [*Elaeis guineensis* Jacq.] in the east of Colombia frequently have unfavorable physical conditions such as surface clay horizons, high compaction, slow hydraulic conductivity and prolonged periods of water saturation. Those conditions limit soil aeration to a point that reduction may occur. The inorganic forms of nitrogen are among the soil constituents whose dynamics may be altered by reduction, mainly because under anaerobic conditions nitrites may accumulate. A survey was done in order to determine the spatial and temporal variability of soil nitrites in the Upía region. The study was conducted at Palmas de Casanare estate (Casanare, Colombia) where the soils (Tropaquepts) have limitations for drainage. In each of four soils a sampling plot was established, consisting of a central palm tree and the nearest four palms, which were equidistant to the central one. The imaginary lines linking the central palm to each of the surrounding ones were called transects; thus two transects cross the harvest path and the other two cross the frond-heap path. On each transect, the soil was sampled at four different distances from the base of the palm, and at each of these points at three different depths. The nitrite concentration in the soil was measured in the rainy season as well as in the dry season, and then two times after the soil had been chisel plowed. Since four replications were made of each sample, the study included a total of 1,536 samples. Statistically significant differences ($\alpha=5\%$) were found in nitrite concentration among seasons, transects and depths. No significant differences were found among soils. Nitrite concentration was higher in the wet than in the dry season. Higher nitrite concentrations were found in the harvest paths than in the frond-heap paths. During the rainy season, the nitrite concentration in soil under the harvest paths was higher than the level reported in the literature to be toxic to plants. Chisel plowing lowered the nitrite concentration in the soil and changed its pattern of spatial variability. The variability in time and space found in this study should be kept in mind for future research on this subject.

Palabras claves: Suelo, Factores edáficos, Nitritos, Precipitación, Propiedades físico-químicas, Arados, Compactación del suelo.

INTRODUCCIÓN

El Complejo Pudrición de Cogollo es la principal enfermedad que afecta los cultivos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia, la cual también se ha registrado en otros países latinoamericanos, como Ecuador, Brasil, Surinam y Costa Rica (Nieto y Gómez 1991). El primer caso de la enfermedad en el país se registró en la plantación "La Arenosa" en Turbo (Antioquia), en la cual se afectó un 70% del área plantada, y quienes estudiaron dicho caso (de Rojas y Ruiz 1975) observaron que la enfermedad se desarrolló en los lotes donde se encontraron drenajes deficientes y otros posibles factores predisponentes, como la compactación del suelo. Dichos autores también sugirieron que la ocurrencia de la enfermedad podría estar asociada con la acumulación de nitritos en el suelo, que en concentraciones de 50 a 100 mg de nitrito de sodio/kg de suelo podrían llegar a producir un efecto tóxico para la palma de aceite.

Bajo condiciones normales, los nitritos no se acumulan en el suelo, ya que rápidamente son transformados por los microorganismos a nitratos o a otras formas de

nitrógeno (Alexander 1977). Sin embargo, la carencia de oxígeno libre en el suelo y la presencia de altas concentraciones de urea son factores que pueden causar acumulación de nitritos (Court et al. 1962; Goyal y Huffaker 1984).

La fitotoxicidad de los nitritos ha sido demostrada en varias especies vegetales (Black 1968), pero ella está condicionada por diversos factores (Goyal y Huffaker 1984); por ejemplo, el ambiente ácido del suelo (Bingham et al. 1954) y las bajas concentraciones de oxígeno cerca de la raíz (Lee 1979) acentúan el efecto tóxico de una concentración dada de nitritos.

