



TENDENCIAS MODERNAS EN LA FERTILIZACIÓN EFICIENTE DEL CAFETO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉS ESPECIALES

Francisco E. Restrepo Higueta ¹ ✉

¹Gerente de Innovación y Desarrollo. Mejisulfatos, Itagui, Colombia.

✉: francisco.restrepo@mejisulfatos.com

Palabras clave:
fertilizantes, silicio, análisis, cafés especiales.

RESUMEN

La producción de cafés especiales se ha convertido en la nueva estrategia de competitividad de la caficultura colombiana. Su diferenciación radica en los sabores de la bebida, sin defectos que pueden adquirirse desde la producción en campo por malas prácticas agrícolas, entre las cuales se incluye la inadecuada nutrición. Para lograr una adecuada nutrición y mayor eficiencia en la asimilación de los nutrientes, la industria de fertilizantes ha desarrollado nuevas tecnologías que permiten la liberación "controlada" de los nutrimentos, reduciendo su solubilidad inmediata. Los nuevos enfoques de nutrición están dirigidos hacia la agricultura de precisión, manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE), por lotes, con distintos grados y dosis de fertilizantes. Bajo este enfoque, el análisis del suelo es la mejor alternativa para determinar las necesidades de fertilización y entregar a la planta los nutrientes en forma oportuna, de modo que la fertilización resulte más efectiva y económica, propendiendo además por la sostenibilidad ambiental. Para ello es indispensable que dicho instrumento esté debidamente calibrado de modo que su interpretación sea adecuada. De acuerdo con las caracterizaciones de los suelos de las distintas regiones cafeteras de Colombia, existe alta probabilidad de respuesta del café a las aplicaciones de correctivos de acidez, así como a las enmiendas orgánicas, al nitrógeno, potasio, calcio y magnesio como nutrimentos, mientras que la probabilidad de respuesta al fósforo y al azufre es media. En relación con micronutrientes, se tiene alta probabilidad de respuesta a la aplicación de boro. Se ha encontrado que la aplicación de silicio en café, mejora el enraizamiento y reduce la incidencia de mancha de hierro en almácigos, incrementa la producción, reduce los ataques de broca y la incidencia de roya, y puede mejorar significativamente la acidez, balance y cuerpo de la bebida de café en algunas variedades.

MODERN TRENDS IN FERTILIZATION CAFETO EFFICIENT PRODUCTION FOR SPECIAL COFFEES

Key words:
FALTAN PALABRAS
CLAVE EN INGLES.

SUELOS
ECUATORIALES
45 (2): 84-93

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

The production of specialty coffees has become the new strategy of competitiveness of the Colombian coffee industry. Its differentiation lies in the flavors of the drink, without defects that can be acquired from the field production by bad agricultural practices, among which include the inadequate nutrition. To achieve adequate nutrition and greater efficiency in the assimilation of nutrients, the fertilizer industry has developed new technologies that allow the "controlled" release of nutrients, reducing their immediate solubility. New approaches to nutrition are directed toward precision farming, site-specific nutrient management (MNSE), in batches, with varying degrees and doses of fertilizer. Under this approach, soil analysis is the best alternative for determining fertilization needs and delivering nutrients to the plant in a timely manner, so that fertilization becomes more effective and economical, and also promotes environmental sustainability. To do this, it is essential that the instrument be properly calibrated so that its interpretation is adequate. According to the characterization of the soils of the different coffee regions of Colombia, there is a high probability of coffee response to acidity corrective applications, as well as to organic, nitrogen, potassium, calcium and magnesium amendments as nutrients, while that the probability of response to phosphorus and sulfur is average. In relation to micronutrients, there is a high probability of response to the application of boron. It has been found that the application of silicon in coffee improves rooting and reduces the incidence of iron spot in seedlings, increases yield, reduces drill attacks and incidence of rust, and can significantly improve acidity, balance and body of the coffee drink in some varieties.

Rec.: 19.08.2015

Acep.: 20.09.2015

INTRODUCCIÓN

El café es el principal producto agrícola comercializado en el mundo, y fuente importante de divisas para la mayoría de países de América Latina. La producción de cafés especiales se ha vuelto tendencia en los distintos países productores, y su diferenciación radica en los sabores de la bebida, que en muchas ocasiones son generados mediante la aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo, y de buenas prácticas de manufactura en las distintas etapas del beneficio, con las cuales pueden prevenirse los defectos y mejorar la consistencia y la calidad del café.

Los defectos del café se presentan cuando los granos o la bebida carecen de las cualidades propias y esperadas del producto. Varios de esos defectos se pueden originar desde el campo de cultivo, por fallas en la nutrición o por ataques de plagas y enfermedades, aunque la mayoría de defectos se originan en la etapa de beneficio del café. En el lenguaje de calidad de alimentos, el término defecto hace referencia a desviaciones y al producto no conforme. Los defectos del café dañan el aspecto físico de los granos, generan aromas y sabores desagradables en la bebida u ocasionan pérdida de su inocuidad. (Puerta, 2015).

El reto de la producción mundial de alimentos se basa en la necesidad de los mismos, dado el gran crecimiento poblacional. La población mundial pasó de 3 a 7 millardos desde 1960 a la fecha, mientras que el consumo de cereales y carne per cápita aumentó un 80% y 100% respectivamente en el mismo periodo. Todavía uno de cada seis seres humanos está crónicamente hambriento, aunque esto es aún más escandaloso por la concentración del hambre por regiones del mundo. Es lamentable observar que las metas del Banco Mundial en su proyecto del milenio en reducción del hambre no se van a cumplir. En el año 2040, es necesario producir el doble de alimentos de lo que se produce hoy en el mundo. (Jaramillo, 2014).

