

Dinámica poblacional de *Azotobacter* spp., en relación al contenido de materia orgánica en una plantación de *E. grandis* Hill - Purumayo, Oxapampa – Pasco

Population dynamics of *Azotobacter* spp., in relation to the content of organic matter of a plantation of *E. grandis* Hill - Purumayo, Oxapampa – Pasco

Mauro Rodríguez Cerrón¹ & Fredy F. Rivas Yupanqui².

¹ Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Email: mrcpe@yahoo.com

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Email: frivasyupanqui@yahoo.es

RESUMEN

El estudio se desarrolló en una plantación forestal de *Eucalyptus grandis* Hill de 200 hectáreas, localizado en Purumayo – Oxapampa; la fase para determinar la dinámica poblacional de *Azotobacter* spp., a través del método del “Número más probable” (NMP) se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria El Mantaro. La contribución de la fijación biológica del nitrógeno en plantaciones de eucalipto es muy variada; al inocular *Azotobacter chroococcum* en plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis*, incrementó su biomasa en 44% debido a la alta tasa de fijación de N₂ por organismo diazotróficos; el *Azotobacter* spp. es una bacteria diazotrófica que expresa su actividad a nivel de la rizósfera de plantas cultivadas y forestales. La investigación ha permitido determinar y explicar a través de un modelo matemático general, la influencia de la materia orgánica de la zona rizosférica de los suelos, con la densidad poblacional de *Azotobacter* spp. Algunas pruebas fenológicas explican la ocurrencia del *Azotobacter* spp., en la rizósfera de plantas de *Eucalyptus grandis* Hill. Los contenidos de materia orgánica y humedad influyeron significativamente en la densidad poblacional. La densidad poblacional de *Azotobacter* spp., varía desde 1.29 x 10⁴ hasta 362.0 x 10⁴ cel/g de suelo, en sentido creciente a medida que aumenta los pisos altitudinales. El contenido de humedad se incrementa a medida que aumenta los pisos altitudinales y variaron desde 39,49% hasta 60,88%. El contenido de materia orgánica del suelo rizosférico del rodal de *Eucalyptus grandis* Hill varió de contenidos altos a muy altos (3.08 a 6.43%) y se incrementaron con el ascenso de los pisos altitudinales. La densidad poblacional de *Azotobacter* spp., siguió una misma tendencia con el contenido de materia orgánica, contenido de humedad y el pH, siendo que los modelos de regresión bivariados estadísticamente significativos registraron tendencias al aumento conforme se incrementaban los pisos altitudinales.

ABSTRACT

The study was carried out on a 200 - hectare *Eucalyptus grandis* Hill forest plantation located in Purumayo - Oxapampa; The phase to determine the population dynamics of *Azotobacter* spp., Through the “Most probable number” method (MPN) was carried out in the Laboratory of Soil Microbiology of the Faculty of Agronomy of the National University of the Center of Peru, Located in the Agricultural Experiment Station El Mantaro. The contribution of biological nitrogen fixation to eucalyptus plantations is very varied; When inoculating *Azotobacter chroococcum* in plantations of *Eucalyptus camaldulensis*, increased its biomass by 44%, due to the high rate of N₂ fixation by diazotrophic organisms; The *Azotobacter* spp. Is a diazotrophic bacterium that expresses its activity in the rhizosphere of cultivated and forest plants. The research has allowed determining and explaining, through a general mathematical model, the influence of the organic matter of the rhizospheric zone of the soils, with the population density of *Azotobacter* spp. Some phenological tests explain the occurrence of *Azotobacter* spp., In the rhizosphere of *Eucalyptus grandis* Hill plants. The contents of organic matter and humidity influenced significantly the population density. The population density of *Azotobacter* spp. Ranges from 1.29 x 10⁴ to 362.0 x 10⁴ cells / g of soil, increasing as the altitudinal floors increase. The moisture content increases as the altitudinal floors increase and ranged from 39.49% to 60.88%. The organic matter content of the rhizospheric soil of the stand of *Eucalyptus grandis* Hill ranged from high to very high (3.08 to 6.43%) and increased with the ascent of the altitudinal floors. The population density of *Azotobacter* spp., followed the same trend with organic matter content, moisture content and pH, with statistically significant bivariate regression models registering trends in the increase as the altitudinal levels increased.

Palabras clave | Key words:

azotobacter, population density, organic matter, rhizosphere
azotobacter, densidad poblacional, materia orgánica, rizósfera.

Introducción

En el Perú las plantaciones forestales con especies exóticas introducidas, se establecen en áreas marginales con suelos de muy baja fertilidad, inmersos en un sistema nutricional suelo-planta-atmósfera; los suelos empleados para éstos cultivos forestales tienden a ser rocosos, ligeramente ácidos, deficientes en nitrógeno y en materia orgánica, con bajo contenido de fósforo asimilable, pero con elevado contenido de potasio y precipitaciones de 500 a 1500 mm (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1981).