Por otra parte, estudios desarrollados por Cenipalma han propuesto posibles agentes causales y factores predisponentes de la pudrición de cogollo. Es así como se ha encontrado que existe una alta relación entre las características físicas de los suelos y los focos de la enfermedad (Acosta et al. 1996), y en una plantación los lotes de mayor incidencia de la enfermedad coincidieron con aquellos en los cuales la concentración de nitritos fue mayor (Cenipalma 1997). La mayor incidencia se ha

presentado en suelos compactados, con capas de arcilla superficiales y baja conductividad hidráulica saturada, que permanecen por períodos importantes del año bajo condiciones cercanas a saturación de agua, debido a la alta precipitación (2.800 a 3.000 mm anuales en los Llanos Orientales), el riego por inundación que se practica en la época seca e inadecuados sistemas de drenaje (Cenipalma 1995). Las características físicas antes mencionadas son comunes en los suelos de vega cultivados con palma de aceite en los Llanos Orientales, las cuales junto con algunas de sus características químicas sugieren la posibilidad de una acumulación de formas minerales reducidas y en especial nitritos. La acumulación sostenida de agua que se presenta en estos suelos, hace que de una condición aeróbica, en la cual los microorganismos utilizan el oxígeno libre del aire del suelo como aceptor final de electrones, se pase a un medio anaeróbico, en el cual utilizan el oxígeno combinado de algunas sustancias minerales oxidadas. El tipo de sustancia que se reduce depende del potencial redox presente, de tal manera que se reducen en secuencia los óxidos de manganeso, los nitratos, los óxidos de hierro, los sulfatos y, finalmente, el dióxido de carbono, este último cuando las condiciones de reducción se hacen extremas (Lynch 1979).

En el caso de suelos a pH 7, la reducción de nitrato a nitrito se presenta cuando el potencial de óxido-reducción es inferior a 400 mV. En la medida en que el valor de pH se hace menor, la reducción de nitrato a nitrito ocurre con valores de potencial redox aún mayores, es decir en medio menos anaeróbico (Greenland y Hayes 1981). Se ha sugerido que en suelos alcalinos, una concentración de 10 ppm de N en forma de nitritos sería fitotóxica (Black 1968), y como ya se mencionó, la toxicidad de los nitritos aumenta a medida que el pH baja. En las condiciones de los suelos de las plantaciones de palma de los Llanos Orientales con valores de pH entre 4,0 y 5,5, la reducción de nitratos a nitritos se iniciaría cuando el suelo aún no ha sido completamente reducido y la toxicidad de una concentración dada de nitritos se acentuaría por la alta acidez. Como una particularidad adicional, en las plantaciones de palma de aceite de Colombia la urea constituye una de las fuentes más comunes de fertilizante nitrogenado, llegándose a aplicar de 1 a 4 kg/palma/año,

y como ya se mencionó, las altas concentraciones de urea en el suelo son causa de acumulación de nitritos.

Bajo condiciones de reducción es posible que las reacciones de oxidación necesarias para transformar el nitrógeno amoniacal en nitrato se vean interrumpidas debido a la falta de oxígeno libre, presentándose así un incremento en la concentración de las formas intermedias de la reacción de oxidación (nitritos).

Varias de las prácticas de manejo comunes en los cultivos de palma de aceite inducen cambios en las características físicas del suelo que interactúan con su aireación y por tanto pueden afectar las transformaciones químicas relacionadas con los nitritos. Dado que dichas modificaciones físicas varían espacialmente dentro del cultivo (Blanco 1997), al igual que ocurre con las modificaciones químicas inducidas por la fertilización (Munévar 1998), es muy probable que haya una importante variabilidad espacial en las concentraciones de nitritos en estos suelos, la cual es indispensable conocer para poder adelantar estudios más detallados.