Ante estos nuevos retos de incrementar la producción de alimentos, y para lograr ser competitivo en los negocios agrícolas, es indispensable hacer uso de correctivos de acidez, acondicionadores de propiedades físicas y de fertilizantes de síntesis. No obstante, debe tenerse claro que la selección de fuentes de fertilizantes y enmiendas edáficas es un paso esencial, pero no suficiente para asegurar altos rendimientos. Si existen fallas en el manejo agronómico del cultivo, los fertilizantes en sí mismos no pueden “corregir” los problemas generados por otro tipo de prácticas o labores culturales descuidadas. La fertilización es una práctica costosa, pero arroja una alta relación beneficio/costo. Para obtener una buena respuesta a la fertilización, es necesario que las otras prácticas de manejo sean las adecuadas y que las

condiciones ambientales sean también favorables. (Restrepo y Suarez, 2003; Jaramillo, 2014).

Es necesario fertilizar los cultivos de una manera racional, efectiva y segura, de manera que se logre además la sostenibilidad ambiental y económica del sector agrícola. Para estos fines, los análisis de suelos se convierten en un importante instrumento para encontrar las dosis y fórmulas de fertilizantes más económicas. No obstante, para que el instrumento del análisis de suelos cumpla su cometido, es indispensable que esté debidamente calibrado lo cual garantizará que su interpretación sea adecuada (Lazcano–Ferrat 2005).

En el caso de la caficultura colombiana, esta calibración detallada se dificulta por varias razones, especialmente debido a la gran variabilidad que presentan los suelos de la zona cafetera. Gran parte de ellos no han alcanzado el equilibrio con el medio ambiente o *madurez del suelo*. La mayoría son suelos jóvenes pertenecientes a los órdenes Inceptisol, Entisol y Andisol, en los cuales las propiedades heredadas del material parental juegan aún un papel fundamental en la determinación de las propiedades químicas, físicas y biológicas. En consecuencia, el análisis de las características heredadas de la roca madre es fundamental para la definición del uso potencial y de las prácticas de manejo adecuadas para cada tipo de suelo (Restrepo y Suárez, 2003).

Suelos dedicados al cultivo de Café en Colombia:

Los suelos de la zona cafetera colombiana se caracterizan por su gran diversidad, ya que la mayoría son suelos jóvenes, en los cuales las propiedades heredadas del material parental juegan aún un importante papel en la determinación de las propiedades químicas, físicas y biológicas. Esta característica confiere una gran variabilidad espacial y diversidad de suelos. Sin embargo, gran parte de estos suelos han estado sometidos a condiciones de alta pluviosidad, lo cual acelera los procesos de meteorización, acidificación y lavado de bases, lo cual también es muy variable entre regiones y tipos de suelos.

Tales condiciones climáticas y edáficas han llevado a que cerca del 80% de los suelos cafeteros del país presenten problemas de acidez, asociada con problemas de: baja capacidad de intercambio de cationes (CIC), bajo pH, alta saturación de aluminio tóxico (Al^{3+}), altos niveles de Hidrógeno (H^+), Hierro (Fe^{2+}) y Manganeseo (Mn^{2+}); alta Fijación de Fosfatos (P), bajos contenidos de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Silicio (Si), Boro (B) y Zinc (Zn). Esto en resumen se puede expresar como una baja fertilidad natural.

De otro lado, debido a las prácticas de manejo y las altas dosis de fertilizantes potásicos empleadas

tradicionalmente para el cultivo de café en producción, muchos suelos presentan altas saturaciones de potasio, e inducen a deficiencias de magnesio severas, que deben ser corregidas para lograr el adecuado desarrollo y productividad del cultivo. De no corregirse tales deficiencias, los árboles se defolían y no logran sostener la productividad año tras año, aspecto vital para la competitividad y sostenibilidad de la caficultura. En general, los desbalances de macro y micro-nutrientes resultan en alteraciones en los procesos fisiológicos, bioquímicos, y/o metabólicos, los cuales afectan el crecimiento, productividad, calidad y sostenibilidad del cultivo. (Restrepo, 2006).

En estas condiciones, los elementos indispensables para la nutrición del café no son suficientes y se hace necesario agregarlos en formas de abonos orgánicos o de síntesis química. Además, debe tenerse en cuenta que los requerimientos nutricionales para cada lote dependen de las necesidades del cultivo allí establecido para desarrollar sus estructuras vegetativas y llenar la cosecha. Por esto es fundamental realizar siempre un análisis de suelos, que permita conocer los niveles de todos y cada uno de los nutrientes en el lote específico, así como la cantidad necesaria de cada uno y poder definir el tipo de fertilizantes a aplicar y la dosis requerida.

El cultivo de café extrae del suelo cantidades significativas de nutrientes en las diferentes etapas de desarrollo. El conocimiento de estos requerimientos es fundamental para construir los planes de fertilización y lograr la nutrición adecuada y eficiente para obtener los objetivos planteados. En el almácigo exige un buen sustrato, con adecuada aireación, retención de humedad y suministro de fósforo y de silicio. Durante la etapa de levante, es especialmente exigente en nitrógeno y fósforo, mientras que durante la etapa de producción, los elementos más demandados son el nitrógeno y el potasio, sin descuidar el indispensable balance nutricional integral.