El crecimiento de la planta en suelos agrícolas y forestales está influenciado por muchos factores abióticos y bióticos. Hay una delgada capa de suelo que rodea las raíces de las plantas, muy importante para la actividad y el metabolismo en la rizósfera. El concepto original en la actualidad ha sido ampliado para incluir el suelo alrededor de la raíz en el cual las propiedades físicas, químicas y biológicas han sido cambiadas por el crecimiento y actividad radicular (Mc Cully, 2005). Un gran número de microorganismos tales como bacterias diazotróficas, hongos, protozoos y algas coexisten en la rizósfera; de estos, las bacterias son las más abundantes.

Las plantas propician una sinergia con bacterias que contribuyen al incremento poblacional así como a su actividad con la liberación de compuestos orgánicos a través de los exudados radiculares (Lynch, 1990), creando un verdadero medioambiente muy selectivo, donde la diversidad es baja (García, Probanza, Ramos y Mañero, 2001; Marilley, & Aragno, 1999). Como quiera que las bacterias son los microorganismos más abundantes en la rizósfera, es altamente probable que ellos presenten influencia en la fisiología de la planta en mayor dimensión, especialmente considerando su alta competitividad en la colonización radicular (Barriuso, & Solano, 2008).

En la gestión productiva de la especie de eucalipto en suelos infértiles, se puede mejorar con aplicaciones de fertilizantes (N y P), sin embargo altas tasas de aplicación de fertilizantes nitrogenadas (300 kg ha⁻¹), podrían causar impacto medioambiental (Cromer, 2002). En general el crecimiento de las plantas depende de varios mecanismos y efector de las rizo bacterias que promueven el crecimiento de las plantas (término en inglés PGPR), están relacionado al incremento en el crecimiento de la raíz, tallo y rama; la PGPR pueden suprimir microorganismos deletéreos o patógenos (Da Luz, 1996).

Las bacterias aerobias diazotróficas usan N₂ como única fuente de N para su crecimiento, estas bacterias pertenecen a los géneros *Azotobacter* y *Azomoras* juntamente con los géneros *Beijerinckia* y *Derxia* forma las únicas bacterias fijadoras de N₂ aerobias (Döbereiner et al., 1995). Entre las especies de *Azotobacter* conocidas están las *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, y *Azotobacter paspali*, esta última especie presenta una asociación bastante específica con una gramínea *Paspalum notatum* cv. batatais (Dobereiner, 1975).

En un enfoque de producción forestal sustentable, es necesario que la relación causa-efecto de las propiedades físicas y químicas de los suelos con la actividad metabólica y dinámica poblacional del *Azotobacter* spp., sean cuantificadas, el cual permita una manipulación cuantitativa para una producción sustentable en los rodales de *E. grandis* Hill en la localidad de Purumayo, Oxapampa-Perú.

Recientemente el estudio de las relaciones entre las propiedades de los suelos y la dinámica poblacional de *Azotobacter* spp., sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el valle del Mantaro - Junín (Manturano, 2013), ha servido de base para estructurar nuevos horizontes en la investigación científica relacionado a la microbiología de suelos forestales en regiones de los valles interandinos; sin embargo cuando se pretende inferir estas relaciones microorganismo-suelo-hospedero aún es incierto para las condiciones de climas del trópico húmedo, como es la región de Oxapampa.

Método

Área de estudio

El estudio se realizó en la plantación forestal de *Eucalyptus grandis* Hill, propiedad de la Empresa Negociaciones Maderera TRAVI – Satipo SRL, con una extensión de 200 hectáreas, con una edad de 10 años (2006 – 2016), ubicado a una altitud entre 2100 a 2680 msnm, en la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT), Fundo Vaquería “La Cabaña”, en la localidad de Purumayo, distrito de Huancabamba de la provincia de Oxapampa. La fase de laboratorio correspondiente al análisis de la dinámica poblacional de *Azotobacter* spp., a través de la metodología del “Número más probable” (NMP), se realizó en el Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria El Mantaro.

Muestreo y análisis bacteriológico de la rizósfera del suelo

La muestra fueron seleccionados de manera intencional en cuatro pisos altitudinales (msnm), P1 (2100-2260), P2 (2260-2400), P3 (2400-2540) y P4 (2540-2680) y dentro de cada piso se establecieron de una manera también intencionada 10 puntos de muestreo distribuidos en zig zag, haciendo un total de 40 muestras; la muestra constituyó una porción de suelo extraídas de la zona rizósferica, al pie de árbol de *E. grandis*.

Cada punto de muestreo ha correspondido a una planta de *E. grandis*, en cuya base se realizó la apertura de un calicata de 0,5 m de ancho por 0,60 de largo y 0,40 cm de profundidad, de cuya parte (Rizosfera) se retiró una porción de suelo equivalente a una porción representativa de 2 kg de suelo, del cual se destinó un (01) kilogramo para los análisis físico y químico del suelo y un (01) kilogramo para el análisis bacteriológico.