Las características del medio y el conocimiento teórico que se acaban de resumir justifican realizar estudios para conocer los tenores de las concentraciones de nitritos en los suelos cultivados con palma de aceite en los Llanos Orientales. Como un primer paso, se consideró importante determinar la variabilidad espacial y temporal de la concentración de nitritos en dichos suelos, lo cual constituyó el principal objetivo de este trabajo. Se tuvo como objetivo secundario evaluar el efecto de airear el suelo mediante labranza con cincel sobre las concentraciones de nitritos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo consistió en determinar, en el laboratorio, la concentración de nitritos en muestras de suelos tomadas dentro de lotes de cultivo comercial de palma de aceite. Para estudiar la variabilidad espacial se tomaron muestras a diferentes profundidades en el perfil y a diferentes distancias a partir del estípote de las palmas, mientras que para conocer la variabilidad temporal se tomaron muestras en época de lluvias y en época seca. El efecto del cincelado del suelo se midió mediante la

Varias de las prácticas de manejo comunes en los cultivos de palma de aceite inducen cambios en las características físicas del suelo.

comparación de las concentraciones de nitritos antes y después de realizar dicha práctica.

El estudio se adelantó en la plantación Palmas del Casanare, municipio de Villanueva (Casanare), localizada en el paisaje de altiplanicie adyacente al piedemonte llanero, donde los suelos son de origen aluvial (López et al. 1993). En los lotes seleccionados para el estudio, los suelos están clasificados como Tropaquepts, denominación que lleva implícita la característica de mal drenaje. En la región, la precipitación anual es de aproximadamente 3.000 mm y está distribuida en un régimen monomodal, en el cual una época lluviosa que se extiende de marzo a noviembre alterna con una época seca comprendida entre diciembre y febrero. En la Tabla 1 se identifican los cuatro lotes seleccionados para el trabajo y los suelos allí presentes.

Tabla 1. Características del horizonte superficial de los suelos estudiados.

Lote	Serie de suelo	pH	Textura
G-14	Lechuza	5,0	Arcilloso
G-15	Lechuza	4,9	Franco Arcilloso
G-27	Chucua	5,4	Franco Arcilloso
G-25	Chucua	5,4	Franco Arcilloso

Muestreo

En cada uno de los lotes se ubicó una unidad experimental conformada por una palma central y las cuatro palmas más próximas y equidistantes de la primera. Las líneas imaginarias que unen la palma central con cada una de las circundantes se denominaron trayectos, de tal forma que dos trayectos cruzaban la calle de cosecha y dos, la palera (calle de acumulación de hojas de poda). Sobre cada una de estas líneas de determinaron cuatro distancias a partir de la base de la palma (1,0; 2,5; 3,5 y 4,5 m) y en cada distancia tres profundidades (0-5; 15-20 y 30-35 cm)(Fig.1). En cada una de estas combinaciones de distancia y profundidad, se tomaron cuatro porciones (réplicas) de 100 g de suelo cada una. Las muestras se empacaron en bolsas de polietileno, las cuales se sellaron, se les extrajo el aire y se congelaron para evitar el cambio en la concentración de nitritos debido a la actividad microbiana del suelo y bajo estas condiciones se transportaron al laboratorio.

Para el análisis, los nitritos se extrajeron con KCl 1N, siguiendo el procedimiento propuesto por Keeney y Nelson (1982), y para la

determinación se utilizó un electrodo de ion selectivo para nitritos (marca Orion modelo 95-46), acoplado a un potenciómetro Corning 350.

Se seleccionaron cuatro épocas para el muestreo así: Época 1, al final de la temporada de lluvias (noviembre 27 de 1996); Época 2, en la temporada seca (febrero 1 de 1997); Época 3, dos días después de ejecutada la labor de cinkelado (abril 17 de 1997); Época 4, 30 días después del cinkelado. La Figura 2 muestra la relación entre la distribución de las lluvias y las épocas de muestreo.

Cinkelado

La labor de cinkelado se realizó el 15 de abril de 1997, utilizando un cinkel tipo tandem con doble aleta, una en el extremo inferior del implemento y la otra 25 cm por encima de la primera, sobre el eje vertical del cinkel. Las aletas tenían 20 cm de ancho y se colocaron con un ángulo de inserción de 70°. La labor se realizó pasando el cinkel cada metro y a una profundidad entre 50 y 60 cm, a lo largo de las calles de cosecha.

