

## Artículo original

# Bactérias nativas indutoras de precipitação de minerais de carbonato de cálcio em solos tropicais

Yamile Valencia González<sup>a,\*</sup>, Ângela Patrícia Santana<sup>b</sup>, José Camapum de Carvalho<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. <sup>b</sup>Laboratório de Microbiologia Molecular de Alimentos. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília. Brasil. <sup>c</sup>Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasil.

Recibido 16 de julio de 2013; aceptado 27 de noviembre de 2013

**Resumo:** As bactérias, consideradas como o grupo de microrganismos de maior abundância e diversidade que habitam os solos, são vitais no processo de bioprecipitação, no qual, estes microrganismos formam precipitados minerais cristalinos ou amorfos, como resultado de suas atividades metabólicas sob certas condições ambientais. Nesta pesquisa foram aplicados os conhecimentos sobre bactérias, para dar solução a alguns problemas da engenharia, estudando a capacidade das bactérias nativas existentes num solo tropical de precipitar minerais de carbonato de cálcio, a partir da adição do meio nutriente. Este nutriente se mostrou ótimo para induzir a bioprecipitação gerando fibras e cristais de carbonato de cálcio, que mudam as propriedades do solo, causando uma maior estabilidade estrutural dos grãos, um melhor desempenho dos agregados e uma menor deformabilidade da massa de solo.

**Palabras chave:** bactérias, bioprecipitação, carbonato de cálcio, solo tropical.

## Native bacteria which induce calcium carbonate mineral precipitations in tropical soils

**Abstract:** Bacteria, considered as the group of soil microorganisms with the greatest abundance and diversity, are vital for bioprecipitation processes, where these microorganisms form crystalline or amorphous mineral precipitates as result of their metabolic activity under certain environmental conditions. In this investigation, knowledge about bacteria was applied for solving some engineering problems, studying the capacity of native bacteria found in tropical soil for precipitating calcium carbonate after the addition of a nutrient medium. This medium was optimal for inducing bioprecipitation, generating calcium carbonate fibers and crystals which modify soil characteristics, producing a greater structural stability of the grains, better performance of the aggregates, and less deformation of the ground mass.

**Keywords:** bacteria, bioprecipitation, calcium carbonate, tropical soil.

## Bacterias nativas inductoras de precipitación de minerales de carbonato de calcio en suelos tropicales

**Resumen:** Las bacterias, consideradas como el grupo de microrganismos de mayor abundancia y diversidad que habitan los suelos, son vitales en el proceso de bioprecipitación, en el cual estos microrganismos forman precipitados minerales cristalinos o amorfos, como resultado de sus actividades metabólicas sobre ciertas condiciones ambientales. En esta investigación, se aplicaron los conocimientos sobre bacterias para dar solución a algunos problemas de ingeniería, estudiando la capacidad de las bacterias nativas existentes en un suelo tropical de precipitar minerales de carbonato de calcio, a partir de la adición de un medio nutriente. Este nutriente resultó óptimo para inducir la bioprecipitación, generando fibras y cristales de carbonato de calcio, que varían las propiedades del suelo causando una mayor estabilidad estructural de los granos, un mejor desempeño de los agregados y una menor deformación en la masa de suelo.

**Palabras clave:** Bacterias, bioprecipitación, carbonato de calcio, suelo tropical.

\* Correspondencia:

E-mail: yvalenc0@unal.edu.co

## Introdução

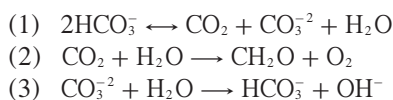
As pesquisas com microrganismos tiveram início em 1673, com Anton van Leeuwenhoek mas, somente ganharam impulso em 1857, com os estudos de Louis Pasteur [1]. Entretanto, a microbiologia do solo só teve sua primeira grande contribuição no final do século XIX com o isolamento de estirpes de rizóbio, devido ao fato do solo ser um *habitat* extremamente peculiar em relação a outros *habitats* terrestres, por sua natureza heterogênea, complexa e dinâmica. Dentro deste *habitat* complexo, os cinco grupos principais de microrganismos presentes são: as bactérias, os actinomicetos, os fungos, as algas e os protozoários. As bactérias sobressaem, de maneira especial, pois formam o grupo de microrganismos de maior abundância e diversidade entre as espécies, estimada em aproximadamente  $10^8$  a  $10^9$  UFC (unidades formadora de colônias) por grama de solo [2].