Existen diferentes herramientas diagnósticas que se pueden utilizar para determinar la deficiencia o suficiencia de los diferentes nutrientes en el suelo y cultivo; entre ellas pueden mencionarse los análisis de suelos, análisis foliares, diagnóstico de síntomas de deficiencia y variables de crecimiento. El análisis de suelo también es clave para ahorrar dinero y optimizar la inversión. No obstante, es indispensable tener una adecuada calibración de los análisis frente a las respuestas del cultivo a cada uno de los elementos. Dentro de la estructura de costos de la caficultura, la fertilización representa aproximadamente el 20%. Conocer exactamente los nutrientes que el cultivo necesita reduce costos y permite seleccionar la opción

más económica, entre las distintas alternativas y tipos de mezclas de fertilizantes. (FNC, Pergamino, 2015).

En general, CENICAFE recomienda realizar dos fertilizaciones al año para cafetales en producción; cada una dos meses antes de la travesía y de la cosecha principal, período en el cual se presenta el mayor requerimiento de nutrientes para el llenado de los frutos. Además, recomiendan aplicar fertilizantes dependiendo del sistema de producción del cafetal, según densidad de siembra y porcentaje de sombrero. Para cafetales con densidades de siembra altas, superiores a las 7.500 plantas por ha y un nivel de sombra menor al 35%, se deberá aplicar el 100% de la dosis definida por la interpretación del análisis de suelos; esto es, 300 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de N, 260 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de K₂O, 50 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de P₂O₅, 50 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de MgO y 50 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de S. En la medida en que las densidades de siembra disminuyan y los porcentajes de sombrero aumenten, las dosis a aplicar estarán entre el 85% y el 95% de las dosis definidas para cafetales a libre exposición y altas densidades de siembra. La aplicación debe hacerse teniendo presente los períodos lluviosos para potenciar la efectividad de la fertilización. (Sadeghian y Gonzalez, 2012; FNC, Pergamino, 2015)

Manejo de la acidez del suelo:

La acidez del suelo es el principal factor que afecta la disponibilidad de los nutrientes, y su manejo debe adecuarse según la mineralogía del suelo. Las recomendaciones de encalado y acondicionamiento de suelos tropicales (con carga variable) no deben tener como meta simplemente el control del pH. La medida de manejo debe ser mejorar la CIC, la relación de bases, incrementar los niveles de Ca, Mg y S en el suelo y reducir el Al intercambiable. (Jaramillo, 2014).

El manejo de la acidez del suelo debe considerarse como un pre-requisito para una adecuada nutrición de los cultivos, dados los múltiples impactos y su incidencia final sobre la eficiencia en la asimilación de los nutrientes. Con la aplicación de un correctivo compuesto, obtenido de la mezcla balanceada de carbonatos de calcio, silicatos de magnesio, sulfatos de calcio y de magnesio y fosfatos, se logra:

- ✓ Corregir toxicidad de Al, Fe y Mn que afectan el crecimiento de las plantas
- ✓ Ajustar al pH deseado en el perfil del suelo (Hasta la profundidad radical).
- ✓ Aumentar micro-organismos
- ✓ Mejorar propiedades físicas del suelo
- ✓ Aumentar la CIC del suelo
- ✓ Corregir deficiencias de Calcio, Magnesio, Silicio y Azufre

- ✓ Mejorar la disponibilidad de Fósforo y Molibdeno
- ✓ Reducir la lixiviación de Potasio
- ✓ Mejorar la fijación simbiótica de Nitrógeno (Leguminosas)
- ✓ Mejorar la eficiencia de los fertilizantes.

Algunos resultados de campo muestran el impacto del uso de un nutri-correctivo, o enmienda compuesta con cuatro aniones diferentes (carbonatos, silicatos, sulfatos y fosfatos) que ayudan a controlar acidez tanto en superficie como en profundidad, se halogrado impactar el valor de pH del suelo, para mejorar las

condiciones nutricionales del cafeto. En un Oxisol de la altillanura de los Llanos Orientales de Colombia, además del aumento del pH del suelo, se logró incrementar los contenidos de Calcio y Magnesio intercambiables, y se disminuyó el valor de Al intercambiable. En este caso, por cada tonelada del correctivo se incrementó el pH en 0.42 unidades; el Ca y Mg se incrementaron en 1.08 y 0.56 cmolc/kg y el Al se redujo en 0.67 cmolc/kg.

Su efecto es diferencial de acuerdo con el tipo de suelos, el tiempo transcurrido, la cantidad e intensidad de las lluvias en el período de tiempo y otros factores que influyen en la corrección de la acidez del suelo. No obstante, entre otros muchos casos, a modo de ilustración, se registran los cambios de pH en algunas fincas en la tabla 4.

Tabla 4. Efecto de la corrección de acidez con Mejiocorrectio en el cultivo de café en diferentes regiones de Colombia.

FINCA	MUNICIPIO	pH inicial	pH final	Dosis kg/ha	Producción (@/ha) Testigo	Producción (@/ha) Tratado	Dif @	Dif %
Santa Martha	Andes	3.67	4.7	750	120	180	60	50%
La Pavita	C. Bolívar	4.3	5.0	750	150	250	100	67%
La Bogotana	Betania	4.3	5.1	1000	160	270	110	69%
El Roblal	C. Bolívar	4.5	5.2	600	180	280	100	56%
El Portal	Betania	4.5	5.0	650	180	230	50	28%
San Francisco	Oiba	4.06	4.93	750	100	180	80	80%
Lusitania	Garzón	4.3	4.8	400	180	250	70	39%
La Polka	Palestina	4.4	5.1	800	220	350	130	59%
El Jardín	C. Bolívar	4.2	4.8	600	150	220	70	47%

Nuevas tendencias en la fertilización del cafeto.