El suelo rizosférico destinado para el análisis bacteriológico (01 kg) se colocó en una bolsa de polietileno de color negro con sus respectivas etiquetas, el cual fue empacado y colocados en una caja collier a una temperatura y humedad constante, los mismos que fueron remitidos al Laboratorio de Microbiología de Suelos de la Facultad de Agronomía de la UNCP.

La ocurrencia de bacterias de *Azotobacter* spp., se tomaron algunas raicillas de la planta de eucalipto que quedaron en la muestra de suelos y se procedió a inocular en placas Petri conteniendo medio de cultivo sólido altamente selectivo LG propuesto por Döbereiner et al, (1995), cuyas características de desarrollo de la colonia tipifican la existencia de la bacteria de *Azotobacter* spp.; el sustrato carbonáceo estuvo compuesto de manitol y glucosa, cuyas sustancias las bacterias utilizan de modo preferente para su metabolismo, además el medio de cultivo no ha contenido nitrógeno combinado. Finalmente el cultivo in vitro presentó una característica típica de crecimiento en medio el cultivo sólido, fue determinado utilizando benzoato de sodio, lo cual evidencia la existencia de *Azotobacter* spp.

Para el análisis de la densidad poblacional de esta bacteria, se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP) (propuesto por De Man, 1983), para ello se hizo uso de un medio de cultivo líquido altamente selectivo exento de nitrógeno combinado LG sin agar (Döbereiner et al., 1995). Las diluciones sucesivas fueron desde 10⁻¹ hasta 10⁻¹⁰, las evaluaciones de la actividad metabólica de la bacteria *Azotobacter* spp se realizó diariamente durante 15 días, sobre la base de la presencia o ausencia del organismo diazotrófico. En razón que en la investigación se procuró determinar y conocer las causas de las propiedades del suelo que generan ciertas densidades poblacionales de bacterias del género *Azotobacter* spp.; entonces lo que se pretende es explicar los hechos y fenómenos en cuanto a sus causas y consecuencias.

Habiendo definido la variable independientes (materia orgánica) y la variable dependiente (densidad poblacional de *Azotobacter* spp.), se seleccionó el modelo matemático de regresión que significativamente influye en la relación de causalidad entre dos variables; luego se seleccionó el modelo de regresión matemático de dos variables independientes que significativamente influyen en la relación de causalidad con la variable dependiente.

El criterio de selección de un modelo de regresión matemático se fundamenta en: la significación estadística del análisis de variancia del modelo de regresión, el valor del coeficiente de determinación y la significación estadística de los análisis de componentes del modelo de regresión, Figura 1.

