

Introducción ZEOLITA

Las zeolitas han sido probadas y reconocidas como los materiales naturales más eficientes para el mejoramiento de suelos, control de olores, tratamiento de aguas, entre otros usos, siendo además un mineral completamente amigable con la naturaleza.

La zeolita es un mineral de origen volcánico cuyas características lo hacen muy importante en la actualidad. Su estabilidad, capacidad de intercambio iónico y absorción de agua, así como su fácil extracción y transporte lo hacen muy útil. Las propiedades de la zeolita lo hacen un sustituto excelente en varios usos. No se altera, es químicamente inocuo, no contamina y es limpio.

Con la zeolita los suelos necesitarían menos fertilización, fumigación y riego, al suelo infértil lo fertiliza, al seco lo hace húmedo, mezclado con fertilizantes orgánicos o inorgánicos, toma de estos solo los elementos fertilizadores, desechando lo demás, siendo un nuevo fertilizante limpio, que no se agota y que entrega sus nutrientes y el agua según la demanda. Un suelo tratado con zeolita por un tiempo conserva por siempre sus nuevas características. Las aguas tratadas con zeolitas requieren de muchos menos químicos en su tratamiento, el proceso es más barato, sencillo y fácil de controlar, la calidad general del agua mejora visiblemente, comparado con los métodos tradicionales. Los desechos líquidos y sólidos tratados con zeolita pierden sus elementos contaminantes y afectan menos su interacción con la naturaleza, mejorando su capacidad de ser reciclados e incorporados a procesos productivos. La zeolita en medios de almacenamiento, tanto domésticos como industriales obstaculizan la humedad excesiva y el crecimiento de microorganismos y por ende el deterioro de los productos almacenados o guardados, además de evitar los malos olores.

Estas y otras muchas cualidades de la zeolita la han hecho un producto de uso universal muy relacionado con las nuevas tendencias de aplicación de tecnologías ambientales limpias y mejora de la calidad de vida, disminuyendo la contaminación y reduciendo el uso de sustancias químicas nocivas y orgánicas con riesgo de agentes patógenos.

Las zeolitas son minerales de ocurrencia natural, formados de la depositación de cenizas volcánicas en lagos salinos alcalinos hace millones de años.

La alteración de las cenizas volcánicas, resultante de su interacción con las sales de las aguas lacustres, dio lugar a las zeolitas.

Estas son minerales cristalinos capaces de absorber y adsorber diferentes tipos de gases, humedad, petroquímicos, metales pesados, elementos radioactivos de bajo nivel y una multitud de varias soluciones.

Por su inusual estructura cristalina, las zeolitas poseen propiedades químicas especiales. Estas estructuras consisten de un enrejado tetraédrico de átomos de sílice y oxígeno en donde el aluminio reemplaza algunos de los sílices para formar aluminosilicatos. El resultado es un extenso panel de canales y cavidades.

Los átomos de aluminio tienen menos electrones disponibles que los átomos de sílice (tres en vez de cuatro) para el enlace con los átomos de oxígeno, provocando así un desbalance de la carga eléctrica. Iones y cationes metálicos con carga positiva, tales como potasio, sodio, magnesio y calcio pueden neutralizar la carga.

Estos últimos entran en el enrejado, rodeados de moléculas de agua débilmente enlazadas a la red cristalina. Ni los cationes ni las moléculas de agua llenan completamente los canales de modo que pueden moverse y ser reemplazadas por otros iones y moléculas sin alterar la estructura cristalina.

En un gramo de zeolita, los canales proveen varios cientos de metros cuadrados de área superficial en donde tienen lugar las reacciones químicas.

Las zeolitas pueden adsorber y absorber enormes cantidades de materiales, por ejemplo, iones o moléculas de gas. El resultado es que las zeolitas se pueden usar para intercambiar, por ejemplo iones de sodio por iones de calcio en el agua, lo que hace a estos minerales suavizadores de agua extremadamente eficientes.

Además, las cavidades y canales dentro del cristal pueden ocupar más del 50% de su volumen. Estos cristales fácilmente toman grandes cantidades de agua de modo que usualmente están hidratados, pero el calor sacará el agua dejando espacios dentro de los cuales se pueden deslizar otras moléculas.