Existem variáveis que exercem influência sobre as bactérias do solo, encontram-se entre elas, a umidade, aeração, temperatura, matéria orgânica, acidez e presença de nutrientes inorgânicos. Outras variáveis, tais como os tipos de plantios, a estação do ano e a profundidade, têm relevância, mas é a combinação das mesmas que as faz determinantes [3].

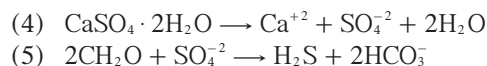
A atividade que os microrganismos desempenham nos solos pode estar também intimamente relacionada à estrutura do mesmo. Devido ao tamanho semelhante dos microrganismos, principalmente das células bacterianas e as partículas de argila, existe a possibilidade de adesão ou ligação das células microbianas a estas partículas. A natureza dessa adesão é principalmente química e mediada por substâncias cimentantes. O efeito da adesão dependerá do diâmetro das partículas (quanto menor o diâmetro, maior a adesão) o da natureza do microrganismo e do tipo de mineral argiloso, sendo as bactérias Gram positivas as mais facilmente aderidas aos minerais de argila com cargas de superfície negativas como as caulinitas e as bactérias Gram negativas aos minerais de argila com cargas de superfície positivas como as gibbsitas [4].

As bactérias do solo participam de um processo comum na natureza mediante o qual se formam precipitados minerais cristalinos ou amorfos, a “bioprecipitação” [5]. Onde a precipitação de minerais de carbonatos é conhecida como “carbonatogênese” [6].

A fotossíntese é a forma mais comum de precipitação microbiana de carbonato [7]. Este processo baseia-se na utilização metabólica do  $\text{CO}_2$  dissolvido, que se equilibra com o  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}$  ao redor da bactéria (Equação 1). Tal reação induz a uma mudança no equilíbrio do bicarbonato e subsequentemente um aumento no pH na maior parte do meio (Equação 2 e 3).

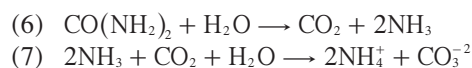


Outro tipo de processo que precipita carbonatos é aquele que envolve o ciclo do enxofre, especificamente a redução do sulfato. A reação começa com a dissolução do gesso:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} / \text{CaSO}_4$  (Equação 4). Nestas circunstâncias, a matéria orgânica pode ser consumida pela bactéria sulfato redutora e o enxofre e o  $\text{CO}_2$  metabólico são liberados (Equação 5).



A retirada do hidrogênio do enxofre produzido ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o resultado do incremento do pH são pré-requisitos para que a precipitação do carbonato aconteça [8]. Em ambientes naturais, o enxofre combinado com ferro pode, por exemplo, produzir pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

Outra forma de precipitação envolve o ciclo do nitrogênio e, mais especificamente, da amonificação de aminoácidos, redução de nitrato e degradação da uréia [9]. Este processo é mais frequentemente associado à precipitação em solos e sedimentos. Esses três mecanismos têm em comum a produção de  $\text{CO}_2$  metabólico e amônia ( $\text{NH}_3$ ), a qual em presença de íons de cálcio resulta na precipitação de amônio e na liberação de íon de carbonato (Equações 6 e 7):



Em ambientes naturais complexos os diferentes metabolismos podem se combinar para produzir a precipitação.

O papel principal das bactérias no processo de bioprecipitação tem sido associado a sua habilidade em criar ambientes alcalinos e incrementar a concentração e dissolução do carbono inorgânico (DIC) por meio de várias atividades fisiológicas [9].

A precipitação, especificamente, do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ocorre pela reação de equilíbrio apresentada na equação 8:



A produção de  $\text{CO}_3^{2-}$  de bicarbonato em água ( $\text{HCO}_3^{-1}$ ) é altamente dependente do pH; o crescimento ocorre sob condições alcalinas (ponto no qual começa a atuar a bactéria). Em conclusão, a precipitação de carbonato de cálcio ocorre facilmente em ambientes alcalinos abundantes em cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e íons de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) [5].