Diseño Experimental y Análisis Estadísticos

Según la metodología de muestreo descrita, el experimento incluyó la combinación factorial de cuatro épocas, cuatro suelos, dos trayectos, cuatro distancias, tres profundidades y cuatro réplicas, para un total de 1.536 muestras analizadas.

Dado que por la naturaleza de las variables bajo estudio los diferentes niveles de las mismas no pueden ser distribuidos al azar, el experimento se analizó mediante un diseño anidado según se señala más adelante (Tabla

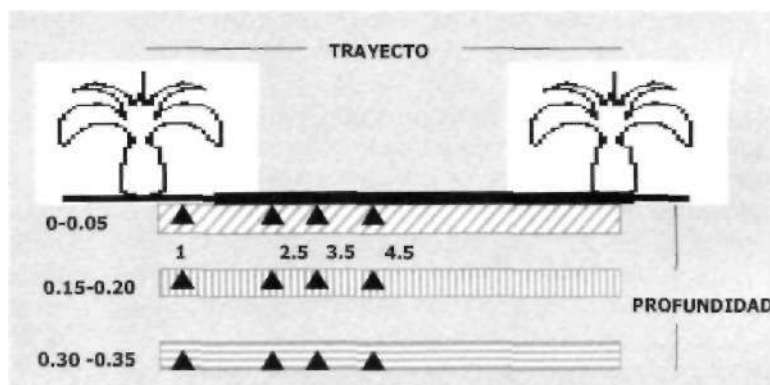


Figura 1. Distribución de los sitios de muestreo dentro de un trayecto de la unidad experimental (medidas en metros). Cada triángulo representa la ubicación de una muestra.

2). La significancia del efecto de las variables dependientes se determinó mediante análisis de varianza y las diferencias entre medias de tratamientos se evaluaron mediante la Prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la Época y Variabilidad Espacial

La comparación de la concentración de nitritos en las dos primeras épocas permitió evaluar el efecto de la lluvia y la humedad del suelo sobre dicho parámetro, simultáneamente con la evaluación del efecto espacial. La precipitación tres meses antes del muestreo de la época lluviosa fue de 460 mm, mientras que en los tres meses anteriores a la época seca, la precipitación fue de 78 mm. Lo anterior determinó que en la primera época la humedad del suelo fuera del 22,6%, mientras que en la época seca fue de 15,2% (diferencia altamente significativa, como se muestra en la Tabla 2).

La Tabla 2 permite observar que la concentración de nitritos se afectó significativamente por la época y el factor trayecto. Tal como se puede observar en la Tabla 3, la concentración de nitritos en los suelos al final de la época lluviosa fue significativamente mayor que en la época seca. Igualmente se pueden observar diferencias altamente significativas entre las concentraciones de nitritos según la ubicación del trayecto, presentándose en la época de lluvias una concentración de nitritos mayor en la calle de cosecha que en la calle de palera.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza para las épocas 1 y 2

Variables Independientes	Nivel de Significancia Prueba de F	
	Nitritos	Humedad del suelo
Época	0,0252*	0,0019**
Suelo (época)	0,6586	0,0419*
Trayecto (suelo época)	0,0001**	0,4003
Distancia (trayecto suelo época)	0,9997	0,1947
Profundidad (distancia trayecto suelo época)	0,0866	0,2996

* Significante al 5%

** Significante al 1%

Tabla 3. Concentración media de nitritos por trayectos para las épocas 1 y 2.

Época	Concentración de nitritos (ppm)		
	Cosecha	Palera	Promedio
Lluviosa	13,33	8,13	10,73
Seca	6,17	6,78	6,48

Dado que los suelos bajo estudio son pobremente drenados, la mayor humedad del suelo en las épocas de lluvia posiblemente propició un ambiente de reducción, lo cual podría explicar la mayor concentración media de nitritos en la época de lluvias con respecto a la época seca, en la cual ha habido tiempo para que el suelo sea nuevamente aireado.