Los canales y cavidades en esta estructura similar a una esponja son todos de la misma forma y tamaño. Esto significa que las zeolitas pueden actuar como tamices, reteniendo sólo moléculas suficientemente pequeñas para ajustarse dentro de las cavidades, mientras se excluyen las moléculas más grandes. Esta propiedad se puede usar para separar mezclas complejas de los compuestos.

Las zeolitas también actúan como "catalizadores selectivos de la forma" succionando moléculas de una forma y tamaño seleccionados y colocándolos lo suficientemente cerca para reaccionar de una manera en particular.

Una aplicación potencialmente importante emplea el gran poder absorbente de las zeolitas. Estos minerales pueden absorber más del 30% de su peso seco en gases tales como el nitrógeno o el amonio. Esto significa que se pueden usar para remover gases que son tóxicos o malolientes y para separar gases.

Por ejemplo, la zeolita clinoptinolita puede reducir niveles potencialmente insalubres de amonio y sulfuro de hidrógeno generados por la orina y heces fecales de los animales de una granja cuando están confinados.

Las zeolitas pueden absorber más del 70% de su peso seco en agua y más del 90% en hidrocarburos y otros petroquímicos.

Las zeolitas se usan en muchas aplicaciones diferentes que incluyen suplementos para la alimentación animal, filtración de agua y aire y medios de control de la contaminación, higiene animal, control de olores, absorción de hidrocarburos, acuicultura y filtración de estanques y enmienda de suelos.

Origen de las Zeolitas.

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados originados por fenómenos geológicos de transformación como resultado de una reacción con aguas alcalinas de cenizas volcánicas depositadas en lagos y mares someros.

¿Cómo son y Cómo actúan?

Las zeolitas muestran una estructura de poros y canales, semejante a un panal de abejas. Los poros son tan pequeños que sólo un gramo del producto tiene un área equivalente de 40 metros cuadrados. Además, por las características eléctricas de los átomos, tiene una alta capacidad de intercambio catiónico, lo que le permite absorber y adsorber diversos tipos de iones y moléculas, entre ellos agua,

que liberará cuando sea necesario.

Las zeolitas son capaces de absorber hasta 30% de su peso seco en gases, tales como nitrógeno y amonio, más de 70% en el agua, y hasta 90% de ciertos hidrocarburos.

Las propiedades físicas y químicas las han hecho útiles en muchas aplicaciones en agricultura, pecuaria, tratamiento de aguas, retención de olores, separación de gases, entre otras muchas aplicaciones.

ZEOLITAS EN LA AGRICULTURA

Aplicaciones agrícolas y hortícolas de las zeolitas.

Fertilizantes y Mejora de Suelos

Basándose en su alta capacidad de intercambio iónico y retención de agua, las zeolitas han sido extensamente usadas en Japón como enmendadoras de suelos.

La pronunciada selectividad de estos minerales por el amonio ha sido explotada en la preparación de fertilizantes químicos, mejorar el poder de los suelos para retener el nitrógeno aumentando su capacidad de intercambio iónico, y promover una liberación del nutriente hacia la zona radicular de las plantas.

En los campos arroceros japoneses no son comunes eficiencias de nitrógeno menores del 50%. Se reportó una mejora del 63% en el nitrógeno disponible en suelos arroceros con alta permeabilidad 4 semanas después de agregar entre 1.5 y 1.9 ton/ha de zeolita con un fertilizante común.

Este mineral previene la desecación y por lo tanto se desempeña eficientemente en tierras no irrigadas. Con la aplicación de al menos una tonelada de zeolita por hectárea se logra una óptima fertilidad del suelo seco antes de plantar.

Liberación de Fertilizantes

La lenta liberación de fertilizantes se logra con las zeolitas como resultado de reacciones de intercambio de iones, o por una combinación de éste y reacciones de disolución mineral.

Las investigaciones prácticas han demostrado que la mayoría de los nutrientes esenciales de las plantas se pueden proporcionar por estos medios.

Por su estructura cristalina y molecular las zeolitas son ideales para absorber amonio-nitrógeno y potasio, importantes nutrientes para las plantas.

Durante la fertilización, las zeolitas absorben los excesos de N y K y expelen Ca y Mg. Cuando N y K se agotan en el suelo circundante el equilibrio se invierte y los nutrientes son liberados gradualmente. Moderando la disponibilidad de nutrientes, las zeolitas imparten al suelo una deseable característica de liberación lenta, muy conveniente para la fertilidad permanente.