Los nuevos enfoques de nutrición están dirigidos hacia la agricultura de precisión, manejo por lotes, con distintos grados de fertilizantes y dosis variables de los mismos. Bajo este enfoque, el análisis del suelo es la mejor alternativa técnica y económica para determinar las necesidades de fertilización. Los cultivos, y en general las plantas, requieren una nutrición balanceada y continua, con requerimientos variables según la especie, de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, según la condición climática y la época del año. El rendimiento y los requerimientos de nutrientes varían entre lotes, épocas dentro del año y entre años de producción. En consecuencia, deben adaptarse diferentes condiciones de manejo según la condición propia. De ahí surge el concepto de manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE), el cual se complementa en el manejo de la información detallada. (Jaramillo, 2014).

En ese sentido, y con el ánimo de lograr una mayor eficiencia en la absorción de los distintos elementos, la industria mundial de fertilizantes ha desarrollado nuevas tecnologías que permiten la liberación “controlada” de los elementos nutrientes, reduciendo su solubilidad inmediata en agua, con el fin de reducir sus pérdidas por volatilización, fijación y/o lixiviación, según el caso.

En el caso del Nitrógeno, se han desarrollado varias técnicas y productos como son:

- Gránulos cubiertos por polímeros de diferente naturaleza (URP)
- Inhibidores de la ureasa.
- Inhibidores de la nitrificación.

La urea recubierta por polímeros (URP), es comercialmente conocida con nombres como “Agrocote”. Con esta tecnología, la liberación del N es controlada por difusión. Los principales factores que afectan la liberación en este caso son: el grosor y

naturaleza de la cobertura de polímero, la humedad y la temperatura. El mecanismo consiste en que el N está protegido al interior del gránulo por la capa del polímero, el N se disuelve dentro del gránulo, sale a través del polímero y es liberado a la solución del suelo de manera progresiva y controlada. De esta manera, se pueden reducir las pérdidas por volatilización del amoníaco y por lixiviación del amonio o de los nitratos.

Por otro lado, los inhibidores de la ureasa controlan el proceso de la hidrólisis de la urea, de modo que la transformación más lenta de la urea a N amoniacal puede reducir significativamente la volatilización de NH_3 . Entre los inhibidores de la ureasa, uno de los más utilizados en el mundo es el N-Butyl – Triamida Tio–Fosfórica (NBPT), con el cual se ha encontrado un incremento significativo en la recuperación aparente de N en algodón, por ende, una mayor eficiencia agronómica (EA). Esta es su forma de acción resumida. (Jaramillo, 2014).



Estudios adelantados por CENICAFE donde se evaluaron las pérdidas de N amoniacal por volatilización, se encontró que éstas dependen de la mineralogía de los suelos, y que pueden llegar hasta el 35% del N aplicado en condiciones normales. Estas pérdidas son considerables, y ocurren especialmente en los primeros 5 días con las máximas tasas de volatilización, llegando a valores de 23% para la estación experimental central Naranjal (Chinchiná – Caldas, Colombia) y 27% en condiciones de la estación experimental de Paraguaicito (Quindío, Colombia). Así mismo, reportan que tales pérdidas pueden reducirse a sólo un 5% al 10% cuando se utilizan productos como la URP, o con inhibidores de la ureasa como los descritos. (Leal *et al.* 2006, Gonzalez *et al.* 2015).

El manejo de las fuentes de N tiene mucho que ver con la naturaleza de las mismas y con el clima, especialmente con la humedad del suelo y el balance hídrico. En general, en temporadas cuando se espera poca lluvia y altas temperaturas, pueden ser preferibles los nitratos sobre la urea, para evitar las pérdidas por volatilización. Por el contrario, en temporadas más lluviosas, las fuentes nítricas no son recomendables, ya que su mayor potencial de pérdidas es por lixiviación. En estas temporadas es preferible el uso de las URP.

El caso del fósforo (P) es completamente distinto al del N. Contrario al N, el P no existe en estado gaseoso y no se volatiliza. Las fuentes fosforadas

varían en su solubilidad y reacción en el suelo, y sus mayores pérdidas ocurren por fijación de fosfatos en los coloides del suelo. Tal capacidad de fijación de fosfatos es bastante variable y diversa según la mineralogía del suelo, pero en general, es mucho más alta en los suelos tropicales.

Algunos autores afirman que las reservas mundiales de P se están acabando, y que este elemento puede ser muy escaso al final del siglo XXI. Sin embargo, al revisar las existencias a nivel mundial no se puede afirmar lo mismo, puesto que se han descubierto nuevos yacimientos y nuevas exploraciones de rocas fosfóricas en el mundo. (Jaramillo, 2014).

La medida de la Eficiencia Agronómica (EA) del P debe ser vista con un enfoque a más largo plazo (Balance parcial de Nutrientes) y deben considerarse otros factores que afectan su disponibilidad, entre los cuales, el silicio (Si) juega un papel preponderante, y el manejo de la acidez y de la materia orgánica es fundamental. Dado que su principal función es el desarrollo y elongación del sistema radical, en varios cultivos el manejo de la arquitectura de raíces ha resultado en marcados incrementos en la absorción de P y por tanto en incrementos en la productividad de los cultivos. De igual manera, el uso de fuentes de Si asimilable ha demostrado su efectividad en la liberación de fosfatos fijados en los suelos, y el aumento de la EA del fósforo aplicado.