Os primeiros cristais produzidos na precipitação de carbonato de cálcio são amorfos e provavelmente hidratados. Eles aparecem na superfície dos corpos bacterianos como manchas ou estrias, que se estendem e se unem até formar uma capa rígida. Em outros casos, as partículas sólidas se formam dentro do corpo celular e posteriormente são excretadas para fora da célula. Todas estas pequenas partículas se reúnem em agregados “biominerais”, os quais se visualizam com estrutura “precrystalina” ou “procrystalina”. Os primeiros

minerais crescem e formam conjuntos de “biocristais secundários”, os quais progressivamente mostram estrutura mais cristalina com o crescimento [8].

O estudo dos microrganismos no processo de bioprecipitação começou ao final do século XIX no Lago Veisovoe em Kharkov (Rússia), em especial com a precipitação de  $\text{CaCO}_3$ . Pesquisas posteriores contribuíram com o conhecimento dos processos de bioprecipitação na produção de carbonato de cálcio, isolando do meio ambiente vários gêneros e espécies de bactérias. Entre eles podem-se destacar: *Bacillus* spp. (por exemplo, as espécies *B. subtilis*, *B. pasteurii*, *B. amyloliquefacies*, *B. cereus*), *Pseudomonas* spp., *Variovorax* spp., *Micrococcus* spp., *Leuconostoc mesenteroides*, *Myxococcus xanthus*, *Sporosarcina pasteurii*, *S. ureae*, *Escherichia coli*, *Beijerinckia indica* e *Penicillium chrysogenum* [3]. Destas espécies o gênero *Bacillus* se apresenta como uma bactéria ótima para a precipitação de carbonato de cálcio no habitat natural [10]. Em todas estas pesquisas as bactérias têm sido isoladas de ambientes com sinais de precipitação de carbonato de cálcio e adicionadas a um meio nutriente que permita induzir a precipitação em outro local. Estas técnicas são conhecidas, por exemplo, como: “bioremediação” que consiste na proteção, contra a deterioração de materiais utilizados na construção civil com uma película da mistura bactéria-nutriente. A “bioinduração” e “bioestabilização”, consistindo na selagem ou tamponamento dos poros e no melhoramento das propriedades dos solos, respectivamente, mediante a adição de microrganismos e nutriente [11].

Neste estudo, em lugar de se adicionar microrganismos ao material como tem sido realizado até o momento, o que se pretende é analisar a capacidade das bactérias nativas já existentes num solo tropical em precipitarem minerais de carbonato de cálcio, a partir apenas da adição de um nutriente que estabilize o solo, reduzindo desta forma a possibilidade de impacto ambiental.

## Materiais e métodos

As bactérias para as quais se determinou o potencial de bioprecipitação foram isoladas de um perfil de solo tropical localizado na cidade satélite de Santa Maria, Distrito Federal–Brasil, com 6 m de profundidade e dividido em cinco camadas: de 0 a 1,5 m; de 1,5 m a 2,5 m; de 2,5 m a 3,5 m; de 3,5 m a 4,5 m e de 4,5 m a 6,0 m.

Para a identificação microbiológica das bactérias presentes no perfil de solo, primeiro se tomou para cada camada 10 g de solo e colocou-se em um recipiente plástico estéril, com 90 mL de água peptonada 1%, para fazer uma diluição na proporção de 1:10. Em seguida, desta mistura, tomou-se 1 mL e homogeneizou-se com 9 mL de água tamponada 0,1% esterilizada para obter uma diluição de 1:100. Cada diluição foi incubada em uma estufa bacteriológica sob a temperatura de 25 °C durante 24 horas e, posteriormente, distribuídas em forma de estrias com alça de platina, em placas contendo ágar nutriente e ágar sangue de carneiro 5%, para crescimento da população bacteriana e posterior

isolamento.

Para cada colônia diferente, identificada visualmente, foram confeccionadas duas placas, contendo os mesmos meios, que permitiram a análise de microrganismos aeróbios e anaeróbios. As placas para análise de microrganismos aeróbios foram incubadas durante dois dias em estufa a 25 °C. Para a análise de microrganismos anaeróbios, utilizou-se a jarra de anaerobiose. As bactérias que cresceram dentro da jarra foram logo colocadas em ágar sangue de carneiro 5%, e incubadas aerobiamente para ver se eram anaeróbias estritas ou facultativas. Estes procedimentos devem ser executados dentro de uma câmara de fluxo laminar para evitar a contaminação das amostras por bactérias presentes no ar atmosférico. Todo o processo de isolamento bacteriológico se executou três vezes para garantir a repetitividade dos resultados obtidos.

