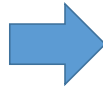


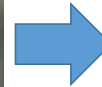
Inoculantes de Microrganismos Promotores de Crescimento em Milho: Transferindo a Diversidade do Laboratório para o Campo



Inoculação



Homogeneização



Inoculação pronta



Plantio

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

DOCUMENTOS 227

**Inoculantes de Microrganismos Promotores de Crescimento em
Milho: Transferindo a Diversidade do Laboratório para o Campo**

Christiane Abreu de Oliveira Paiva
Bianca Braz Mattos
Eliane Aparecida Gomes
Ivanildo Evódio Marriel
Ubiraci Gomes de Paula Lana
Ubiana de Cássia Silva
Vera Lúcia dos Santos

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
*Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria
Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone,
Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda
de Castro*

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Tânia Mara Assunção Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto da capa
Christiane Abreu de Oliveira Paiva

1ª edição
Formato digital (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Milho e Sorgo

Inoculantes de microrganismos promotores de crescimento em milho: transferindo
a diversidade do laboratório para o campo / Christiane Abreu de Oliveira Paiva ...
[et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2018.
19 p. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 227).

1. População microbiana. 2. Inoculante. 3. Microbiologia do solo. 4. Fertilizante.
I. Paiva, Christiane Abreu de Oliveira. II. Mattos, Bianca Braz. III. Gomes, Eliane
Aparecida. IV. Marriel, Ivanildo Evódio. V. Lana, Ubiraci Gomes de Paula. VI. Silva,
Ubiana de Cássia. VII. Santos, Vera Lúcia dos. VIII. Série.

CDD 631.46 (21. ed.)

Autores

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Eng.-Agrô., D.Sc., em Biologia Vegetal, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas, MG.

Bianca Braz Mattos

Bióloga, M.Sc. em Microbiologia, Analista na Embrapa Solos, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ.

Eliane Aparecida Gomes

Bióloga, D.Sc. em Genética, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Ivanildo Evódio Marriel

Eng.-Agrôn., D.Sc. em Biologia Celular, Pesquisador em Microbiologia da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Ubiraci Gomes de Paula Lana

Químico, Mestre em Genética, Analista da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Ubiana de Cássia Silva

Bióloga, M.Sc. em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, doutoranda pela Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, Belo Horizonte, MG.

Vera Lúcia dos Santos

Eng.-Agrôn., Ph.D., Professora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

Apresentação

O milho é uma commodity com grande volume de produção no mundo. No entanto, o sistema de produção dessa cultura é ainda altamente dependente de insumos químicos, particularmente em solos tropicais, onde fatores de estresses abióticos relacionados à fertilidade do solo limitam o crescimento e a produção vegetal.

Tendo isso, a manutenção e/ou o aumento da competitividade dessa commodity depende de inovações tecnológicas que permitam a sustentabilidade com a exploração de parâmetros como redução dos custos de produção, dos impactos ambientais e do uso de fontes não renováveis de energia. Diante desse cenário, o desenvolvimento de bioprodutos com aplicação na agricultura tem ganhado força, baseado na produção de insumos de base biológica que podem ser divididos em biofertilizantes, inoculantes e produtos utilizados no biocontrole de pragas e doenças.

Países como Argentina, Canadá, África do Sul, Índia, Austrália, Filipinas, Estados Unidos e Brasil abraçaram estas tecnologias e têm investido nesta linha de bioprodutos visando reduzir o uso indiscriminado de agroquímicos e crescer a oferta de produtos que aumentem a tolerância das plantas a estresses de forma eficiente.

Prosseguir com sucesso, do laboratório à escala industrial e no campo, é um dos principais desafios para o uso dos bioprodutos. Nem sempre os resultados promissores obtidos em bancadas são reproduzidos no campo, por causa da alta complexidade das interações inoculante-planta e inoculante-microbiota do solo. Com este desafio, cresce a demanda por novos produtos, microrganismos e rotas biotecnológicas capazes de suprir lacunas referentes ao desenvolvimento de inoculantes com fins agrícolas mais eficazes.

Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Chefe-geral

Sumário

Introdução	6
Características desejáveis de microrganismos para uso como inoculantes e novos grupos de microrganismos fertilizantes	6
Aumento do suprimento de nutrientes na cultura do milho pelo uso de microrganismos	7
Seleção de espécies e fatores que afetam a eficácia de biofertilizantes: da bancada à produção em escala e estabilidade no campo	11º
Referências	12
Literatura recomendada	18

Introdução

O uso de microrganismos tem sido considerado uma ferramenta importante para a resolução de questões críticas para a sustentabilidade da agricultura (Bevivino et al., 2000; Hartmann et al., 2009; Hungria et al., 2010). Entre elas podemos citar a gestão da qualidade alimentar, a mitigação de mudanças no clima e a conservação da biodiversidade dos ecossistemas (Szilagyi-Zecchin et al., 2016). No entanto, os mecanismos de ação de produtos contendo microrganismos no solo e nas plantas não estão plenamente elucidados, e o desenvolvimento de linhas de pesquisas para o estudo dos principais fatores que afetam a eficiência deste processo tem sido estimulado. As principais razões derivadas da imprevisibilidade dos bons resultados são: 1) a identificação e rastreabilidade das amostras inoculadas no campo; 2) compreensão das inter-relações entre microrganismos e plantas; 3) domínio da tecnologia da produção dos inoculantes e 4) desconhecimento do microbioma interno das plantas e o efeito da entrada de microrganismos neste sistema (Malusà et al., 2016).

Diferentes tipos de microrganismos do solo já foram identificados como promotores de crescimento (MPCP) (bactérias, fungos e protozoários que colonizam a rizosfera ou os tecidos de plantas) e podem ser utilizados para a produção de fertilizantes à base de microrganismos (Malusà et al., 2016). O uso de biofertilizantes tem sido apontado como uma ferramenta importante para a manutenção da produtividade agrícola de baixo impacto ambiental (Malusà et al., 2016), desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento de um sistema de gestão de nutrientes integrada ou manejo integrado de fertilizantes.