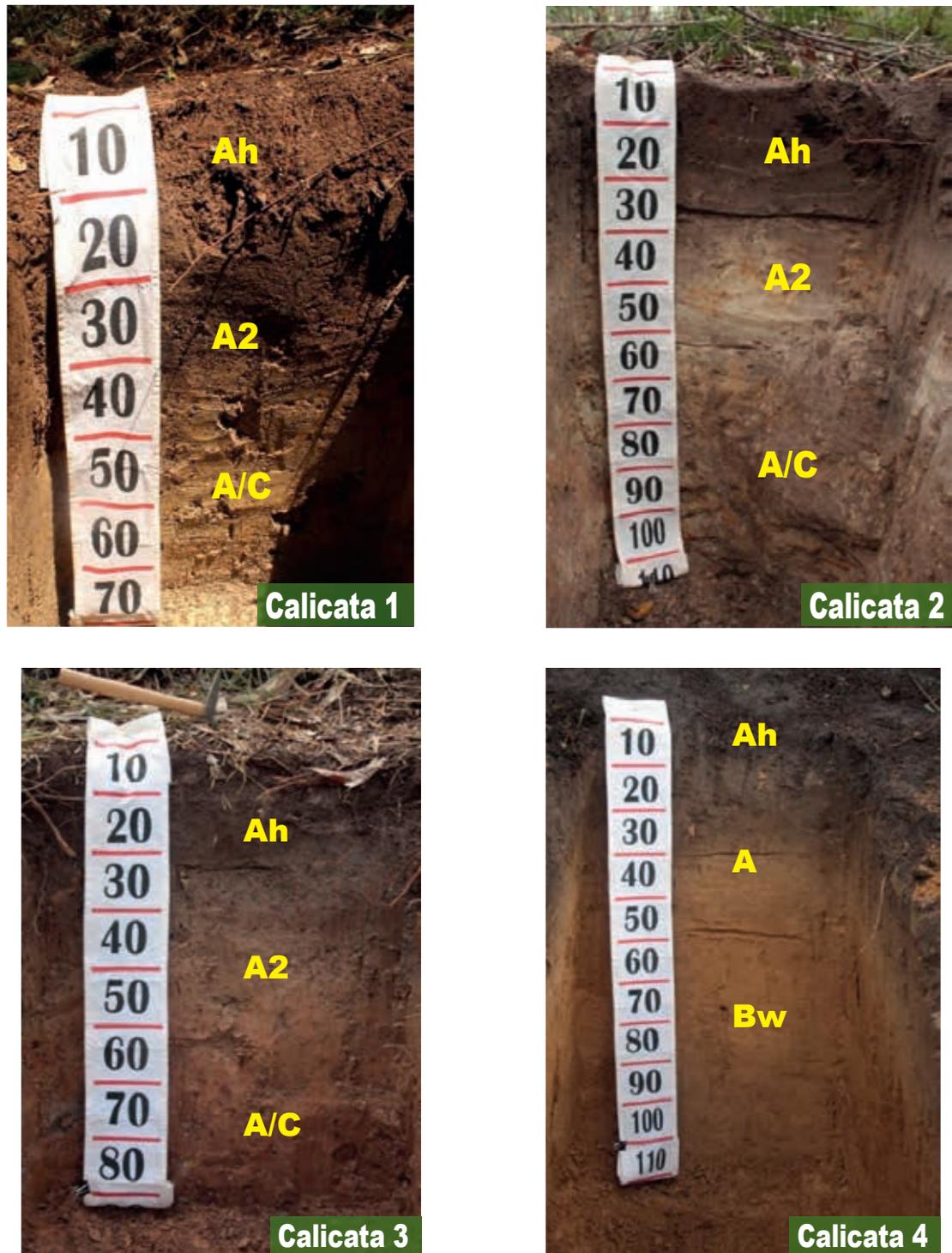


Figura 1. Imágenes fotográficas de la distribución de los horizontes en los cuatro perfiles modales de la zona en estudio, para los pisos altitudinales P1, P2, P3 y P4 respectivamente.

Resultados

Contenido de materia orgánica

La materia orgánica (MO) es un componente del suelo que en términos volumétricos pueden ocupar en promedio el 5% del total del suelo; está constituido por todo material orgánico viviente y no viviente, sean estas provenientes de animales, plantas y/o microorganismos del suelo.

Los valores obtenidos de materia orgánica, fueron calculados a partir del contenido de carbono orgánico, la misma que ha sido analizado por la metodología de (Walkley y Black, 1934), naturalmente el factor de corrección viene de asumir que 58% de la materia orgánica es carbono orgánico. Los valores de MO de los suelos en estudio oscilaron en promedio entre 3.08% hasta 6,43%; en la figura 24 se observa que el contenido de MO se incrementa conforme aumenta los pisos altitudinales de la colina en estudio, este hecho es distinto a los encontrados por otros investigadores (Brady y Weil, 2001).

En la figura 02, se observa que los suelos de los pisos 1, 2, 3 y 4 registraron los siguientes valores de MO 3.08%, 3.66%, 4.89% y 6.43% respectivamente; siendo que los suelos de los pisos altitudinales P1, P2 y P3 presentan altos niveles de MO (buena condición estructural y un alta estabilidad estructural), mientras que los suelos del piso 4 presentan niveles muy altos de esta fracción orgánica (buena condición estructural y alta estabilidad estructural) (Hazelton y Murphy, 2007).

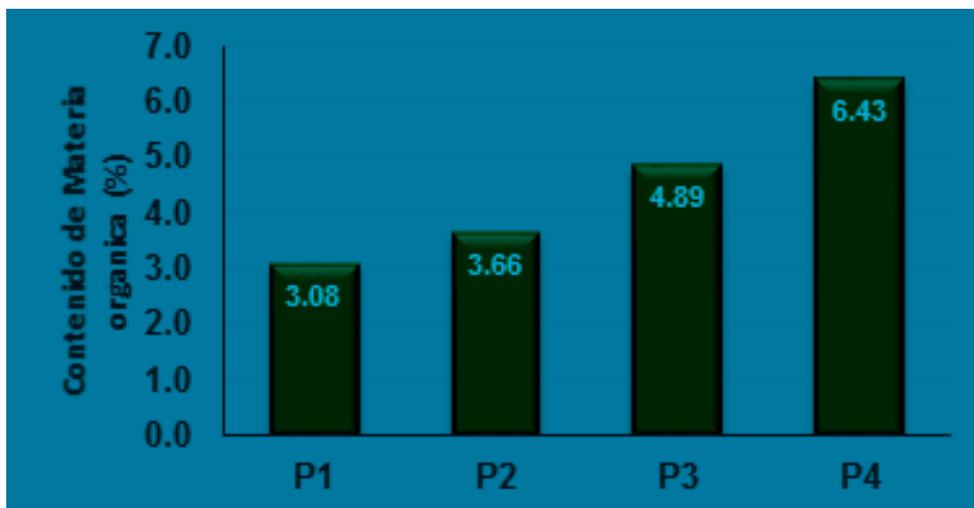


Figura 2 Valores promedio del contenido de materia orgánica de los suelos a una profundidad de 0-40 cm, en cuatro pisos altitudinales (P1, P2, P3 y P4) de la zona rizosférica de plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill en suelos de Purumayo, Oxapampa.