A identificação dos isolamentos bacterianos se efetuou por meio dos seguintes testes bioquímicos como: teste de Gram, teste de KOH 3%, teste de catalase, teste de oxidase, teste de Triple Sugar Iron, teste de oxidação/fermentação, teste do indol, teste de urease, fermentação de manitol, teste de redução de nitrato, teste de produção de descarboxilases e de desidrolase de aminoácidos, teste da hidrólise da gelatina, teste do vermelho de metila, teste do Voges-Proskauer, utilização do citrato, teste de motilidade, fermentação de lactose, sacarose, glicose, maltose, arabinose, trealose e hidrólise da esculina.

Após a identificação das bactérias presentes no solo, estas foram colocadas em placas contendo três tipos de meios nutrientes diferentes, meios que segundo a literatura se mostraram ótimos para a precipitação de carbonato de cálcio por diversas bactérias e definir neste caso qual seria o melhor nutriente para induzir a maior precipitação de carbonato de cálcio de acordo com as bactérias presentes no solo. O primeiro meio usado, foi o meio B4 (proporções 1), que contém 2,5 g de acetato de cálcio, 4 g de extrato de levedura, 5 g de glicose e 12 g de ágar para 1 L de água destilada, [10,12]. Como no primeiro meio não se observou crescimento bacteriano, testou-se o segundo meio proposto por Lee [6], que contém os mesmos insumos do primeiro, mas com proporções diferentes (B4–proporções 2). Os componentes deste meio são: 15 g de acetato de cálcio, 4 g de extrato de levedura, 5 g de glicose e 12 g de ágar, para 1 litro de água destilada. O acetato de cálcio, o extrato de levedura e o ágar, são misturados e autoclavados, já a glicose é filtrada para evitar sua caramelização e posteriormente adicionada aos outros compostos depois de autoclavados. Finalmente, confere-se o pH, que deve ser aproximadamente 8, para produzir maior precipitação [10].

O terceiro meio testado foi o proposto por Stocks-Ficher *et al* [13], que se compõe de 3 g de ágar nutriente, 20 g de uréia, 10 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (Cloreto de amônio), 2,12 g de  $\text{NaHCO}_3$  (Bicarbonato de sódio) e 5,6 g de  $\text{CaCl}_2$  (Cloreto de cálcio) e 12 g de ágar, para 1 litro de água destilada. Neste meio só se autoclava o ágar nutriente, enquanto os outros compostos são filtrados e misturados. Finalmente, ao igual que para o meio B4, o pH deve ser de aproximadamente 8.

Como na maioria dos casos, o pH fica abaixo de 8, deve-se adicionar hidróxido de sódio (NaOH) para aumentá-lo. Cada meio com as bactérias semeadas foi preparado três vezes para confirmar resultados.

Cada uma das placas de Petri contendo os meios e as bactérias semeadas neles foram colocadas na estufa biológica sob a temperatura de 25 °C, durante no mínimo 15 dias, condições sugeridas por Baskar *et al* [10], com ótimos resultados. Posteriormente, as placas com o segundo e terceiro meio foram analisadas para a identificação dos minerais precipitados e a seleção do melhor meio precipitador. Isto é feito no microscópio petrográfico e conferido no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Ao determinar o meio que melhor induz a precipitação de carbonato de cálcio com as bactérias, adicionou-se o mesmo ao solo para que as precipitações ocorressem *in locu*, precipitações observadas no MEV e que causam uma melhoria nas propriedades e/ou comportamento do solo por encontrassem agrupando e preenchendo os vazios. Esta melhoria foi confirmada a partir de diversos ensaios específicos da mecânica de solos com um mínimo de três repetições.

## Resultados e discussão

Depois de acrescentadas as diluições 1:10 e 1:100 de solo nas placas de ágar nutriente e ágar sangue de carneiro 5%, observou-se diferentes tipos de bactérias, que foram isoladas e incubadas individualmente em placas de ágar sangue de carneiro 5% durante 24 h a 25 °C. Para cada uma das bactérias isoladas, foram realizados os respectivos testes bioquímicos identificando-se as bactérias descritas na tabela

1, onde pode-se observar um total de 43 tipos de isolados bacterianos, sendo *Bacillus* spp. a bactéria mais comum.