Las zeolitas en el suelo resisten el efecto lixiviador de la irrigación, y tienen un efecto amortiguador sobre el riego con agua "dura", agua con alto contenido de sales. Las aperturas de los poros en la estructura cristalina son ideales para el sodio y en potasio, así, durante la fertilización, las zeolitas absorben estos nutrientes 100 a 1 sobre el calcio y en magnesio.

Durante la irrigación, los nutrientes son retenidos y gradualmente devueltos a la zona radicular de las plantas. Zeolitas aplicadas a razón de 10% en suelos arenosos han dado como resultado un aumento en la producción agrícola.

Las zeolitas combinan los atributos de la arena y de la arcilla. Como arena, mantiene la estructura y la integridad en agua y como arcilla, tiene alta capacidad de intercambio, mucho mayor que la bentonita.

Las zeolitas mejoran la producción de una variedad de plantas. Los tomates, por ejemplo, producen en promedio 30% más cuando crecen en suelos enmendados con zeolitas. Estudios que han comparado la producción de más de 13000 plantas en suelos enmendados con zeolitas muestran incrementos de 20% a 40% en la producción de tomate, pimienta, pepino, maíz, brócoli y sorgo.

La adición de zeolita en aplicaciones de vivero con rábanos resultó en un aumento de 53-59 % en el peso de la raíz en suelos ligeramente arcillosos. El tratamiento con zeolitas aumenta considerablemente la disposición de amonio para las plantas.

Aplicación

Plantación de Árboles.

Aplique a un árbol nuevo aproximadamente un 25% de zeolita del contenido total de tierra. El árbol crecerá dos veces más rápido. Si el material vegetativo está empacado, agregue 2 cm. en el fondo y alrededor de los lados antes de ponerlo en el hoyo y riegue después de plantar. Las zeolitas absorben agua, actúan como aireador y abono natural.

Fertilización y Plantación de Prados

Mezcle zeolitas y abono en dosis 50/50. Aplique a los prados con un aspersor. Las zeolitas actúan como absorbente de agua, fertilizante natural y aireador del suelo, y también, a medida que el fertilizante se licua con la irrigación o la lluvia, se absorberá en exceso de abono que de otra forma sería lavado.

Plantación de Verduras o Flores

La capacidad de absorción de las zeolitas les permite retener más del 70% de su peso en agua y mantener la humedad en el suelo sin que éste se vea húmedo. Mezcle 25% de zeolita en el suelo de plantío. Para lechos existentes rocíe 1 cm. de espesor y mezcle.

Las zeolitas han atraído el interés en la mezcla de suelo para mejorarla supervivencia de plantas de todo tipo. En promedio se aplica agregando un kg. De zeolita por veinte de tierra.

Compostaje con Zeolitas

Otro uso de zeolitas como portadora de fertilizante involucra la combinación con los biosólidos obtenidos del fango que acompaña a las aguas residuales en las plantas de tratamiento.

El contenido de nutrientes de los biosólidos proporciona un

enmendador efectivo para suelos de agrícolas y forestales, pero los metales pesados presentes los pueden hacer tóxicos para la vida de las plantas, así como animales y humanos que eventualmente puedan comer esas plantas.

La habilidad de las zeolitas para actuar como trampa para los metales pesados puede ser la clave para usar con seguridad los biosólidos obtenidos del lodo de aguas residuales como fertilizante en forma de compost.

Experimentos con zeolita en Foster Canyon, Nuevo Mexico, desarrollados por la Estación Experimental de Agricultura de la Universidad de Nuevo México demostraron un rendimiento mejorado en el crecimiento de dos cosechas con un fertilizante compuesto de biosólidos más zeolita, comparado con grupos de control usando sólo fertilizante químico comercial.

Las zeolitas no sólo permiten una liberación controlada de nutrientes tales como Fe, Cu, Zn, Mn y Co a los suelos, también absorben el exceso de humedad, lo que previene el endurecimiento de fertilizantes y cuidados para animales durante el almacenamiento. La adición de 0.5% de zeolita al fertilizante nitrato de amonio reduce el endurecimiento en un 68%.

Las propiedades de las zeolitas las hacen útiles no sólo como portadoras de fertilizantes, sino que también son portadoras efectivas de insecticidas, fungicidas y herbicidas.

La mayoría de los trabajos de investigación y desarrollo se han realizado en Japón. Se encontró que las zeolitas son excelentes portadoras del herbicida Benzil Fosforotioato para controlar la ruina de espigas en el arroz.