Mesmo diante destas questões, o que ainda justifica a busca intensiva por microrganismos, é que existe, dentro do universo solo/planta, uma vasta diversidade ainda inexplorada. Há uma presença contínua de bactérias no solo, na rizosfera, rizoplano e tecidos internos de plantas (Hallmann et al., 1997) que nem sequer foram ainda descobertos. Esta diversidade precisa ser explorada ao máximo para se compreender os maiores benefícios da inoculação microbiana. Não obstante, o potencial evidente da bioprospecção microbiana para o agronegócio ainda é pouco conhecido, particularmente, em ecossistemas tropicais.

Características desejáveis de microrganismos para uso como inoculantes e novos grupos de microrganismos fertilizantes

Os microrganismos selecionados com potencial para o uso na produção de biofertilizantes devem, de preferência, ser “multifuncionais”, sendo frequentemente isolados da rizosfera ou do interior da planta (Bashan et al., 2014). Esta multifuncionalidade está relacionada à capacidade de produzir enzimas, hormônios e substâncias que favoreçam o desenvolvimento e proteção das plantas (Figueiredo et al., 2010). Devem também apresentar características promissoras de biofertilização, como a fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo, seja pela produção de ácidos orgânicos e/ou enzimas da classe das fosfatases, entre elas as fitases (Gyaneshwar et al., 2002). Este grupo pode expressar ainda características de produção de enzimas hidrolíticas, como celulasas, xilanases, amilases, pectinases, lipases e proteases (Badri; Vivanco, 2009), sideróforos e outras características de biocontrole associadas (Malusà et al., 2016).

A produção de fito-hormônios, como as auxinas, citocinas e giberelinas, estimula o crescimento da planta, aumentando a densidade de raízes e folhas (Tsavkelova et al., 2006). Estas substâncias podem exercer papel importante nos processos de sinalização entre plantas e microrganismos (Navarro et al., 2006). Além disso, existem relatos sobre os efeitos do uso de microrganismos

promotores de crescimento no aumento da resistência das plantas a estresses abióticos, como a seca (Zoppellari et al., 2014).

Pesquisas relacionadas às aplicações práticas de MPCPs têm se intensificado e já existem produtos comerciais à base dessas bactérias em vários países. Entretanto, apenas alguns grupos específicos de microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico têm sido utilizados em larga escala na cultura da soja (Bashan et al., 2014; Hungria, 2011). Este baixo uso em gramíneas, como o milho, está relacionado ao fato de que estes microrganismos não estabelecem forte colonização e com isso, o processo de inoculação pode não surtir efeitos satisfatórios em termos de estabelecimento no ambiente rizosférico.

A presença de microrganismos endofíticos já foi demonstrada em diferentes culturas de interesse econômico, tais como o milho (Araújo et al., 2010; Montañez et al., 2012), sendo conhecida há mais de 120 anos (Hardoim et al., 2008). Algumas bactérias endofíticas são capazes de colonizar outros nichos e podem habitar o microbioma interno e da rizosfera simultaneamente (Bacon; Hinton, 2011). A principal razão para o interesse atual em endófitos é a constatação de que, se estas bactérias podem ser reintroduzidas na fase endofítica, pode ser estabelecida aí uma relação mais estável entre a planta e a bactérias endofíticas do que para as bactérias e plantas rizosféricas ou epífitas (Bacon; Hinton, 2011; Hardoim et al., 2012).

A biodiversidade dos microrganismos endofíticos abriga um grande potencial biotecnológico. A capacidade destes microrganismos em disponibilizar nutrientes minerais e estimular o crescimento da planta hospedeira e demais organismos residentes apresenta um potencial ainda a ser explorado, uma vez que são microrganismos extremamente exigentes nutricionalmente e, por muitas vezes, são classificados como não cultiváveis.

A introdução de métodos de biologia avançada, que independem o cultivo, tem permitido avanços importantes para o conhecimento da biodiversidade dos microrganismos não cultiváveis. Este tipo de estudo permite desvendar as populações de microrganismos e genes relacionados ao estresse mineral de nutrientes e entender as funções e mecanismos da colonização das plantas de milho pelas bactérias endofíticas. As informações geradas nestes estudos podem ser usadas para comparar e determinar a diversidade de comunidades microbianas cultiváveis e não cultiváveis, detectar a presença de microrganismos ou vias biossintéticas específicas, e, também, constituir fonte para descoberta de novos genes e metabólitos microbianos de interesse industrial. E, no caso específico de microrganismos com potencial de bioinoculante, permitem identificar os mecanismos usados no processo de adaptação/colonização e nos benefícios decorrentes dessas interações para a planta hospedeira.

Aumento do suprimento de nutrientes na cultura do milho pelo uso de microrganismos

Dentro do contexto de suprimento de nutrientes para a cultura do milho, os microrganismos constituem alternativas atrativas e comprovadamente viáveis para vários processos biotecnológicos como fontes de produtos, genes ou processos com ênfase no suprimento de nitrogênio, fósforo e potássio. No caso desta cultura, por desempenhar papel importante no cenário agropecuário mundial, há necessidade constante de melhora nas práticas culturais, em particular, no manejo da nutrição e adubação, com ênfase no nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Isso porque os custos de produção são onerosos, por causa das altas taxas de importação atreladas aos adubos, e a crescente busca por práticas ambientalmente seguras para a alimentação humana. De fato, o uso

de microrganismos do solo como agentes de biodisponibilização de nutrientes, especialmente os localizados na região rizosférica das plantas, tem sido considerada uma prática agrícola promissora, em termos econômicos e ambientais, em ecossistemas tropicais.