Desta análise microbiológica, percebeu-se que a quantidade de bactérias encontradas aumentou com a profundidade. Isto pode estar associado ao aumento do pH em água, com a profundidade do solo (1 m: 5,6; 2 m: 5,8; 3 m: 5,9; 4 m: 6,1; 5 m: 5,9) [4]. Quanto mais próximo for o pH de 8 mais conveniente é o ambiente para a maioria das bactérias, como aconteceu na pesquisa realizada por Baskar *et al* [10], onde valores de pH perto de 8 foram os mais adequados para a precipitação. Adicionalmente, a maior ou menor quantidade de certos minerais carregados em superfície positiva ou negativamente, por exemplo, a caulinita (negativamente) ou a gibbsita (positivamente), contribuem para a maior presença de bactérias Gram positivas ou Gram negativas. Isto se deve à maior adesão das bactérias a um destes minerais [4].

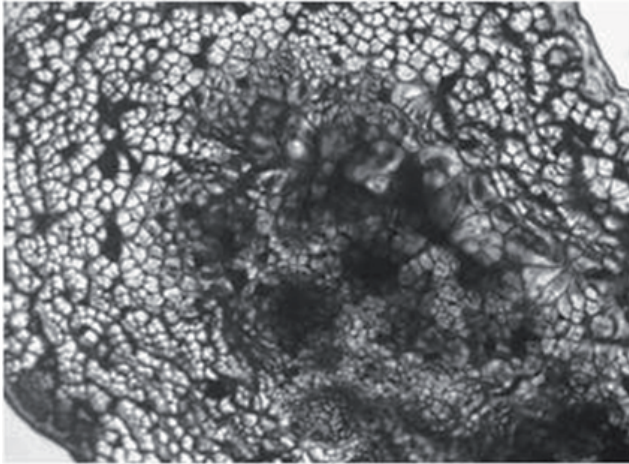
Para cada uma das bactérias classificadas e repicadas nas placas com o segundo meio (B4 proporção 2) e o terceiro meio (meio com uréia) e incubadas durante mínimo 15 dias a 25 °C, foram registradas imagens das placas numa lupa eletrônica de alta resolução, com luz natural, que indicaram precipitação por parte das bactérias nos meios. Para uma análise mais detalhada observou-se as 43 placas no microscópio petrográfico e no MEV, possibilitando assim, uma melhor definição e confirmação dos precipitados e de qual seria o meio precipitador de carbonato de cálcio mais adequado para ser adicionado ao perfil de solo, visando o melhoramento de suas propriedades e/ou comportamento. As placas foram colocadas diretamente no microscópio petrográfico, observando-se, de maneira geral, que o meio B4 formou espécies mais estruturadas, que davam idéia,

Tabela 1. Isolados bacterianos presentes no perfil de solo.

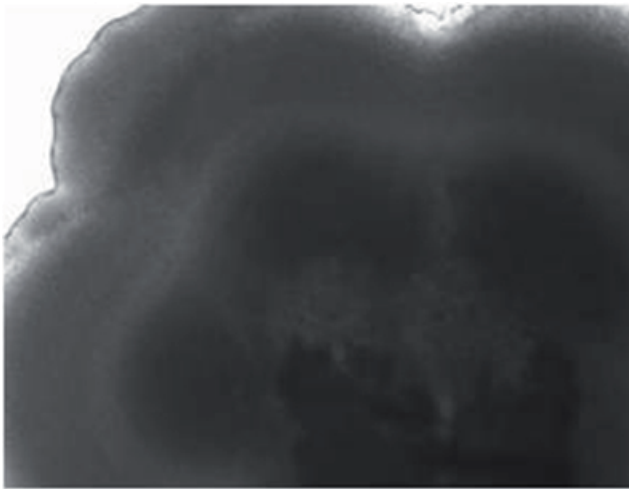
Profundidade	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
#	Bactéria	Bactéria	Bactéria	Bactéria	Bactéria
1	<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Staphylococcus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
2	<i>Pasteurella</i> spp.	<i>Actinobacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Staphylococcus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
3	<i>Francisella</i> spp.	<i>Pasteurella</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Enterobacter</i> spp.	<i>Actinobacillus</i> spp.
4	<i>Pasteurella</i> spp.	<i>Alcaligenes</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
5	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Rhodococcus equi</i>	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Rhodococcus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.
6	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	
7	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	<i>Pasteurella</i> spp.	
8		<i>Bacillus</i> spp.	<i>Corynebacterium</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	
9			<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	
10			<i>Bacillus</i> spp.	<i>Bacillus</i> spp.	
11				<i>Bacillus</i> spp.	
12				<i>Bacillus</i> spp.	
13				<i>Bacillus</i> spp.	