Influencia de materia orgánica en la población de *Azotobacter* spp.

El contenido de materia orgánica de la zona rizosférica de plantas de *Eucalyptus grandis* Hill en estudio, oscilaron entre 1.5 y 8.8% a una profundidad de 0-40 cm, los valores se incrementaron a medida que aumentaba los pisos altitudinales, de modo que los suelos del piso 4 (entorno de 2600 msnm) registraron los mayores valores de materia orgánica. En el Figura 03, se observa que el modelo de regresión que relaciona las variables densidad poblacional de *Azotobacter* spp., y el contenido de materia orgánica es de naturaleza raíz cuadrática positiva y que el 80.78% de las variaciones de la población bacteriana se deben a las variaciones del contenido de MO del suelo. De otro lado, los componentes del modelo de regresión (raíz cuadrática y lineal) registraron un nivel de significación bastante alto un 99% de confiabilidad, indicándonos un buen ajuste del modelo matemático con cada una de las observaciones.

Los suelos en estudio que registraron un contenido de MO mayores a 3.5% registraron incrementos geométricos de la densidad poblacional de estas bacterias PGPR, llegando hasta 600×10^4 cel/g de suelo para suelos con valores cercanos a 8.8% de materia orgánica.

Los suelos con mayores contenidos de MO, que corresponden a suelos de los pisos altitudinales 3 y 4, particularmente los suelos mayores a 2400 msnm habrían presentado una tasa de incorporación de MO mayor que la tasa de descomposición de la misma, esto explica una acumulación de MO en el suelo (Brady y Weil, 2002), esto

sería debido a la densa vegetación que caracteriza este cuarto piso altitudinal, a pesar que la temperatura media 16.70 °C es alta que conduce a una elevada tasa de descomposición.

Las bacterias PGPR de *Azotobacter* spp., son organismos heterótrofos, sus actividades fisiológicas y metabólicas gravitan fundamentalmente de compuestos orgánicos reducidos, es decir utilizan a la MO como fuente de energía y carbono, precisamente por ello, estas bacterias son altamente dependientes de la materia orgánica del suelo (Paul, 2007).

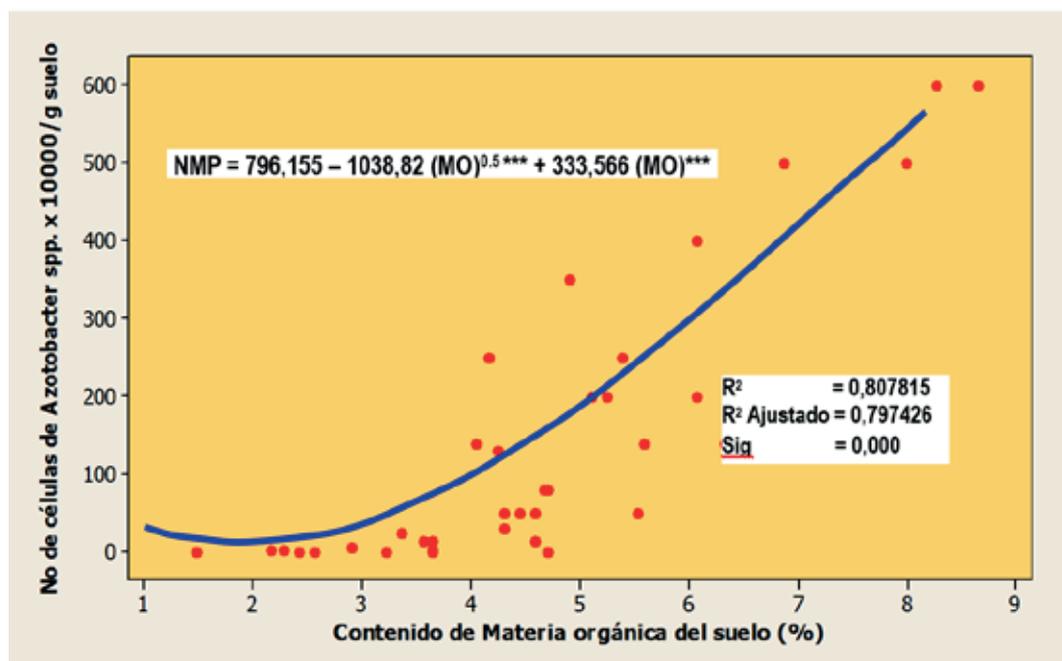


Figura 3 Número de células de *Azotobacter* spp., x 104 (\hat{Y}) a una profundidad de 0 – 40 cm en la zona rizosférica de plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill en suelos de Purumayo - Oxapampa en cuatro pisos altitudinales en función del contenido de materia orgánica (MO). Nivel estadístico de confianza: *** 99%.