A adubação nitrogenada apresenta contribuição significativa para o aumento da produtividade das plantas, em particular para as gramíneas. Entretanto, apresenta também baixa eficiência de utilização pelas culturas, uma vez que sofre vários processos de perdas, com impactos negativos sobre a qualidade do solo, água e ar (Martha Júnior et al., 2004). Embora o nitrogênio seja um elemento abundante na natureza, as plantas não possuem a capacidade de absorvê-lo diretamente da atmosfera, sendo necessária sua redução a amônio, via processo químico (fertilizantes químicos) ou fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Döbereiner, 1984; Dalla Santa et al., 2004). Em condições tropicais, a adubação nitrogenada pode estar associada a elevados gastos, uma vez que as chuvas intensificam a lixiviação desse nutriente. Diante desse cenário, a fixação biológica do nitrogênio representa uma alternativa economicamente viável, vantajosa e menos impactante para suprir a demanda nutricional de algumas culturas (Govindarajan et al., 2007).

Dentre as alternativas biológicas para o suprimento de N nas culturas, podemos citar a associação com microrganismos diazotróficos, via processo FBN. Bactérias pertencentes aos gêneros *Azospirillum* e *Herbaspirillum* e *Acetobacter diazotrophicus* já foram descritas como bactérias associadas com as raízes da família das gramíneas. No caso da cultura de milho, associação com bactérias do gênero *Azospirillum* tem mostrado resultados promissores em várias partes do mundo, inclusive no Brasil (Alves, 2007; Hungria, 2011). Embora haja esforços para incrementar a eficiência no uso de nitrogênio em gramíneas, via melhoria e/ou desenvolvimento de processos biológicos através do uso de ferramentas de biologia avançada, em curto prazo, parece mais promissor explorar a biodiversidade microbiana visando a bioprospecção e caracterização de microrganismos com potencial de uso como inoculante, associada ao desenvolvimento de genótipos de plantas que favoreçam associações eficientes com tais microrganismos.

Inoculantes contendo *Azospirillum* têm sido testados em condições diversas no mundo, com eficiência ainda variável em função do ambiente, genótipo da planta e principalmente estirpe utilizada (Boddey et al., 1986; Okon; Labandera-Gonzalez, 1994; Dobbelaere et al., 2001). Apesar de o Brasil ser pioneiro nas pesquisas desta área (Dobereiner; Day, 1976; Dobereiner et al., 1976), só recentemente têm sido disponibilizadas estirpes de *Azospirillum* para produção comercial de inoculantes brasileiros (Hungria, 2010). No milho e no sorgo, este gênero destaca-se por estimular o crescimento e a produção da planta através de mecanismos múltiplos (Döbereiner; Pedrosa, 1987; Okon; Labandera-Gonzalez, 1994; Bashan et al., 2004), podendo fornecer de 20 a 25% das necessidades totais de nitrogênio em milho (Saikia; Jain 2007; Montañez et al., 2012).

A interação *Azospirillum*-planta envolve mecanismos múltiplos ainda não bem elucidados, mas estimativas da contribuição da fixação biológica revelam valores economicamente importantes em milho inoculado com *Azospirillum* (Garcia de Salamone et al., 1996), e várias outras culturas (Urquiaga et al., 1992; Shrestha; Ladha, 1996; Malik et al., 1997). No caso da cana-de-açúcar, a contribuição da fixação tem sido atribuída à presença de bactérias endofíticas. Entretanto, no ponto de vista prático, a otimização de interações bactérias diazotróficas-milho depende, além de outros fatores, da identificação de estirpes adequadas. Dentre os isolados já avaliados sob condições de campo na Embrapa, alguns são altamente promissores para a cultura do milho (Marriel et al., 2008; Hungria et al., 2010), com um potencial de acréscimo de até 40% da produtividade de grãos e equivalente à adubação de até 80 kg/ha de N.

A disponibilização de estirpes adequadas para a produção de inoculantes poderá reduzir o N aplicado à cultura do milho e, independentemente do status tecnológico do produtor, contribuir para a sustentabilidade e competitividade do agronegócio, através da redução de custos de produção e da dependência de insumos importados, sem desconsiderar seus aspectos positivos, sejam sociais e/ou ambientais.

O benefício do uso de microrganismos não está restrito à ciclagem do nitrogênio. É de conhecimento geral que a atividade microbiana está intimamente relacionada com a ciclagem do fósforo no ambiente (Gadd, 1999). No caso do fósforo, o uso combinado de fosfatos de rocha e microrganismos tem sido considerado uma estratégia promissora em termos ambientais e econômicos (Khan et al., 2007; Richardson et al., 2001; Singh; Reddy, 2011; Gomes et al., 2014), apresentando resultados de ganhos de produtividade e de massa vegetal em várias culturas como alfafa (Rodríguez et al., 1999), cana-de-açúcar (Stamford et al., 2006), cebola, soja (Khan et al., 2007), trigo (Singh; Reddy, 2011) e em milho (Nahas et al., 1994).

Os microrganismos apresentam dois mecanismos de liberação de P solúvel: (1) as reações de solubilização do fósforo inorgânico e (2) as de mineralização do fósforo orgânico (Oliveira et al., 2009; Richardson; Simpson, 2011; Gomes et al., 2014; Vassilev et al., 2014). Os microrganismos solubilizadores de fosfatos são capazes de disponibilizar o fósforo complexado a Ca, Fe e Al no solo e em fosfato natural, principalmente pela liberação de ácidos orgânicos (Whitelaw, 1999; Goldstein et al., 2003). Já os mineralizadores liberam o fósforo orgânico do solo (MMP) e de resíduos orgânicos através da produção de enzimas do tipo fosfatases (Richardson et al., 2009; Ogbo, 2010; Vassileva et al., 2010).