Las zeolitas mostraron dos veces más efectividad que otros productos comerciales para portar el herbicida Benthiocarb para eliminar las hierbas en campos arroceros.

Beneficios Ambientales

Las zeolitas presentan como beneficio adicional el control de la Contaminación Agrícola No Puntual.

La contaminación desde fuentes "no puntuales" se define como la escorrentía difusa de aguas lluvias desde los campos y calles, más que desde alcantarillas u otros efluentes que descargan un flujo concentrado.

Además de la contaminación por las descargas de aguas residuales industriales y municipales, los ríos y quebradas se están contaminando cada vez más con el nitrógeno de las escorrentías de irrigación, escurrimientos desde los comederos animales y corrientes con desperdicios de plantas procesadoras de alimentos.

Cuando las concentraciones de N en las aguas de un efluente exceden los 10 mg/litro hay contravención de las regulaciones ambientales. Por ejemplo, en suelos arenosos donde se ha aplicado sulfato de amonio con tasas de 2.7 kg/92.9m²/año la lixiviación de N a menudo excede los 200 mg/litro, mientras que en suelos similares enmendados con zeolitas la lixiviación de N nunca excede los 10 mg/litro, lo que se atribuye a la retención de amonio dentro de la estructura cristalina del mineral.

El uso de zeolitas para controlar la contaminación es un asunto relativamente poco atendido, aunque se han hecho algunos progresos, especialmente en Japón. Allí los finqueros han estado esparciendo zeolita triturada sobre los desperdicios agrícolas durante muchos años.

En los Estados Unidos se producen cada día más de 700 millones de toneladas de desperdicios animales, y su acumulación, así como la contaminación asociada, representa un problema mayor, que es especialmente agudo en aquellos lugares en donde la calidad, tanto del aire como del agua, debe ser controlada rígidamente.

Las zeolitas tienen doble utilidad en el tratamiento de la contaminación agrícola no puntual, puesto que no sólo remueven el nitrógeno amoniacal de la porción líquida de los desperdicios, reduciendo así el mal olor asociado comúnmente a los criaderos y sitios de confinamiento de animales, sino que también retiene la mayor parte del nitrógeno de la porción sólida, realzando el valor fertilizante del estiércol.

Estas aplicaciones no requieren zeolitas en grano grueso, el material pulverizado es satisfactorio y está disponible comercialmente a bajo costo. Las propiedades de intercambio iónico de las zeolitas también se pueden emplear para atrapar metales pesados indeseables e inhibir su ingreso en las cadenas alimenticias.

Estructura y Capacidad de Intercambio de las zeolitas.

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos en forma de estructuras atómicas tridimensionales, caracterizadas por la habilidad de retener y liberar agua e intercambiar ciertos átomos constituyentes, sin cambiar su estructura atómica. Posee estructura tetraédrica de sílice (SiO_4) en la cual los oxígenos de cada tetraedro se comparten con los tetraedros adyacentes.

Si cada tetraedro de la estructura contiene sílice como átomo central, la estructura general es eléctricamente neutra. Alguna sílice tetravalente es reemplazada por aluminio trivalente, dando lugar a deficiencia de carga positiva. La carga es balanceada con átomos monovalentes y bivalentes, tales como sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) en cualquier lugar de la estructura. La fórmula empírica de una zeolita es del tipo: $\text{M}_{2/n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$

El proceso de intercambio involucra el reemplazo de un átomo intercambiable monovalente de zeolita por un átomo monovalente en solución acuosa, o el reemplazo de dos átomos monovalentes intercambiables de zeolita por un átomo bivalente en la solución. Este mineral tiene una capacidad de intercambio catiónico de 216 miliequivalentes (meq) por 100 gramos.

Si comparamos el nivel de fertilidad de las zeolitas con los tipos de arcillas más comunes en el medio tropical, tendremos: caolinita de 5-8 meq/100g, illita de 20-40 meq/100g, montmorillonita aprox. 80 meq/100g, humus 120-140 meq/100g. Se observa la gran fertilidad que la aplicación de las zeolitas puede comunicarle al suelo muy por encima de cualquier coloide conocido.

Las zeolitas, en resumen, intercambian de manera muy conveniente cationes tales como: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , así como diversos compuestos de fosfatos, amonio y componentes de la materia orgánica, que hacen de estos minerales unos materiales especiales en el manejo de la fertilidad de los suelos.