Las diferencias altamente significativas para la concentración de nitritos entre trayectos pueden deberse a una mayor compactación en los trayectos de cosecha que en los de palera (Blanco 1997).

Efecto del Cincelado

Los análisis de varianza para la concentración de nitritos en el conjunto de las cuatro épocas de muestreo (Tabla 4) permitieron identificar efectos estadísticamente significativos de épocas, calles y profundidades, pero no se presentó efecto significativo del factor suelo. Tal como se observa en la Tabla 5, se encontró que las concentraciones de nitritos en las Épocas 1 y 2 fueron diferentes entre sí y las dos fueron mayores que las de las Épocas 3 y 4. La menor concentración de nitritos en la Época 3 pudo estar asociada con la menor precipitación que antecedió al muestreo, y el valor relativamente bajo de la Época 4 podría explicarse como un efecto del aumento en la concentración de oxígeno del suelo, gracias a la labor de cincelado. Es de resaltar que la Época 4 estuvo precedida de una abundante precipitación (Fig. 2), pero posiblemente por el efecto

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para la concentración de nitritos en las cuatro épocas bajo estudio.

Variables Independientes	Nivel de Significancia Prueba de F
Época	0,0001**
Suelo (época)	0,5003
Trayecto (suelo época)	0,0001**
Distancia (trayecto suelo época)	1,000
Profundidad (distancia trayecto suelo época)	0,0305*

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

Tabla 5. Concentración media de nitritos en las cuatro épocas de muestreo

Época	Concentración de nitritos (ppm)
1	10,65 a*
2	6,48 b
3	2,29 c
4	3,06 c

* Medias seguidas por una misma letra no son estadísticamente diferentes según la Prueba de Tukey ($\alpha=0,05$)

del cincelado el suelo mantuvo una adecuada aireación y no se acumularon los nitritos.

Al analizar el conjunto de las cuatro épocas también se encontraron diferencias significativas en la concentración de nitritos entre las calles de cosecha y de palera (Fig. 3). Estos resultados se pueden explicar al tener en cuenta el estudio realizado por Blanco (1998), en el cual se encontraron diferencias entre las propiedades físicas de los dos trayectos. En la calle de cosecha, la compactación es mayor y la conductividad hidráulica es más lenta que en la palera, lo cual contribuiría a un menor estado de reducción del trayecto 2 (palera).

Adicionalmente se observa que la labor del cincelado no sólo redujo las concentraciones de nitritos en los suelos, sino que eliminó las diferencias que se presentaban entre calles de cosecha y palera antes del cincelado.

La Figura 4 presenta las concentraciones de nitritos a distintas profundidades y en distintas épocas. En primer lugar se puede observar que la mayor concentración de nitritos se presentó en la profundidad de 0,15 a 0,20 m, en las Épocas 1 y 2, lo cual puede deberse a una mayor compactación de esta capa ocasionada por la continua labranza en cultivos de arroz previos a la siembra de palma de aceite, diferencia ésta que prácticamente desaparece después de la labranza con cincel. Igualmente se observa una reducción significativa en las concentraciones de nitritos después del cincelado en las tres profundidades estudiadas.

En la época de lluvias, la concentración de nitritos en el suelo superó el valor 10 ppm que Black (1968) considera como límite crítico por encima del cual este ion puede causar fitotoxicidad, pero en la época seca y en los muestreos posteriores al cincelado las concentraciones fueron inferiores a este valor.