Em experimentos de campo, a inoculação de sementes com *Penicillium oxalicum* em associação com o uso de pó de rocha proporcionou um aumento significativo do crescimento, produção e teor de P de plantas de milho (Singh; Reddy, 2011). Esses dados corroboram com o trabalho publicado por Mahamuni et al. (2012), em que a inoculação com fungos solubilizadores proporcionou ganhos de 20-23% de produtividade de cana-de-açúcar em relação ao controle.

O efeito da inoculação também foi evidenciado utilizando estirpes bacterianas solubilizadoras de fosfato dos gêneros *Serratia* e *Pseudomonas*, que promoveram um aumento do acúmulo de P, do crescimento de até 66% e de produtividade de até 85% em comparação com o controle não inoculado (Hameeda et al., 2008).

Em condições controladas, a inoculação do milho com MSP e adubação com rochas proporcionaram um aumento do comprimento e massa seca de raiz de 11 e 35%, respectivamente (Manzoor et al., 2017), e aumento do conteúdo interno de P na planta de milho de maneira proporcional ao ganho de massa seca (Oliveira et al., 2013).

Muitos MSP do solo têm sido usados como fertilizantes em interação com fungos micorrízicos obtendo-se efeitos sobre o crescimento das plantas. Microrganismos dos gêneros *Agrobacterium* sp. e *Pseudomonas* sp., quando inoculados nas sementes de milho juntamente com fungos micorrízicos, promovem um aumento de matéria seca e absorção de fósforo. Vários outros trabalhos relatam a interação positiva entre inoculantes contendo MSP ou diazotróficas com os fungos micorrízicos (Barea et al., 2005; Bagyaraj et al., 2015), confirmando o potencial do uso de consórcios microbianos para a produção de bioinoculantes.

Em se tratando do suprimento de fósforo para cereais como o milho, o uso de microrganismos selecionados como estratégia para uma melhor eficiência no aproveitamento de fosfatos pelas plantas através do bioprocessamento de rochas, sua bioconversão para fósforo inorgânico, via

biofábrica, apresentaria inúmeras vantagens, em relação ao processamento químico: (1) o processo biológico é seletivo, eliminando a etapa de remoção de poluentes, responsável pela maior parcela do custo industrial do processo; (2) ocorre em temperatura ambiente e utiliza energia de fonte renovável; (3) não exige rochas de alta pureza, aumentando o potencial de uso das reservas de matéria-prima existentes no Brasil.

Desse modo, alguns genes envolvidos na solubilização de P já foram identificados e isolados em diferentes espécies de bactérias, gerando perspectivas promissoras em estratégias de manipulação de genes envolvidos na solubilização de fosfato e a geração de estirpes com elevada capacidade de solubilizar fosfato para o uso na agricultura (Rodríguez et al., 2006).

Os solos das áreas agrícolas tropicais geralmente apresentam condição ácida e predomínio de fosfato de ferro (P-Fe) ou estregita (Barroso; Nahas, 2005), existindo relatos de microrganismos do solo que solubilizam formas não disponíveis de P fixado em moléculas de ferro pela produção de sideróforos, que são peptídeos de síntese não ribossômica com altíssima afinidade por ferro produzidos por microrganismos (Simionato et al., 2010). Estas substâncias orgânicas podem atuar no biocontrole de patógenos e na captação de ferros complexos fosfatados no solo (Barroso; Nahas, 2005).

Atualmente, para culturas de grãos como o milho, no caso do fósforo, alguns produtos fertilizantes já têm sido comercializados e utilizados em vários países, como Canadá, Austrália, Egito e Índia, a partir da mistura de fosfato de rocha, microrganismos solubilizadores e uma fonte de carbono, como resíduos de cana, mandioca, entre outros. Estes produtos têm sido usados extensivamente na agricultura destes países com resultados positivos (Khalil et al., 2002).

Conforme citado anteriormente, para garantir a produção agrícola, também é necessário corrigir o teor de K no solo por meio da adição de fertilizantes, principalmente na forma de cloreto de potássio (KCl), aumentando os custos de produção. Entretanto, muitos microrganismos do solo apresentam capacidade de solubilizar o K contido em minerais (Meena et al., 2014; Zhang; Kong, 2014). Algumas pesquisas também têm avaliado estratégias para aumentar a solubilidade de K do pó de rochas a partir de microrganismos solubilizadores de K (MSK) para aumento do suprimento deste nutriente em diversas culturas (Basak; Biswas, 2008; Lopes-Assad et al., 2010; Santos, 2013; Zhang; Kong, 2014). Inúmeros trabalhos têm demonstrado o potencial dos microrganismos na liberação de K no sistema solo-planta, promovendo um maior desenvolvimento em várias culturas vegetais (Basak; Biswas, 2008; Alves et al., 2010; Verma et al., 2012; Prajapati et al., 2013; Zhang; Kong, 2014). No milho, foi evidenciado o estímulo do crescimento após a inoculação com *Bacillus mucilaginosus* em cultivo em solo adicionado de mica. Além disso, foi constatado um maior acúmulo de biomassa e maior conteúdo de K nas plantas nos tratamentos inoculados com esta estirpe bacteriana (Singh et al., 2010). Sendo assim, pesquisadores têm considerado que a prospecção de microrganismos capazes de solubilizar K e/ou P pode contribuir para o suprimento deste nutriente às plantas (Zorb et al., 2014), com baixo custo econômico e ambiental e, conseqüentemente, contribuindo para a competitividade da agropecuária brasileira.