Modelo matemático que relaciona la densidad poblacional de *Azotobacter* spp en función de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

En la Figura 4, se observa las relaciones de dependencia entre las variables independientes (CIC y contenido de MO) con la variable dependiente (densidad poblacional de bacterias del género de *Azotobacter*) y que un valor alto del coeficiente de determinación nos indica que el 82.4% de las variaciones de la densidad poblacional de estas bacterias PGPR dependen de las variaciones de la CIC y la MO del suelo.

De otro lado, al análisis de componentes del modelo de regresión, se puede deducir que el componente lineal de la MO tiene un nivel de confianza de 80%, para el componente cuadrático el nivel de confianza es el 99% y para los componentes lineal y cuadrático de la variable CIC el nivel de confianza es 90%.

Las más bajas densidades poblacionales de *Azotobacter* spp., cercanas a 0 cel/g de suelo fueron registradas cuando el contenido de MO es menor de 4.50% y coordenadas correspondientes con valores menores de 6,0 Cmol/kg de suelo y que de acuerdo al modelo de regresión, esta área resulta valores negativos. Las densidades poblacionales de estas bacterias (100x104 cel/g de suelo) resultan cuando los contenidos de MO son menores de 5.24% para cualquier valor de la CIC.

Los valores más altos de la densidad poblacional de *Azotobacter* spp., en la rizósfera de plantas de *Eucalyptus grandis* Hill, cercanas a 600x104 cel/g de suelo resultan cuando el contenido de MO es más de 7.98% y los valores de la CIC entre 2.8 y 7.2 Cmol/kg de suelo, con ello se confirma que la variable MO es la más influyente en la población bacteriana, mucho más que la variable CIC.

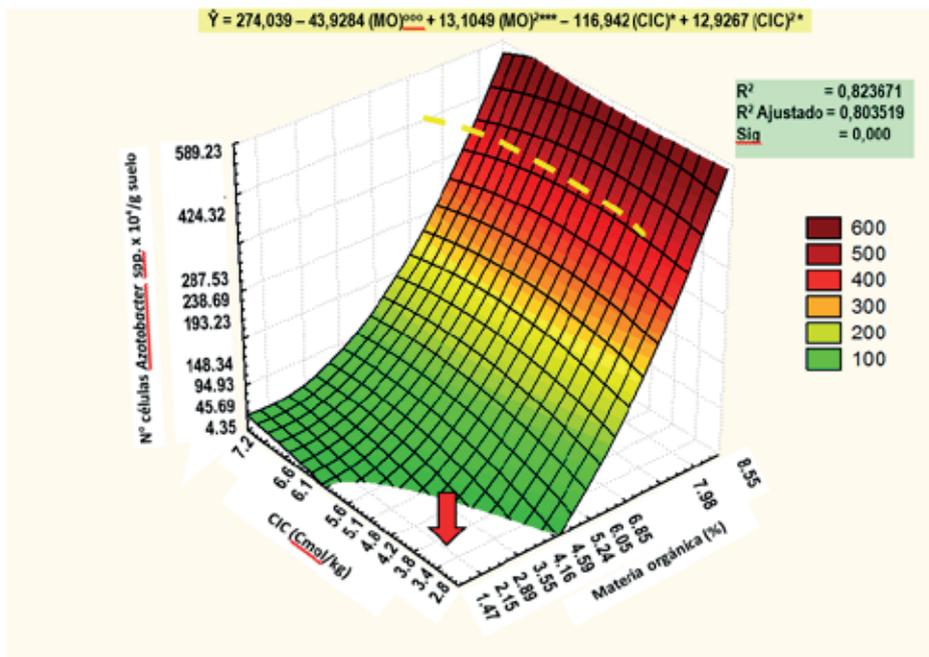


Figura 04. Número de células de *Azotobacter* spp., x 10⁴ (\hat{Y}) a una profundidad de 0 – 40 cm en la zona rizosférica de plantaciones de *Eucalyptus grandis* Hill en suelos de Purumayo - Oxapampa en cuatro pisos altitudinales en función de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el contenido de materia orgánica (MO). Nivel estadístico de confianza: 000 80%, * 90% y *** 99%.

Discusión

Ocurrencia de bacterias PGPR de *Azotobacter* spp., en la rizósfera de *Eucalyptus grandis* Hill

El aislamiento de la bacteria de *Azotobacter* spp., de la zona rizosférica de la especie forestal en estudio, ha permitido confirmar la presencia de ésta bacteria basado en la caracterización fenotípica (Santos, 2009) debido a que las bacterias diazotróficas son de carácter asociativo en la rizósfera de *E. grandis* (Döbereiner y Day, 1975; Becking, 2006); además son organismos de respiración aeróbico, que reciben energía a partir de reacciones redox (Zapater, 1975; Döbereiner, & Day, 1975; Jiménez, Montaña y Martínez, 2011); por otro lado son organismos que tienen la capacidad de sobrevivir en medio de cultivo exento de nitrógeno combinado, fijando N₂, como el medio de cultivo altamente selectivo LG (Döbereiner et al., 1975).