pelas cores de interferência que se obtinham ao usar nicóis cruzados, da presença de cristais de calcita com tamanhos variando desde 0,01 mm até um mm. Com o meio contendo uréia as estruturas não foram tão bem definidas, a diferencia do que aconteceu na pesquisa de Hammes *et al* [9]. Na figura 1, pode-se observar para um *Bacillus* spp. oriundo da camada de solo correspondente a 3 m de profundidade, o comportamento ao usar o meio B4 e o meio com uréia.



a) Nicóis cruzados meio B4.



b) Nicóis cruzados meio com uréia.

Figura 1. Precipitados bacterianos nos meios B4 (proporções 2) e com uréia para a bactéria *Bacillus* spp. oriunda da camada de solo a 3 m de profundidade. Imagem no microscópio petrográfico com aumento de 4 vezes.

Para conferir a análise realizada no microscópio petrográfico, os precipitados bacterianos foram cortados e colados em porta-amostras e, em seguida, metalizados com ouro e observados no MEV onde foi constatada presença de cálcio com o meio B4 e ausência deste no meio com uréia. A figura 2 ilustra este fato para um *Bacillus* spp. oriundo da profundidade de 3 m. É importante ressaltar que, na maioria dos casos, quando se tinham *Bacillus* se gerou maior precipitação de cálcio com o meio B4, o que permite confirmar que bactérias tipo *Bacillus* são ótimas para o processo de biomineralização assim como aconteceu na pesquisa efetuada por Baskar *et al* [10], onde se explica a