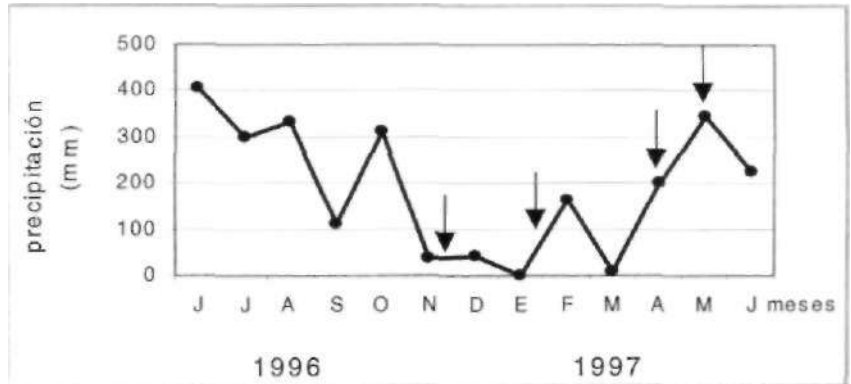


Figura 2. Distribución de la precipitación mensual durante el estudio y fechas de muestreo. Las flechas identifican las cuatro fechas de muestreo ordenadas cronológicamente.

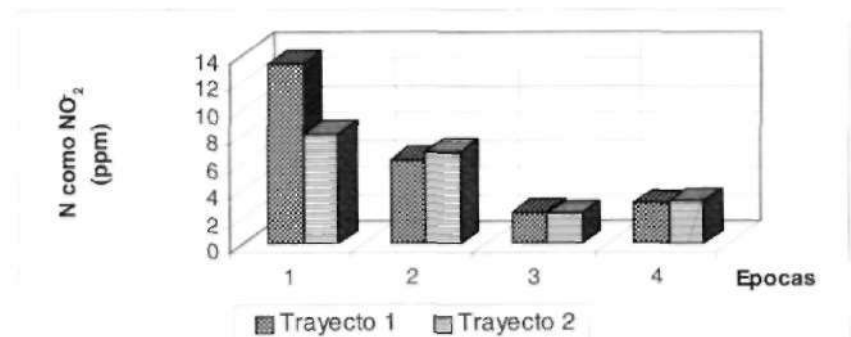


Figura 3. Concentración media de nitritos en las diferentes épocas y los trayectos de cosecha (1) y palera (2).

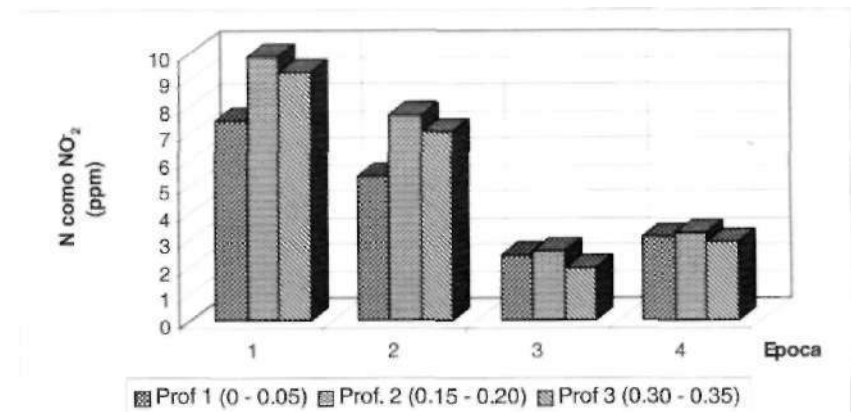


Figura 4. Concentración media de nitritos a diferentes profundidades (m) en las cuatro épocas.

CONCLUSIONES

- En los suelos estudiados se encontraron concentraciones inusualmente altas de nitritos, las cuales superaron el valor de 10 ppm de N en esta

forma química, nivel considerado en la literatura como aquel a partir del cual se puede esperar fitotoxicidad. Dichos niveles altos se observaron al finalizar la época de mayor precipitación en el año y desaparecieron al llegar la época seca. Las condiciones físicas de los suelos estudiados en interacción con el régimen de precipitación, permitieron que se presentara una acumulación temporal de nitritos en el suelo con una distribución espacial asociada con la ubicación de las líneas de cosecha en el cultivo, de tal manera que los lugares de mayor compactación coincidieron con aquellos donde se registró la mayor concentración de los nitritos.