En la corrección de suelos con zeolitas se deben tener muy presentes aspectos tales como el pH que es de 8.0 y su aplicación debe estar muy ajustada finalmente a las necesidades naturales de cultivos y especies forestales y al nivel de fertilidad del suelo.

Problemas del suelo.

El agua es el elemento vital y medio de transporte de la capa arable, siendo la base de la síntesis de sustancias, actúa como laboratorio de reciclamiento, de intercambio de cationes y generadora de coloides orgánicos. En dependencia de la estructura del suelo se define el estado en que se almacena el agua, absorbida como agua libre, aprovechable e higroscópica y su influencia en el tipo de organismos que se reproducen a nivel de microbiota.

La estructura física del suelo es responsable también de la aireación, del intercambio de gases y almacenamiento del agua, lo cual incide en la vida orgánica. El excesivo laboreo y sobre-pastoreo, visto en la destrucción de la estructura del suelo superior, la pérdida de infiltración del agua, al aumento del volumen de escorrentía y la erosión repercuten en la pérdida de fertilidad, provocando una disminución del agua de almacenamiento.

La humedad del suelo superficial es determinante para la germinación de la semilla en el medio natural. De ahí que la libre exposición del suelo y su desecamiento atenta contra las posibilidades de brotación de una buena cobertura vegetal y del desarrollo de la biota que es importante en el reciclamiento de la materia orgánica en cationes asimilables y en la formación de humus fértiles y estables.

Soluciones en la aplicación de zeolitas.

Son conocidas las pérdidas en viveros, plantaciones y cultivos debido a la aplicación excesiva de fertilizantes químicos en suelos con bajo nivel de intercambio, lo cual conduce a una alta concentración de nutrientes y quemazón radicular. La alta capacidad de intercambio de las zeolitas previene estos daños cuando se sobrepasan los límites de tolerancia del suelo.

En suelos infértiles, la baja capacidad de intercambio catiónico de las arcillas permite que en la aplicación de correctivos y fertilizantes ocurran altas fluctuaciones en el pH, altamente perjudiciales a las plantas y a la microbiota, lo que ocasiona esterilidad y pérdidas de elementos por lixiviación; o aumento de los costos de mantenimiento por fraccionamiento obligatorio de las cantidades de abonos a aplicar. Las zeolitas aumentan en el suelo la capacidad amortiguadora o efecto Buffer.

Retención de Agua

Las zeolitas tienen una equilibrada capacidad de retención de humedad. Por sus características naturales pueden retener en agua el 70% de su peso seco, conservando un estado de agua-aire en el suelo, semejante al que ofrecen los suelos francos y evitan los excesos que presentan las texturas extremas (arcillosas y arenosas).

Lo anterior conlleva a que países que practican la agricultura biológica están aplicando zeolitas a la materia orgánica utilizada para el mejoramiento de la calidad del compost, y como efecto importante, elevan la cantidad y calidad de humus estables, por las razones expuestas arriba, y otras tales como:

- Conserva la humedad equilibrada y evita el desecamiento de la materia orgánica, sustrato muy susceptible a rápidos humedecimiento y resecamiento.
- La humedad en sus justas proporciones facilita la aireación, en intercambio de gases y el desarrollo armónico de la microbiota, tan importante en la formación de humus estables.
- La combinación de zeolitas con el humus, forma quelatos compuestos que son la garantía de fertilidad permanente en los suelos.

- Produce una mineralización equilibrada de los restos orgánicos y retención de los elementos en forma intercambiable o como parte constitutiva de los organismos vivos, ricos en especie.
- Evita olores desagradables, producto de la materia orgánica que compone el compost.

ZEOLITA EN LA PECUARIA

Este documento hace referencia a diversas aplicaciones prácticas desarrolladas en Japón y los Estados Unidos con las zeolitas. Los resultados logrados son una muestra de la eficacia de este mineral, y de los beneficios que la aplicación del mismo puede reportarle.

Suplemento Alimenticio

Basados en el éxito de las arcillas montmorilloníticas retardando el paso de nutrientes por el sistema digestivo de los pollos y la subsecuente mejora en la eficiencia calórica, se han hecho experimentos en Japón desde 1965 usando los minerales de zeolita como suplemento dietético para varios animales domésticos. Este trabajo se ha repetido en los Estados Unidos y otros países buscando aplicaciones agropecuarias para las zeolitas.