Seleção de espécies e fatores que afetam a eficácia de biofertilizantes: da bancada à produção em escala e estabilidade no campo

Os processos de seleção de microrganismos ideais para formulação de inoculantes envolvem o isolamento e a identificação do gênero ou espécie principal responsável pela promoção do crescimento em cada espécie de planta e, conseqüentemente, de estirpes que apresentem boa taxa de sobrevivência, adaptação e multiplicação na rizosfera, infecção e colonização da planta hospedeira (Sathya et al., 2016a; Gomes et al., 2016). Portanto, ao usar esse recurso natural, devem ser observados alguns aspectos, tais como a compatibilidade das estirpes a serem utilizadas com a cultura-alvo e a identificação correta da estirpe utilizada, não só por técnicas morfológicas, mas também por técnicas moleculares, procurando a biossegurança necessária para aqueles que irão utilizar a tecnologia desenvolvida (Sathya et al., 2016b).

No solo, o bioinoculante encontra resposta imediata da microflora nativa de cada solo ao seu estabelecimento. Estas respostas variam dependendo das bactérias utilizadas no inoculante, a sua densidade, espécie de planta, tipo de solo, e também as condições ambientais (Bashan, 1998). Para superar tais respostas e apoiar a sobrevivência, o inoculante microbiano precisa de um nicho vazio, o que é muito difícil em terras agrícolas, exceto solo estéril. Essa pressão negativa exercida pelo ecossistema ao estabelecimento pode resultar em rápida baixa na população de inoculantes (Patil; Solanki, 2016).

A escolha dos veículos que irão compor a formulação também é fundamental para a sobrevivência e qualidade do inoculante. Eles podem ser agrupados em veículos do solo, material inerte e resíduos de fábrica de subprodutos e indústria. A maioria deve ser recursos naturalmente abundantes ou de resíduos disponíveis.

Polímeros biodegradáveis têm sido apontados como veículos ecologicamente seguros, por serem degradados pela ação de microrganismos sem causar danos ao meio ambiente. As aplicações tecnológicas desses materiais normalmente requerem melhorias em suas propriedades mecânicas. Alguns polímeros promovem o encapsulamento das células, liberando-as após a degradação do material no ambiente e protegendo as células contra estresses ambientais, podendo, assim, favorecer a multiplicação e sobrevivência das células, quando aplicados ao solo. Vários estudos têm relatado que o melhor tipo de veículo para uma bactéria não é necessariamente o melhor para o outro (Silva et al., 2012). Esse dado reforça a necessidade do desenvolvimento de um produto completo (estirpe-veículo-aplicação) para o sucesso comercial de um bioinoculante.

O processo de produção do inoculante é chave para um produto final de alta qualidade (Bashan et al., 2014), pois existe uma relação direta entre a densidade da população da cultura-mãe e a qualidade dos produtos finais (Stephens; Rask, 2000). Vulgarmente, o inóculo é formado de uma estirpe. No entanto, o conhecimento das relações complexas entre os microrganismos da rizosfera promoveu o estudo sobre inoculantes compostos por mais de um microrganismo, revelando resultados promissores em plantas não leguminosas como o milho (Malusà et al., 2007; Wu et al., 2005), promovendo uma redução de aplicação de fertilizantes de até 50% (Singh; Adholeya, 2013). O sucesso de consórcios microbianos tem sido relatado por estudos envolvendo o uso de inoculantes produzidos a partir da mistura de MSP e MSK (Han; Lee 2005; Vassilev et al., 2006), podendo alcançar, em um mesmo inoculante, a liberação desses dois macronutrientes.

No caso do milho, para garantir a produtividade de grãos é consumido, em média, numa única colheita, o equivalente a 33% de todo o P disponível, e para cada tonelada de grãos de milho, exporta-se 15 kg de N. Como é difícil alterar a velocidade do ciclo biogeoquímico destes elementos, no sentido de aumentar significativamente a taxa de formação de solo, torna-se necessário repor estes nutrientes retirados pela colheita dos grãos de outra forma. O método predominantemente adotado pela agricultura moderna consiste na adubação química. Entretanto, uma das maneiras de retornar nutrientes ao solo, dentro do conceito da sustentabilidade, é o uso de inoculantes à base de microrganismos (Oliveira et al., 2013). Segundo dados de empresas de inoculantes estrangeiras, o aumento de produção de grãos fica em torno de 6% (sete bushel de milho), com o milho custando U\$ 5,00 o 'bushel' e um custo de inoculação de U\$ 5,63 o acre, o retorno para a cultura com a utilização do inoculante pode chegar a U\$ 42,37 dólares por acre. Considerando-se o baixo custo do inoculante em termos de valor de mercado e seu papel ambiental, o uso de inoculantes à base de MPCP em milho se torna uma prática cada vez mais viável e promissora dentro do contexto da agricultura sustentável. Assim, o uso de metodologias eficientes na seleção de microrganismos e produção de inoculantes para a cultura do milho é algo emergente dentro do sistema de produção desta cultura.

Referências

- ALVES, G. C. **Efeitos da inoculação de bactérias diazotróficas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Burkholderia* em genótipos de milho**. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- ALVES, L.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO, G. N. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 3, p. 676-684, 2010.
- ARAÚJO, W. L.; LACAVALA, P. T.; MARCON, J.; LIMA, A. O. S.; SOBRAL, J. K.; PIZZIRANI-KLEINER, A. A.; AZEVEDO, J. L. **Guia prático: isolamento e caracterização de microrganismos endofíticos**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2010. v. 1, 167 p.
- BACON, C. W.; HINTON, D. M. In planta reduction of maize seedling stalk lesions by the bacterial endophyte *Bacillus mojavensis*. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 57, n. 6, p. 485-492, 2011.
- BADRI, D. V.; VIVANCO, J. M. Regulation and function of root exudates. **Plant Cell Environment**, v. 32, n. 6, p. 666-681, 2009.
- BAGYARAJ, D. J.; SHARMA, M. P.; MAITI, D. Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science**, v. 108, n. 7, p. 1288-1293, 2015.
- BASAK, B. B.; BISWAS, D. R. Influence of potassium solubilizing microorganism (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake dynamics by sudan grass (*Sorghum vulgare* Pers.) grown under two Alfisols. **Plant and Soil**, v. 317, p. 235-255, 2008.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E.; PRABHU, S. R.; HERNANDEZ, J. B. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant and Soil**, v. 378, p. 1-33, 2014.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, p. 521-577, 2004.