Por otro lado, se han desarrollado nuevas formulaciones de fuentes fosfatadas, buscando mejorar la EA del P y su impacto en el desarrollo de los cultivos. Es así como mezclas de MAP con S, Zn y posiblemente otros elementos, han mostrado mejores respuestas en el desarrollo de raíces e incrementos de rendimiento en varios cultivos como arroz, maíz, banano y café, en ensayos realizados en Ecuador y en Colombia, con respuestas superiores a las aplicaciones en dosis comparativas de fosfato di amónico. Parece existir un efecto sinérgico del P y el Zn en la formación y desarrollo de raíz.

La roca fosfórica natural tiene poca o nula solubilidad cuando el pH del suelo excede 6 y, en general, la respuesta a la aplicación de rocas fosfóricas puras aun en suelos ácidos, tienen poco o ningún efecto en los cultivos. No obstante, la acidulación parcial de estas rocas, acompañada de un proceso de molienda fina, logra impactos importantes, y puede presentar una mayor EA que otras fuentes 100% hidrosolubles. Esto puede ser debido a que la liberación de los fosfatos es parcial y prolongada en el tiempo, razón por la cual, las plantas pueden tomar más eficientemente el fósforo liberado en esa forma. Además, la liberación paulatina de fosfatos puede reducir su fijación, ya que la solución del suelo no se

sobresaturación como ocurre con altas dosis de fuentes completamente hidrosolubles.

Desde los años 80, Laher planteaba que “La necesidad de especificaciones más realistas es uno de los más importantes problemas que enfrentan los productores de fosfatos que buscan evitar pasos innecesarios y costosos. Sólo adecuada investigación agronómica puede decirlo” (Laher, 1980)

El reto en la actualidad es identificar cada roca fosfórica por su origen y sus propiedades y adaptar su procesamiento para mejorar su EA. Las diferentes rocas fosfóricas del mundo presentan grandes variaciones en su composición, de acuerdo con su procedencia y características. Algunas de ellas pueden contener metales pesados u otros elementos que pueden convertirse en un problema mayor al ser aplicadas a los cultivos sensibles, o a productos para consumo humano o animal. Por eso debe tenerse especial cuidado al seleccionarlas.

Con relación al potasio (K), sus reservas naturales se pueden agotar en corto a mediano plazo. Una baja cantidad de K disponible en el suelo puede causar una baja germinación y puede inducir a las plantas a una mayor susceptibilidad a enfermedades, plagas y a deshidratación por sequía o por vientos. Por el contrario, cuando los niveles de K son altos, el contenido de N a menudo se encuentra muy bajo, y si se presentan niveles de K superiores a los de Mg en el suelo, generalmente se induce la deficiencia de Mg en los cultivos. Así como presenta sinergismos con varios nutrientes, también se han registrado varios casos de antagonismo marcado que afectan el normal desarrollo y producción de los cultivos.

Poco se ha hecho para mejorar la EA del potasio. No obstante, el uso de fuentes de K como sulfatos, puede significar un mayor impacto agronómico. En este caso, también se ha avanzado en el recubrimiento con polímeros para controlar su liberación. Lo fundamental es procurar siempre que las aplicaciones sean muy racionales, evitar sobredosis o subdosificaciones que pueden alterar el metabolismo vegetal e impactar negativamente los rendimientos de los cultivos.

Las fuentes de magnesio (Mg) son más variadas y abarcan desde distintas formas de sulfatos, Kieserita o K-Mag que son hidrosolubles y pueden ser más efectivos que la dolomita o la magnesita ($MgCO_3$), especialmente cuando el pH del suelo es mayor que 6.0. En suelos cafeteros ácidos, puede ser preferible el uso de algunas fuentes de menor solubilidad como los Silicatos de magnesio puros o parcialmente acidulados, que liberen el magnesio en forma moderada y paulatina, con un efecto residual prolongado que no se logra con las fuentes 100% hidrosolubles. En este caso, es posible construir reservas de Mg y Si en el suelo que continúan

liberando por tiempo prolongado, por efecto de la acidulación natural que se presenta en el suelo ácido, con las ventajas adicionales de los aportes de silicio asimilable.

En café se han adelantado algunos estudios con diferentes fuentes de Mg y de azufre (S), con resultados variables según la localidad. En general, con la aplicación de 30 kg de MgO por ha y por año se obtuvieron las mayores producciones, mientras que la aplicación de azufre (S) en dosis de 24 kg/ha fue suficiente para obtener los rendimientos más altos. Se resalta que los tratamientos no afectaron la calidad de la bebida, ni el rendimiento en trilla, ni la relación de café cereza a café pergamino seco, así como que no se encontró respuesta al suministro de Mg, aplicado como Óxido. (Sadeghian *et al.* 2006).

Por otro lado, debe tenerse especial cuidado con sobredosificaciones de fuentes de Mg 100% hidrosolubles, puesto que se pueden inducir altos contenidos de Mg foliar que se asocian con altos niveles de N (3.5% a 4%) y pueden inducir deficiencia de K, con las consabidas consecuencias. Por ejemplo, se ha reportado que contenidos de Mg mayores que 0.6% son tóxicos en caña de azúcar. (Jaramillo, 2014).

Uno de los aspectos principales que debe asumir y superar la industria de fertilizantes, es la búsqueda de la mayor eficiencia agronómica de cada uno de los elementos aplicados, teniendo como reto lograr la fabricación de productos fertilizantes asimilables, amigables con el medio ambiente, eficientes y sostenibles, que es una necesidad mundial. (Osorno, 2015).