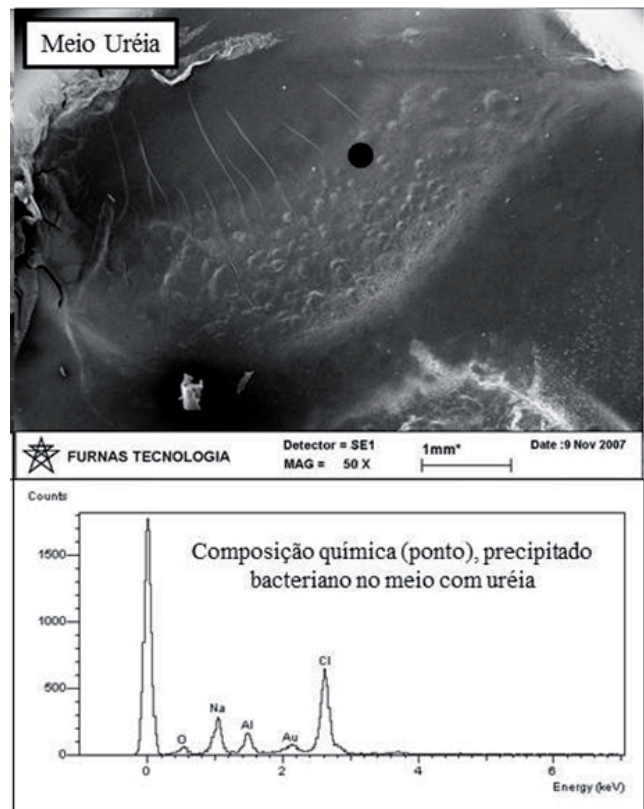
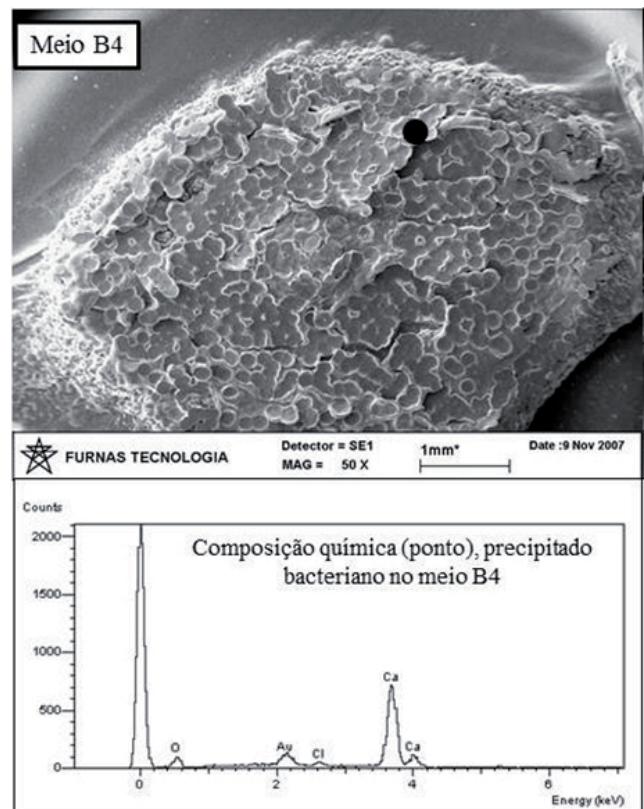
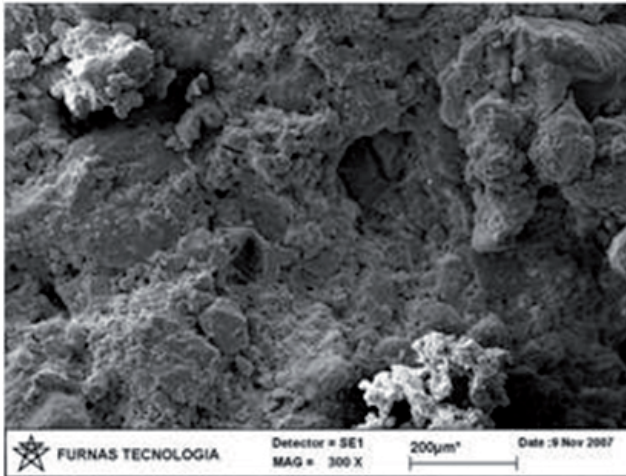


Figura 2. Precipitados bacterianos nos meios B4 e com uréia a 3 m de profundidade com uma bactéria *Bacillus* spp. no microscópio eletrônico de varredura.

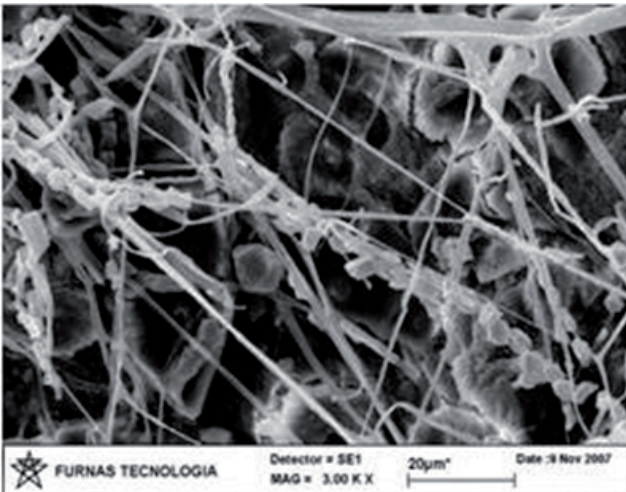
possível origem das estalactites em cavernas da Índia a partir da precipitação de carbonato de cálcio. Estes resultados

confirmam que o nutriente B4 com as segundas proporções induz maior precipitação de minerais nos solos do perfil que o meio com uréia.

Em conclusão o meio nutriente B4 (15 g de acetato de cálcio, 4 g de extrato de levedura, 5 g de glicose para 1 L de água destilada) se mostrou ótimo para induzir precipitação de carbonato de cálcio a partir das bactérias nativas existentes no solo tropical estudado. Este aspecto foi verificado quando adicionado o nutriente ao solo após 15 dias se tivera a geração de fibras e cristais de forma globular e/ou romboédricos (Figura 3) que mudam as propriedades do solo.



a) Amostra de solo sem nutriente.



b) Amostra de solo com nutriente.