BASHAN, Y. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. **Biotechnology Advances**, v. 16, n. 4, p. 729-770, 1998.

BAREA, J. M.; POZO, M. J.; AZCON, R.; AZCON-AGUILAR, C. Microbial co-operation in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1761-1778, 2005.

BARROSO, C. B.; NAHAS, E. Solubilização do fosfato de ferro em meio de cultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 529-535, 2008.

BEVIVINO, A.; DALMASTRI, C.; TABACCHIONI, S.; CHIARINI, L. Efficacy of *Burkholderia cepacia* MCI in disease suppression and growth promotion of maize. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, n. 3/4, p. 225-231, 2000.

BODDEY, R. M.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Effect of inoculation of *Azospirillum* spp. on the nitrogen accumulation of field-grown wheat. **Plant and Soil**, v. 95, p. 109-121, 1986.

DALLA SANTA, O. R.; SOCCOL, C. R.; RONZELLI, P.; HERNÁNDEZ, R. F.; ALVAREZ, G. L. M.; DALLA SANTA, H. S.; PANDEY, A. Effects of inoculation of *Azospirillum* sp. in maize seeds under field conditions. **Food, Agriculture and Environment**, v. 2, p. 238-242, 2004.

DOBELAERE, S.; CROONENHORGHS, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; VANDERLEY-DEN, J.; DUTTO, P.; LAVANDERA-GONZALEZ, C.; CABALLERO-MELLADO, J.; AGUIRRE, J. F.; KAPULNIK, Y.; BRENER, S.; BURDMAN, S.; KADOURI, D.; SARIG, S.; OKON, Y. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 871-879, 2001.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, 1., 1976, Washington. **Proceedings...** Washington: Washington State University Press, 1976. p. 518-538.

DÖBEREINER J. Fixação de nitrogênio atmosférico em gramíneas tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 15., Campinas. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 593-602.

DÖBEREINER, J. Nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, p. 83-90, 1984.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. **Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants.** Madison: Springer, 1987.

GOVINDARANJAN, M.; BALANDREAU, J.; KWON, S.-W.; WEON, H. Isolation, molecular characterization and growth-promoting activities of endophytic sugarcane diazotrophic *Klebsiella* sp. GR9. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 23, n. 7, p. 997-1006, 2007.

FIGUEIREDO, M. V. B.; SELDIN, L.; ARAÚJO, F. F. de; MARIANO, R. L. R. Plant growth promoting rhizobacteria: fundamentals and applications. In: MAHESHWARI, D. K. (Ed.). **Plant growth and health promoting bacteria.** Heidelberg: Springer, 2010. p. 21-43. (Microbiology Monographs, 18).

GADD, G. M. Fungal production of citric and oxalic acid: importance in metal speciation, physiology and biogeochemical processes. **Advances in Microbial Physiology**, v. 41, p. 47-92, 1999.

GARCIA DE SALOMONE, I. E.; DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the ¹⁵N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, v. 23, p. 249-256, 1996.

GYANESHWAR, P.; KUMAR, G. N.; PAREKH, L. J.; POOLE, P. S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plant. **Plant and Soil**, v. 245, n. 1, p. 83-93, 2002.

GOLDSTEIN, A.; LESTER, T.; BROWN, J. Research on the metabolic engineering of the direct oxidation pathway for extraction of phosphate from ore has generated preliminary evidence for PQQ biosynthesis in *Escherichia coli* as well as a possible role for the highly conserved region of quinoprotein dehydrogenases. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics**, v. 1647, p. 266-271, 2003.

GOMES, E. A.; SILVA, C. U.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA, C. A.; LANA, U. P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, p. 69-81, 2014.

GOMES E. A.; SILVA C. U.; OLIVEIRA C. A.; LANA U. P.; MARRIEL I. E.; SANTOS, V. L. **Microrganismos promotores do crescimento de plantas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 51 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 208).

HALLMANN, J.; QUADT-HALLMANN, A.; MAHAFFEE, W. F.; KLOEPPER, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 895-914, 1997.

HAMEEDA, B.; HARINI, G.; RUPELA, O.; WANI, S.; REDDY, G. Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, v. 163, p. 234-242, 2008.

HAN, H. S.; LEE, K. D. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability and growth of eggplant. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 1, n. 2, p. 176-180, 2005.

HARDOIM, P. L.; HARDOIM, C. P. C.; OVERBEEK, L. S. V.; ELSAS, J. D. V. Dynamics of seed-borne rice endophytes on early plant growth stages. **PLoS One**, v. 7, n. 2, p. 30438, 2012.

HARDOIM, P. R.; VAN OVERBEEK, L. S.; VAN ELSAS, J. D. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. **Trends in Microbiology**, v. 16, p. 463-471, 2008.

HARTMANN, A.; SCHMID, M.; VAN TUINEN, D.; BERG, G. Plant-driven selection of microbes. **Plant and Soil**, v. 321, p. 235-257, 2009.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1/2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 325).

KHALIL, S.; ZIA, M. S.; MAHMOOD, I. A. Biophos Influence on P availability from rock phosphate applied to rice (*Oryza sativa* L.) with various amendments. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 4, n. 2, p. 272-274, 2002.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 27, p. 29-43, 2007.

LOPES-ASSAD, M.; AVANSINI, S. H.; ROSA, M. M.; CARVALHO, J. R. P.; ANTONINI, S. R. C. The solubilization of potassium-bearing rock powder by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 56, n. 7, p. 598-605, 2010.