El MNSE una alternativa para entregar nutrientes a la planta como y cuando los necesita. Permite ajustar dinámicamente el déficit de nutrientes (requerimiento y aporte del suelo) para lograr la meta de rendimiento. Esta forma de manejo busca aplicar los nutrientes en las dosis óptimas y en el momento adecuado, teniendo como meta el incremento del rendimiento de los cultivos y la mayor eficiencia agronómica (EA) de cada uno de los nutrimentos. (Jaramillo, 2014).

La agricultura de precisión y el MNSE se acomoda mejor al uso de fuentes simples de nutrientes, más que a fórmulas o grados preestablecidos para los distintos cultivos. No obstante, tampoco riñe ni se restringe el uso de estas fórmulas para casos específicos y para completar el balance nutricional requerido. Lo importante es que se suministren los nutrimentos necesarios en los momentos indicados cuando los requiere el cultivo; es decir, de manera adecuada y oportuna.

Siempre ha existido controversia sobre el uso de fuentes simples de fertilizantes en comparación con los fertilizantes complejos. Cada compañía tiene sus conceptos y argumentos sobre las ventajas de una u otra fuente. A ese respecto, CENICAFE ha desarrollado varias investigaciones en distintas

localidades, y se ha encontrado que la producción de café cereza obtenida, al aplicar los fertilizantes en mezcla física, fue estadísticamente igual a la registrada con el complejo granulado en todas las localidades y para cuatro ciclos productivos. Lo anterior deja manifiesto que con la utilización de los fertilizantes en mezcla física sí es posible obtener producciones similares a las alcanzadas con los fertilizantes complejos, siempre y cuando se apliquen los nutrientes que la plantación requiere en óptimas cantidades. (Sadeghian, 2007).

La extracción de nutrimentos por la cosecha de café se tiene bien estudiada, y según varios investigadores, debe ser considerada para aplicar la cantidad de nutrientes removidos por una cosecha como dosis de sostenimiento, con el fin de mantener un nivel adecuado de los elementos en el suelo. En Colombia, la extracción total de elementos por las diferentes partes del fruto, estimada para una cosecha equivalente a 1.000 kg de café almendra, fueron (kg): N 30,9; P 2,3; K 36,9 (44,3 kg K₂O); Ca 4,3 (5,96 kg CaO); Mg 2,3 (3,75 kg MgO) y S 1,21. La extracción de los micronutrientes (g) fue: Fe 107, Mn 61, B 50, Cu 33 y Zn 18. Estos valores son muy similares a los encontrados por otros investigadores en Brasil y en Cuba. (Sadeghian *et al.* 2006).

Aunque la distribución de los asimilados es diferente según las condiciones climáticas de la región y de la temporada, estos valores corresponden a la extracción neta real en los frutos, puesto que los asimilados en otros órganos de la planta como raíces, tallos y hojas, retornan al lote en la misma temporada, y no deben ser considerados en los ajustes del plan nutricional. Sólo se deben considerar los exportados en los frutos para hacer la reposición de los nutrientes. Este aspecto debe ser tenido en cuenta a la hora de interpretar los análisis de suelos y hacer la recomendación del plan de manejo nutricional.

El Silicio en la Caficultura:

Aunque en Colombia no se han adelantado estudios concluyentes al respecto, dadas las condiciones de acidez y lixiviación de bases, puede suponerse que nuestros suelos presentan grandes pérdidas de Silicio (Si) en forma de ácido ortosilícico (H₄SiO₄), producto de la meteorización y la erosión, como resultado de las altas precipitaciones y la extracción por las cosechas. En diferentes países del mundo, y en diversas especies, se ha encontrado que la aplicación de silicio mejora el desarrollo, sanidad, productividad y sostenibilidad de los cultivos.

De acuerdo con Datnoff *et. al* (2001), el silicio es un elemento que estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como benéfico, o “cuasi-esencial” para un grupo de ellas. Matichenkov (2004) considera que el silicio mejora el desarrollo de

raíces de las plantas y puede aumentar su masa radicular hasta en un 50% y en algunos casos puede llegar a incrementos de hasta un 200%.

En la caficultura de Brasil, se ha encontrado que la aplicación de Silicato de calcio y de magnesio en plantas de almácigo, redujo la incidencia de mancha de hierro y luego se confirmó la presencia del Silicio en el tejido foliar. Así mismo, Figueredo (2007) reporta un efecto significativo de las aplicaciones foliares de silicio en la reducción de la incidencia de roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), así como un marcado impacto en las características organolépticas de la bebida, mejorando significativamente la acidez, balance y cuerpo del café en la variedad Mundo Novo.

Dadas las consideraciones mencionadas, y los resultados de distintas investigaciones en diferentes países, se plantea que el silicio debe ser incluido en los planes de fertilización del café para garantizar la sustentabilidad del cultivo, no hay razón para obviar el silicio cuando han sido ya establecidos y demostrados sus beneficios en la fisiología de la planta. (Caicedo y Chavarriaga, 2007).

Plan integral de nutrición del cultivo de café

De acuerdo con los antecedentes planteados y los resultados expuestos, se plantea la necesidad de un plan de manejo integral de la nutrición del cultivo de café en Colombia, que contemple las diferentes etapas del cultivo e incluya el silicio en sus fórmulas.

Etapas de Almácigo o Vivero:

El almácigo exige un buen sustrato, con adecuada aireación, retención de humedad y suministro de fósforo y de silicio. En ese sentido, se recomienda la construcción de los almácigos llenando las bolsas con una mezcla de tierra negra con pulpa de café descompuesta, en proporción de 3 partes de tierra por 1 parte de pulpa y mezclar allí mismo 6 gramos de Magnesil® y 6 gramos de Daphos® por bolsa. En lugar del Daphos se puede optar por la aplicación de 4 gramos de DAP, repartidos en dos aplicaciones: a la emisión del tercer par de hojas y al quinto par.