Influencia de la materia orgánica en la densidad poblacional de *Azotobacter* spp., en los rodales de *E. grandis* Hill de cuatro pisos altitudinales en Purumayo

Las bacterias de *Azotobacter* spp., encontrados en estos suelos rizosféricos de plantas de *Eucalyptus grandis* Hill son altamente dependientes del contenido de humedad y materia orgánica de los suelos (Figura 3 y 4). se tiene reportado que estas bacterias tienen la capacidad moverse hacia las zonas de mayor humedad, es decir procuran zonas donde encontraría mejores condiciones de regulación de la presión del O₂ para proteger su aparato reductor de N₂ (enzima nitrogenasa) (Jiménez, 2011), si bien no es un organismo microaerófilico como lo es *Azospirillum* spp., *Azotobacter* al intensificar su tasa respiratoria (que supone mayor consumo de O₂), (Becking, 2006) en zonas de mayor contenido de humedad en el suelo existirá una menor presión de O₂ que daría condiciones favorables para optimizar su tasa de fijación de N₂ y otras actividades metabólicas como la de producir ácido indolacético (AIA) que promuevan el crecimiento radicular de plantas de eucalipto. Las cargas electrostáticas de las sustancias húmicas provenientes de la materia orgánica de suelos ubicados a una mayor altitud de la colina en estudio, habrían cobrado un protagonismo en la explicación de la población bacteriana.

El otro aspecto es que al ser organismos heterótrofos, que dependen de la materia orgánica para atender sus necesidades metabólicas, fundamentalmente de respiración, actividad que está estrechamente acoplada a los procesos reductivos de la fijación de N₂, este evento ha sido reportado por varios autores (Becking, 2006), además la materia orgánica del suelo tiene la capacidad de modificar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo

(Fassbender, 1986), está también se constituiría en eventos claves que expliquen porque los suelos rizosféricos de los pisos altitudinales con mayor materia orgánica registraron mayor densidad poblacional de *Azotobacter* spp. También se tiene reportado que la materia orgánica a través de las sustancias húmicas que incluyen en su análisis tendrían influencia a través de la síntesis de sustancias reguladoras de crecimiento (Jiménez, 2011) que interaccionarían con las bacterias diazotróficas del suelo.

Modelo matemático que relaciona la densidad poblacional de *Azotobacter* spp., en función de la materia orgánica en los rodales de *Eucalyptus grandis* en cuatro pisos altitudinales en Purumayo

De las propiedades físicas y químicas del suelo rizosférico en estudio, algunas no influenciaron significativamente y otros si cobraron protagonismo en la población microbiológica del *Azotobacter* spp. La expectativa se torna interesante cuando dos variables independientes interactúan para dar valores estimados de la variable dependiente (densidad poblacional de *Azotobacter* spp.), aun cuando las contribuciones de cada uno de ellos no se ajustan del análisis bivariado, de manera que se pretende analizar las superficies de respuestas, con la intención de conseguir las máximas poblaciones de estos organismos diazotófos.

Si bien los filosilicatos laminares presentan generación de cargas por sustitución isomórfica y por variación del pH (este último podría ser más intenso dada las características de los suelos) (Sánchez, 1981), estos minerales secundarios podrían favorecer en la sobrevivencia de estas bacterias por modificaciones de las relaciones agua-aire del suelo y a través de la protección de la materia orgánica (MO) que si es un componente que define la población bacterial, de ahí que se observa una mayor interacción P y contenido de arcilla en la población de diazotófos

A parte de las influencias bivariadas de las variables independientes: contenido de MO y capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), ellas interaccionarían de modo simultaneo de varias maneras: el coloide orgánico contribuyendo en la CIC a través de las sustancias húmicas y que la cantidad total de cargas negativas del suelo se constituirían en un sistema de protección de las bacterias y que la propia MO actuaría como fuente de carbono y energía necesarios para la sobrevivencia de estas bacterias diazotróficas que se verían promovidas a fijar el N₂ promovidas por la MO fundamentalmente (Jiménez et al., 2011).

El estado de la MO en el suelo depende del pH; cuando el pH tiende a la acidez, entonces la tasa de mineralización de la MO disminuye y se incrementa la inmovilización, de modo contrario, cuando el pH del suelo tiende a la basicidad, la tasa de mineralización se incrementa, disminuyendo consigo la tasa de inmovilización (Novais et al., 2007), a ello se debe considerar los efectos directos e indirectos del pH. De otro lado, la MO del suelo se va incrementando con el aumento en los pisos altitudinales, igual tendencia lo hace el pH del suelo, dos variables altamente independientes que influyen significativamente en la población de estas bacterias PGPR.