MAHAMUNI, S. V.; WANI, P. V.; PATIL, A. S. Isolation of phosphate solubilizing fungi from rhizosphere of sugarcane and sugar beet using TCP and RP solubilization. **Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research**, v. 2, p. 2231-2560, 2012.

MALIK, K. A.; BILAL, R.; MEHNAZ, S.; RASUL, G.; MIRSA, M. S.; ALI, M. S. Association of nitrogen-fixing, plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with kallar grass and rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 194, p. 37-44, 1997.

MALUSÀ, A.; PINZARI, E.; CANFORA, F. Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. In: SINGH, D.; SINGH, H.; PRABHA, R. (Ed.). **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**. New Delhi: Springer, 2016. v. 2, p. 17-40.

MALUSÀ, E.; SAS-PASZT, L.; POPINSKA, W.; ZURAWICH, E. The effect of a substrate, containing arbuscular mycorrhizal fungi, and rhizosphere microorganisms (*Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Streptomyces*), and foliar fertilization on growth response and rhizosphere pH of three strawberry cultivars. **International Journal of Fruit Science**, v. 6, p. 25-41, 2007.

MANZOOR, M.; KALEEM ABBASI, M.; SULTAN, T. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from maize rhizosphere and their potential for rock phosphate solubilization–mineralization and plant growth promotion. **Geomicrobiology Journal**, v. 34, n. 1, p. 81-95, 2017.

MARRIEL, I. E.; ADELÁRIO, F. M. S.; BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. A. N.; SILVA, U. C.; GUIMARAES, L. J. M. Variação da atividade de arginase e urease na rizosfera de genótipos de milho contrastantes no uso de nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. **Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras**. [Londrina]: IAPAR; [Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; VILELA, L.; PINTO, T. L. F.; TEIXEIRA, G. M.; MANZONI, C. S.; BARIONI, L. G. Perdas de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com ureia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 2240-2247, 2004.

MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P. **Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils?** **Microbiological Research**, v. 169, n. 5/6, p. 337-347, 2014.

MONTAÑEZ, A.; BLANCO, A. R.; BARLOCCO, C.; BERACOCHEA, M.; SICARDI, M. Characterization of cultivable putative endophytic plant growth promoting bacteria associated with maize cultivars (*Zea mays* L.) and their inoculation effects in vitro. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 21-28, 2012.

NAHAS, E.; FORNASIERI, D. J.; ASSIS, L. C. Resposta à inoculação de fungo solubilizador de fósforo em milho. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 3, p. 463-469, 1994. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161994000300014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 14 jun. 2018.

NAVARRO, B.; RUSSO, M.; PANTALEO, V.; RUBINO, L. Cytological analysis of *Saccharomyces cerevisiae* cells supporting cymbidium ringspot virus defective interfering RNA replication. **Journal of General Virology**, v. 87, n. 3, p. 705-714, 2006.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARAES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, C. A. de; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; SANTOS, F. C. dos; OLIVEIRA, M. C.; ALVES, V. M. C. **Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 88).

OGBO, F. C. Conversion of cassava wastes for biofertilizer production using phosphate solubilizing fungi. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 4120-4124, 2010.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, p.1591-1601, 1994.

PATIL, H. J.; SOLANKI, M. K. Microbial inoculant: modern era of fertilizers and pesticides. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity: research perspectives**. Maunath Bhanjan: Springer, 2016. v. 1, p. 319-343.

PRAJAPATI, K.; SHARMA, M. C.; MODI, H. A. Growth promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on *Abelmoscus esculantus*. **International Journal of Agricultural Science and Research**, v. 3, n. 1, p. 181-188, 2013.

RICHARDSON, A. E.; BAREA, J. M.; MCNEILL, A. M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, p. 305-339, 2009.

RICHARDSON, A. E.; HADOBAS, P. A.; HAYES, J. E.; O'HARA, C. P.; SIMPSON, R. J. Utilization of phosphorus by pasture plants supplied with *myo*-inositol hexaphosphate is enhanced by the presence of soil microorganisms. **Plant and Soil**, v. 229, p. 47-56, 2001.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. Plant Physiology, v. 156, n. 3, p. 989-996, 2011.

RODRÍGUEZ, R.; VASSILEV, N.; AZCÓN, R. Increases in growth and nutrient uptake of alfalfa grown in soil amended with microbially-treated sugar beet waste. **Applied Soil Ecology**, v. 11, p. 9-15, 1999.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.; GONZALEZ, T.; BASHAN, Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. **Plant and Soil**, v. 287, p. 15-21, 2006.

SAIKIA, S. P.; JAIN, V. Biological nitrogen fixation with non-legumes: an achievable Target or a dogma? **Current Science**, v. 92, n. 3, p. 317-322, 2007.

GARCIA DE SALOMONE, I. E.; DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the ¹⁵N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, v. 23, p. 249-256, 1999.

SANTOS, B. M. Effects of preplant potassium sources and rates for tomato production. **HortTechnology**, v. 23, n. 4, p. 449-452, 2013.

SILVA, M. F. da; SOUZA, A. C. de; OLIVEIRA, P. J. de. Survival of endophytic bacteria in polymer-based inoculants and efficiency of their application to sugarcane. **Plant and Soil**, v. 356, p. 231-243, 2012.

SIMIONATO, A. V. C.; SILVA-STENICO, M. S.; TSAI, S. M.; CARRILHO, E. Evidences of siderophores synthesis by grapevine *Xylella fastidiosa*, causal agent of pierce's disease, through instrumental approaches. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, p. 635-641, 2010.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. E. R. S.; DIAS, S. H. L. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugar cane yield and nutrient uptake in a brazilian soil. **Geomicrobiology Journal**, v. 23, n. 5, p. 261-265, 2006.