Pre-Siembra o al momento de la siembra en campo:

Lo primero que debe hacerse es corregir los posibles problemas de acidez. Lo más importante es neutralizar el aluminio tóxico. El café es susceptible a la toxicidad por el Al si éste supera el 50 a 60% de saturación del complejo de cambio. Para esto se debe aplicar preferiblemente una enmienda compuesta o un “Nutri-correctivo” como el Mejicorrectio, en dosis de 80 a 200 gramos por árbol, dependiendo del pH del suelo, del contenido de Aluminio y del tamaño de los hoyos de siembra.

Etapa de Levante:

Si a la siembra o en pre siembra no se corrigió el problema de acidez, y el suelo tiene un pH inferior a 5.0, lo primero que debe hacerse es corregir tales problemas de acidez, y neutralizar el aluminio tóxico. Para esto se debe aplicar Mejicorrectio en dosis entre 80 y 200 gramos por árbol, dependiendo del pH del suelo, contenido de aluminio y densidad de siembra. Con este tipo de correctivo compuesto se logra neutralizar acidez no sólo en superficie sino también en profundidad, hasta cubrir toda la zona de desarrollo radical.

Durante la etapa de levante, el café es especialmente exigente en nitrógeno y fósforo, para fortalecer su sistema de raíces y fomentar su crecimiento y desarrollo, sin descuidar el resto de los elementos esenciales. Por lo tanto, la recomendación general puede ser: aplicar Daphos + urea o nitrato, en mezcla 1:1 y dosis crecientes de 20 - 30 - 40 - 45 y 50 gramos por árbol, cada dos meses aproximadamente. Cuando el café llegue a un año de edad, agregar a la mezcla una parte de cloruro de Potasio, para fortalecer el llenado de granos cuando ya ha iniciado su etapa reproductiva y ya se han presentado las primeras floraciones. Adicionalmente, si el suelo es pobre en magnesio, se debe adicionar a la mezcla una fuente de Mg asimilable, que además construya reservas en el suelo, como el Sulfasil o el sulfato de magnesio agrícola, en dosis que varían según el requerimiento y de acuerdo con los niveles de Magnesio en el suelo.

En el caso de presentarse síntomas de deficiencias de micronutrientes, en las fertilizaciones de los seis a doce meses, adicionar a la mezcla de fertilizante, 20 gramos por árbol de una fuente de micronutrientes como Mejiminores.

Los requerimientos del cultivo, de acuerdo con la edad o condición del cultivo, han sido bien definidos por Cenicafé (Sadeghian *et al.* 2006) y son presentados en la tabla 5.

Etapa de Producción:

Si el suelo tiene un pH inferior a 5.5, lo primero que debe hacerse es corregir los problemas de acidez, y neutralizar el aluminio tóxico. Para esto se debe aplicar Mejicorrectio en dosis entre 80 y 200 gramos por árbol, dependiendo del pH del suelo, contenido de aluminio y densidad de siembra.

Dado que, durante la etapa de producción, los elementos demandados en mayor cantidad son el nitrógeno y el potasio, se debe acudir a un fertilizante rico en nitrógeno y potasio y bajo en fósforo. Puede ser un fertilizante de grado 17-6-18-2, o 25-4-24 o 21-3-17-5, o una mezcla de urea + DAP + cloruro de potasio, en proporción 5:1:4, en dosis de 70 a 120 gramos por árbol, dependiendo de la densidad de

siembra y el número de aplicaciones al año. Siempre serán preferibles las fuentes que liberen los elementos de manera controlada, para reducir sus pérdidas por volatilización, lixiviación o fijación.

Tabla 5. Requerimientos nutricionales del cultivo de café, según su fase de desarrollo.

Condición de Cultivo	Requerimientos según condición de cultivo										
	g/planta/año						mg/kg de suelo				
Establecimiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
		38	15	10	120	50	1	30	5	1	1
PRODUCCIÓN	kg/ha/año						g/ha/año				
Nivel Crítico	12% MO	10	0.35	2.6	0.6	10	30	10	1	1	0.6
Extracción por tonelada de café Almendra	30.9	2.92	44.3	5.96	3.75	1.21	107	61	33	18	50

En el caso de presentarse síntomas de deficiencia de magnesio, agregar a la mezcla de fertilizantes NPK, una parte de Sulfasil (o Magneserita), en proporción de 5 partes de NPK por una de Sulfasil o Magneserita. Así mismo, una vez al año, unos 3 a 6 meses antes de las floraciones, agregar una fuente de micronutrientes, que puede ser la mezcla de una parte de Mejiminores por cada 5 partes de la mezcla NPK, para estimular la floración.

Puede reemplazar la fórmula de "Producción" por una mezcla de 7 partes de urea + 7 partes de Mejisulmac-P + 6 partes de cloruro de potasio, con lo cual se logra un ahorro entre el 20% y 30% en los costos del fertilizante. Esta mezcla arroja un grado total de 16-4-18-3.5(Mg)-8.8(Ca)-1.8(S)-0.04(B)-0.11(Zn). Por facilidad y versatilidad, se puede hacer la mezcla 1:1:1, o las proporciones adecuadas para obtener el grado deseado. De esta manera está involucrando el elemento Silicio en el plan de nutrición, elemento que es de vital importancia para la sanidad de la planta, la tolerancia al estrés biótico, como el ataque de plagas y enfermedades y al estrés abiótico como la sequía, la alta temperatura, alta radiación, vientos y otros.