Tanto el contenido de MO del suelo así como también el pH, son variables que se pueden manipular exógenamente, de manera que la densidad poblacional de estas bacterias pueden ser fácilmente modificados, alterando las dos variables independientes.

Referencias

- Barriuso, J., Solano, B.R. (2008). Lucas, J.A., Lobo, A.P., Villaraco, A.G y Mañero, F.J.G. Barriuso, J., & Solano, B.R. (2008). Lucas, J.A., Lobo, A.P., Villaraco, A.G y Mañero, F.J.G. (2008). Ecology, Genetic Diversity and Screening Strategies of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Edited by Ahmad I, Pichtel J, Hayat S, 1-17.
- Becking, J.H. (2006). The family Azotobacteraceae. *Prokaryotes*, 6, 759-783.
- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2002). *The nature and properties of soils*. 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Cromer, R.N., Turnbull, C.R.A. (2002). La Sala A.V., Smethurst P.J., & Mitchell A.D. Eucalyptus growth in relation to combined nitrogen and phosphorus fertilizer and soil chemistry in Tasmania. *Aust. For.*, 65 (4), 256-264.
- Da Luz, W.C. (1996). Rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas e de bioprotecao. *Rev. Ann. Patol. Plantas*. 4: 1-50.
- FAO. (1981). *El Eucalipto en la Repoblación Forestal*. 3ed. Roma, IT. FAO. 723 p.
- Dobereiner J., Baldani, V.D.L., & Baldani, J.I. (1995). *Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas nao-leguminosas*. Brasilia: EMBRAPA – SPI. Itaguaí RJ, EMBRAPA-CNPAB, 60 p.
- Döbereiner, J., & Day, J.M. (1975). *Nitrogen fixation in rhizosphere of grasses*. In *Nitrogen Fixation by Free-Living*

- Microorganisms*. Cambridge: Cambridge University Press, Edited by Stewart WDP, 39–56.
- De Man, J.C. (1983). Tables, corrected. *Eur. J. Appl. Microbiol Biotechnol* 17, 301 – 305.
- García, J.L., Probanza A., Ramos B., & Mañero F.J.G. (2001). Ecology, genetic diversity and screening strategies of plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences*, 164, 1–7.
- Fassbender, H.W. (1986). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA.
- Hazelton, P., & Murphy B. (2007). *Interpreting soil test results*. CSIRO publishing.
- Jiménez, D.J., Montaña J.S., & Martínez M.M. (2011). Characterization of free nitrogen fixing bacteria of the genus azotobacter in organic vegetable-grown Colombian soils. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 846-858.
- Lynch, J.M. (1990). *The Rhizosphere*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, Edited by Lynch JM.
- Mahaffe, W.F., & Kloepper J.W. (1994). Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In: Pankhurst C.E., Doube B.M. Gupta V.V.S., Grace P.R. (Eds), *Management in sustainable farming systems*. SCIRO, Australia.
- McCully, M. (2005). *The rhizosphere: the key functional unit in plant/soil/microbial interactions in the field. Implications for the understanding of allelopathic effects*. In Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy: 21-26 August 2005; Charles Sturt University, Wagga Wagga, NSW, Australia. International Allelopathy Society. Edited by Harper J, An M, Wu H, Kent J.
- Marilley, L., & Aragno, M. (1999). Phylogenetic diversity of bacterial communities differing in degree of proximity of *Lolium perenne* and *Trifolium repens* roots. *Applied Soil Ecology*, 13, 127–136.
- Manturano, P.D. (2013). *Modelos mecanísticos que explican la influencia de algunas propiedades del suelo en la densidad poblacional de Azotobacter spp en Eucalyptus globulus*. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Mohammad, G., & R. Prasad. (1998). Influence of microbial fertilizar son biomass accumulation in polypotted Eucalyptus camaldulensis seedling. *J. Trop. For.*, 4, 74 -777.
- Novais, R.F., Álvarez, V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L., Cantarutti R.B., & Neves J.C. (2007). *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciencia do solo. Viçosa MG.
- Paul, E.A. (2007). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Elsevier Inc. Amsterdam.
- Ruiz, G.N. (2010). *Análisis etiológico de la "muerte regresiva" del Eucalyptus grandis Hill ex Maiden y Eucalyptus grandis x urophylla en Oxapampa, Pasco*. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sánchez, P.A. (1981). *Suelos del trópico. Características y manejo*. IICA.
- Santos, M.C.M. (2009). *Ocorrência de bactérias diazotróficas em gramíneas forrageiras na microrregião de Patos – PB*. / Márcia Carneiro Monteiro dos Santos - Patos: CSTR/UFCEG.
- Walkley, A., & I.A. Black. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63, 251-263.
- Zapater, R.J.M. (1975). *Evaluación en el maíz del coeficiente rizosfera-suelo (R/S), referido a bacterias libres fijadoras de nitrógeno atmosférico* *Anales científicos*. UNA. Vol XIII: (1-2).