Figura 3. Microscopia eletrônica de varredura.

Dentro das propriedades do solo que se têm modificado, a partir das precipitações originadas pela adição do nutriente, são: a redução do índice de vazios, do limite de liquidez, do índice de plasticidade, da permeabilidade, do índice de colapso e da erodibilidade, o aumento da sucção e das resistências, à compressão simples e ao cisalhamento. O efeito destas variações se vê refletido na maior estabilidade estrutural dos grãos, no melhor desempenho dos agregados e na menor deformabilidade da massa de solo, apontando

assim para a possibilidade de utilização da técnica de biomineralização na solução de problemas da engenharia, como é descrito detalhadamente na pesquisa efetuada por Valencia [3], base deste artigo.

## Conclusões

A técnica de biomineralização, além de inovadora, sua aplicação na engenharia aponta por meio de estudos multidisciplinares, para a possibilidade de se promover o desenvolvimento sustentável, entrelaçando-se diferentes áreas do conhecimento na construção de alternativas para a solução dos problemas sócio-ambientais e tecnológicos.

O nutriente B4 induziu maior precipitação de carbonato de cálcio a partir das bactérias nativas existentes no solo que o meio com uréia, indicando que, um meio baseado em 15 g de acetato de cálcio, 4 g de extrato de levedura e 5 g de glicose pode ser mais propício para o processo de precipitação de carbonato de cálcio. Este nutriente oferece a vantagem de não requerer que a bactéria presente no solo seja uréase positiva como é o caso do nutriente com uréia, permitindo assim uma maior eficiência. Adicionalmente, o fato de trabalhar nesta pesquisa com bactérias nativas do solo, e não com a adição de uma bactéria calcificante externa ao meio, como têm sido adotados na maioria das investigações realizadas até o momento, diminui a possibilidade de impacto ambiental.

Diante das melhorias verificadas nas propriedades e comportamentos do solo com o tratamento, tem-se que a técnica da biomineralização se constitui em uma opção viável para o melhoramento dos solos.

## Agradecimento

Programa “Bolsista da CAPES/CNPq - IEL Nacional – Brasil” e “Universidad Nacional de Colombia”.

## Referencias

1. Zilli J, Gouvea N, da Costa H, Prata MC. Diversidade microbiana como indicador da qualidade do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia. 2003; 20:391-411.
2. Alexander M. Introducción a la microbiología del suelo. Peña JJ (trad). Mexico: Libros y editoriales S.A.; 1980.
3. Valencia Y. Influência da biomineralização nas propriedades físico-mecânicas de um perfil de solo tropical afetado por processos erosivos. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasil; 2009.
4. Cardoso E, Tsai S, Neves MC. Microbiologia do solo. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 1992. pp. 6-72.
5. Soto A. Introducción a los biominerales y biomateriales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Mención en Ciencias de los Materiales. 2003.
6. Lee YN. Calcite production by *Bacillus amyloliquefacies* CMB01. J Microbiol. 2003; 41:345-8.
7. Hammes F, Verstraete W. Key roles and calcium metabolism

- in microbial carbonate precipitation. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2002; 1:3-7.
8. Castanier S, Gaële Le M, Perthuisot JP. Ca-carbonates precipitation and limestone genesis the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology*. 1999; 126:9-23.
  9. Hammes F, Boon N, Villiers J, Verstraete W, Siciliano D. Strain-specific ureolytic microbial calcium carbonate precipitation. *Appl Environ Microbiol*. 2003; 69:4901-9.
  10. Baskar S, Baskar R, Mauclaire L, McKenzie JA. Microbially induced calcite precipitation in culture experiments: possible origin for stalactites in Sahastradhara caves, Dehradun, India. *Curr Science*. 2006; 90:58-64.
  11. Gómez E. Evaluación de las propiedades geotécnicas de suelos arenosos tratados con bacterias calcificantes. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia; 2006.
  12. Tiano P, Biagiotti L, Mastromei G. Bacterial bio-mediated calcite precipitation for monumental stones conservation: methods of evaluation. *J Microbiol Methods*. 1999; 36:139-45.
  13. Stocks-Firscher S, Galinat J, Bang S. Microbiological precipitation of CaCO<sub>3</sub>. *Soil Biol Biochem*. 1999; 31:1563-71.