SATHYA, A.; VIJAYABHARATHI, R.; GOPALAKRISHNAN, S. Soil microbes: the invisible managers of soil fertility. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. (Ed.). **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity: functional application**. Maunath Bhanjan: Springer, 2016a. v. 2, p. 1-16.

SATHYA, A.; VIJAYABHARATHI, R.; SRINIVAS, V.; GOPALAKRISHNAN, S. Plant growth-promoting actinobacteria on chickpea seed mineral density: an upcoming complementary tool for sustainable biofortification strategy. **3 Biotech**, v. 6, n. 2, p. 138, 2016b.

SHRESTHA, R. K.; LADHA, J. K. Genotypic variation in promotion of rice nitrogen fixation as determined by nitrogen ¹⁵N dilution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 6, p. 1815-1821, 1996.

SINGH, G.; BISWAS, D. R.; MARWAHA, T. S. Mobilization of potassium from waste mica by plant growth promoting rhizobacteria and its assimilation by maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum* L.): a hydroponics study under phytotron growth chamber. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 8, p. 1236-1251, 2010.

SINGH, H.; REDDY, S. M. **Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils**. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 1, p. 30-34, 2011.

SINGH, R.; ADHOLEYA, A. Diversity of AM (Arbuscular mycorrhizal) fungi in wheat agro-climatic regions of India. **Virology & Mycology**, v. 2, n. 2, p. 1-9, 2013.

STEPHENS, J. H. G.; RASK, H. M. Inoculant production and formulation. **Field Crops Research**, v. 65, p. 249-258, 2000.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J.; MÓGOR, A. F.; FIGUEIREDO, G. G. O. Strategies for characterization of agriculturally important bacteria. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity: research perspectives**. Maunath Bhanjan: Springer, 2016. v. 1, p. 1-21.

TSAVKELOVA, E. A.; KLIMOVA, S. Y.; CHERDYNTSEVA, T. A.; NETRUSOV, A. I. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 42, p. 117-126, 2006.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 105-114, 1992.

VASSILEVA, M.; SERRANO, M.; BRAVO, V.; JURADO, E.; NIKOLAEVA, I.; MARTOS, V.; VASSILEV, N. Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, n. 5, p. 1287-1299, 2010.

VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCÓN, R.; VASSILEVA, M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant and Soil**, v. 287, p. 77-84, 2006.

VASSILEV, N.; MENDES, G.; COSTA, M.; VASSILEVA, M. Biotechnological tools for enhancing microbial solubilization of insoluble inorganic phosphates. **Geomicrobiology Journal**, v. 31, p. 751-763, 2014.

VERMA, J. P.; YADAV, J.; TIWARI, K. N. Enhancement of nodulation and yield of chickpea by co-inoculation of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth-promoting rhizobacteria in Eastern Uttar Pradesh. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 43, p. 605-621, 2012.

ZHANG, C.; KONG, F. Isolation and identification of potassium- solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants. **Applied Soil Ecology**, v. 82, p. 18-25, 2014.

ZOPPELLARI, F.; MALUSÀ, E.; CHITARRA, W.; LOVISOLO, C.; SPANNA, F.; BARDI, L. Improvement of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) by selected rhizospheric microorganisms. **Italian Journal of Agrometeorology**, v. 18, n. 1, p. 5-18, 2014.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, v. 69, p. 99-151, 1999.

WU, S. C.; CAO, Z. H.; LI, Z. G.; CHEUNG, K. C.; WONG, M. H. Effects of biofertilizer containing N-fixing, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, v. 125, p. 155-166, 2005.

Literatura Recomendada

FAYE, A.; DALPÉ, Y.; NDUNG'U-MAGIROI, K.; JEFWA, J.; NDOYE, I. D.; LESUEUR, D. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants on maize in Kenya. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 93, p. 1201-1208, 2013.

LEGGETT, M.; CROSS, J.; HNATOWICH, G.; HOLLOWAY, G. Challenges in commercializing a phosphate-solubilizing microorganism: *Penicillium bilaiae*, a case history In: VELÁZQUEZ, E.; RODRIGUEZ-BARRUECO, C. (Ed.). **First international meeting on microbial phosphate solubilization**. Berlin: Springer, 2007. p. 215-222.

LÓPEZ-ORTEGA, M. P.; CRIOLLO-CAMPOS, P. J.; GÓMEZ-VARGAS, R. M.; CAMELO-RUSINQUE, M.; ESTRADA-BONILLA, G.; GARRIDO-RUBIANO, M. F.; BONILLA-BUITRAGO, R. Characterization of diazotrophic phosphate solubilizing bacteria as growth promoters of maize plants. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 15, n. 2, p. 115-123, 2013.

MARTINS, R. T. M. C.; BORGES, A. K. P.; ARMIATO, A. M.; PIMENTA, R. S. Comunidade de fungos endofíticos associados a planta etnomedicinal amazônica *Bellucia grossularioides* (L) Trianna e

avaliação de suas propriedades antimicrobianas. **Revista Desafios**, v. 3, n. 2, p. 112-122, 2016. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/2889/9378>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MOHAMED, A. A.; EWEDA, W. E. E.; HEGGO, A. M.; HASSAN, E. A. Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulphur-oxidising bacteria on onion (*Allium cepa* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in sandy soil under green house conditions. **Annals of Agricultural Science**, v. 59, p. 109-118, 2014.

SINGH, S. K.; RAJA REDDY, K. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B**, v. 105, n. 1, p. 40-50, 2011.

SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. (Ed.). **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**: functional application. Maunath Bhanjan: Springer, 2016. v. 2, 308 p.

SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. (Ed.). **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**: research perspectives. Maunath Bhanjan: Springer, 2016. v. 1, 343 p.

Embrapa

Milho e Sorgo

DOCUMENTOS 227



Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE 14835