En los casos necesarios y de acuerdo con la fenología del cultivo, se puede reforzar con aplicaciones foliares de algunos elementos como nitrógeno, potasio, sulfatos, etc., como un complemento a la fertilización edáfica, especialmente durante la época de llenado del grano, y en épocas en que la humedad del suelo sea escasa para la aplicación al suelo.

REFERENCIAS

- AMARAL D.R. RESENDE M.L. ROBEIRO P.M. BOREL J.C. MAC LEOD R. PADUA M.A. 2008. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. *Tropical Plant Pathology*, vol. 33, 6, 425-431.
- CAICEDO L.M. y CHAVARRIAGA W. 2007. Estudio de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Manizales – Colombia. 84 p.
- COGO F.D., CORREA A, MAPELLI A.R., GRACIANO G.S., GODTHFREDESEN G.O., FERNANDES L.G., CAMPOS K.A., CARVALHO H.P. 2008. O efeito do uso de sílicio, via solo, no controle de *Cercospora* (*Cercospora coffeicola*) em mudas de cafeeiros. In I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí. Escola Agrotécnica Federal de Machado - EAF Machado. Brasil.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H & KORNDORFER G.H. 2001. Silicon in Agriculture, Amsterdam: Elsevier Science. p.424, v.8
- EPSTEIN. E. 1999. Silicon Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. p. 641- 664, v. 50.
- FERNANDES, A. L, MERRIGHI, A. L; SILVA, G. A, FRAGA, J. E. 2009. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. FAZU em Revista Uberaba, n. 6, p. 11-52.
- FERNANDEZ-BORRERO, O.; MESTRE, AM. & DURQUE, S.L. 1996. Efecto de la fertilización en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. *Cenicafé*, Pág. 5-16.
- FIGUEIREDO, F.C. 2007. Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverizações de silicato de potássio líquido solúvel. Lavras; UFLA. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Lavras. Brasil. 97 p.
- FNC. Pergamino. 2015. Fertilización de cafetales, clave para la productividad. Revista electrónica Pergamino, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá. Edición 27. Agosto de 2015.
- GONZÁLEZ O. H.; SADEGHIAN K. S.; MEDINA R. R. D.; CASTRO Q. A. F. 2015. Alternativas para disminuir la volatilización de nitrógeno producida por la fertilización con urea. *Revista Cenicafé* 66(1): 7-16.
- JARAMILLO, R. 2014. Perspectivas en el uso eficiente de fertilizantes, nuevas tecnologías y retos en el futuro de una agricultura sostenible. En:
- KORNDORFER G.H. SNYDER.G.H. UCHOA & DATNOFF, L.E, 2001. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *Journal of Plant Nutrition*. Athens. p. 1071-1084, n. 7.
- LAZCANO – FERRAT, I. 2005. Los resultados de los análisis de suelos como un elemento para el manejo integral del suelo. INPOFOS. México. 8 p.
- LEAL V.; L. A; SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN, S. 2006. Volatilización del nitrógeno en dos suelos de la zona cafetera. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 13. Bogotá (Colombia), Octubre 4 al 6, 2006. Programa y memorias.
- OSORIO, N.W., 2014. Silicio, elemento benéfico para las plantas cultivadas. In: Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda Edición. Medellín, Colombia. 416p.
- OSORNO, L. 2015. Ecofertilizantes, Nueva tendencia. El agro colombiano optará por procesos que generen mejores frutos sin degradar el medio ambiente. Portafolio, agosto 20 de 2015. Bogotá, Colombia. p. 15.
- POZZA, A.; ALVES, E.; POZZA, E.; CARVALHO, J. de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.; SANTOS, D. 2004. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira* 29: 185-188.
- PUERTA Q., G.I. 2015. Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances Técnicos* No. 461. *Cenicafé*. Manizales – Colombia. 12 p.
- RESTREPO, F.E., SUAREZ J.D. 2003. El cultivo del café en el departamento de Antioquia. Diagnóstico de deficiencias nutricionales, interpretación de análisis de suelos y recomendación de fertilizantes y enmiendas. 23 p. En: Universidad Nacional de Colombia. Seminario Fertilización de cultivos. Medellín, Colombia.

- RESTREPO H. F.E. 2003. Muestreo de suelos. Federación Nacional de Cafeteros. Comité de cafeteros de Antioquia. Medellín, Colombia. 3 p.
- RESTREPO H. F.E. 2006. Uso de las bases de datos en la calibración e interpretación de análisis de suelos. Caso café. En: Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 13. Bogotá (Colombia).
- SADEGHIAN, S. y GONZALEZ, H. 2012a. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de Levante. Avances Técnicos No. 423. Cenicafé. Manizales – Colombia.
- SADEGHIAN, S. y GONZALEZ, H. 2012b. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Avances Técnicos No. 424. Cenicafé. Manizales – Colombia.
- SADEGHIAN KH., S. 2007. Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 362:1-8.
- SADEGHIAN, S.; HERNÁNDEZ G., E.; ROSS, M.; GUERRERO R., R. 2006. Fuentes solubles de magnesio y azufre en la producción y calidad del café. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 13. Bogotá (Colombia).
- SADEGHIAN, S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P. J. 2006. Composición elemental de frutos de café variedad Colombia y la extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera colombiana. Cenicafé, 57(4):251-261. Bogotá (Colombia).
- SALAMANCA, A. y SADEGHIAN, S. 2006. Crecimiento del café en almácigos con dos fuentes de silicio. Cenicafé. Manizales – Colombia.
- VALENCIA A. G. 1999. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Agrocafé – Cenicafé. Chinchiná, Colombia. 94 p.