- La labor de cincelado profundo permitió modificar la concentración de nitritos en el tiempo y el espacio.

posiblemente porque con ella se aumenta la concentración de oxígeno en el suelo, removiéndose así uno de los principales factores que determinan la acumulación de esta especie química. Después de la ejecución de la labor, la concentración de nitritos disminuyó y las diferencias encontradas en la concentración de nitritos entre calles de cosecha y calles de palera desaparecieron. De otra parte, las diferencias encontradas en la concentración de nitritos a diferentes profundidades se redujeron significativamente después del cincelado.

- La variabilidad espacial y temporal que se encontró debe tenerse en cuenta en los muestreos de suelos que se lleven a cabo para estudios futuros sobre nitritos,

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTAG., A.; GÓMEZC. P. L.; VARGAS, J.R. 1996. Factores físicos de los suelos y su influencia en la predisposición a la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) v. 17 no.2, p.71-79.

ALEXANDER.M.1977. Introduction to Soil Microbiology. 2nd ed. Wiley, New York. 467p.

BLACK, C. A. 1968. Soil-plant Relationships. 2nd ed. Wiley. New York. 792p.

BLANCO C., D. F. 1997. La conductividad hidráulica y su relación con la pudrición de cogollo en palma de aceite. Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Santafé de Bogotá. 105p. (Tesis de Ing. Agrónomo).

BINGHAM, F.T.; CHAPMAN, H. D.; OUGH, A. L. 1954. Solution-culture studies of nitrite toxicity to plants. Soil Science Society of America. Proceedings (Estados Unidos) v. 18, p.305-308.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN PALMA DE ACEITE. SANTAFÉ DE BOGOTÁ (COLOMBIA). 1995. Factores físicos del suelo y su relación con el desarrollo de focos de pudrición de cogollo. Ceniavances No. 15. Cenipalma, Santafé de Bogotá.

_____. 1997. La acumulación de nitritos en el suelo puede tener relación con la pudrición de cogollo. Ceniavances No. 34. Cenipalma, Santafé de Bogotá.

COURT, M.N.; STEPHEN, R.C.; WARD., J.S. 1962. Nitrogen toxicity arising from the use of urea as fertilizer. Nature (Reino Unido) v. 194, p. 1263-1265.

DE ROJAS PEÑA, E.; RUIZ, E. 1975. Factores edáficos predisponentes de la pudrición de cogollo de la palma africana (*Elaeis guineensis*) en Turbo, Colombia. Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Santafé de Bogotá. 23p.

GOYAL, S. S.; HUFFAKER, R. C. 1984. Nitrogen toxicity in plants. In: R.D. Hauck (Ed.). Nitrogen in Crop Production. American Society of Agronomy, Madison, WI. p.97-118.

GREENLAND, D.J.; HAYES, M.H.B. 1981. The chemistry of soil processes. Wiley, London.

KEENEY, D.R.; NELSON, D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. In: A.L. Page (Ed.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, WI. p.643-698

LEE, R. B. 1979. The effect of nitrite on root growth of barley and maize. New Phytologist (Reino Unido) v.83, p.615-622.

LOPEZH, A.; JIMENEZ B., LA., GUEVARAC., J.; et al. 1993. Suelos del Departamento de Casanare. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Santafé de Bogotá. 424p.

LYNCH, J. M. 1979. The terrestrial environment. In: J.M. LYNCH; N.J. POOLE (Eds.). Microbial Ecology, a conceptual approach. Blackwell Scientific, London. p.67-91.

MUNÉVARM., F. 1998. Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia) v. 19 no. especial, p.218-228.

NIETO, L.E.; GÓMEZ, P.L. 1991. Estado actual de la investigación sobre el complejo pudrición de cogollo de la palma de aceite en Colombia. Palmas (Colombia). v.12 no.2, p.57-67.