A pesar de la carencia de datos estadísticos significantes, numerosos estudios sugieren que la adición de zeolitas a las dietas de rumiantes, cerdos, aves y otros animales mejora notablemente el crecimiento y las eficiencias calculadas de los alimentos. Además, las zeolitas en las dietas diarias reducen la incidencia de diarrea, enteritis y otras enfermedades gastrointestinales.

Trabajos preliminares para entender como funcionan las zeolitas en tal fenómeno dietario y antibiótico, sugieren que la selectividad de estos minerales por el amonio ayuda a los animales en la digestión y absorción de nutrientes en la alimentación.

La proeza antibiótica puede deberse a la alcalinidad y capacidad amortiguadora en el tracto gastrointestinal, y/o a la pronunciada selectividad por ciertos metales pesados tóxicos, tales como Pb, Cu y Cd.

Rumiantes

En un intento por reducir el efecto tóxico del alto contenido de amonio (NH_4^+) en los fluidos ruminales, cuando compuestos no proteínicos como la urea son agregados a las dietas de vacunos, ovinos y caprinos, se incluyeron zeolitas en el rumen de animales.

Los iones de amonio fueron intercambiados inmediatamente en la estructura de las zeolitas y mantenidos allí por varias horas, hasta ser liberados por la acción regeneradora de la saliva que entró en el rumen durante el período de fermentación postalimentario.

Tanto los datos en vivo como en vitro mostraron que más del 15% del amonio en el rumen pudo ser retenido por la zeolita. Así, la liberación gradual del amonio permitió a los microorganismos del rumen sintetizar continuamente proteína celular para fácil asimilación en el sistema digestivo de los animales.

La habilidad de la zeolita para actuar como una reserva de amonio permite la adición de un suplemento de nitrógeno a la alimentación mientras protege al animal contra la producción de niveles tóxicos de amonio en el rumen.

En la misma área de investigación se encontró que las zeolitas agregadas a la alimentación de terneros jóvenes mejoraron su tasa de crecimiento estimulándoles el apetito y disminuyeron la incidencia de enfermedades.

A las dietas normales de pasto y heno de terneros de 180 días de nacidos se adicionó un 5% de zeolita durante un período de 180 días. Los animales ganaron en promedio 20% más peso que los alimentados con una dieta de control.

Aunque los terneros de prueba consumieron más alimento, los costos de éste por kilogramo de peso ganado fueron significativamente menores que en el grupo de control.

No se notaron efectos negativos y el estiércol de los animales de prueba contenía menos agua y pocas partículas de sólidos no digeridos. La salud general de los animales de prueba fue también notablemente mejor que la del grupo de control.

Seis jóvenes toros se alimentaron durante 329 días con una dieta compuesta por 2% zeolita, 72% de nutrientes digeribles y 11% de proteína cruda. Aunque se notó poca diferencia en el peso final del grupo de prueba en comparación con los animales de control, los primeros mostraron dimensiones corporales mayores y se reportó una carne de mayor calidad.

Estas diferencias se reflejaron en los altos precios obtenidos por los animales de prueba y utilidades 20% mayores. Además, los animales con dieta de zeolita tuvieron menos diarrea u otras enfermedades intestinales. Se ha reportado que añadiendo 2% de zeolitas a las raciones de las vacas se previene la diarrea y aumenta la producción de leche. Estos efectos están relacionados con aumento de albúmina y disminución del contenido de urea-N (nitrógeno) en la sangre.

Se encontró un aumento en la digestión de proteína cuando se agregó un 50% de zeolitas a una dieta proteínica de alta solubilidad de 18 toros y vacas Holstein durante un período de 118 días; sin embargo no se notó una ganancia de peso significativa.

Un experimento en 48 toros en Nuevo Mexico, desarrollado en el Centro de Investigación Clayton Livestock mostró que adiciones de 1.25 y 2.5 % de zeolitas en la dieta de control no mejoraron significativamente la presentación final de los toros.

Un análisis posterior de los datos demostró que, aunque no habían sido estadísticamente significantes, se reportaban ahorros del orden de decenas de dólares por cabeza.

Cerdos

Se experimentó usando zeolitas para suplementar las dietas de cerdos Yorkshire jóvenes y maduros durante períodos de 60 y 79 días, respectivamente. Los animales de ambos grupos de edad, con dietas conteniendo zeolitas, ganaron 25% a 29% más peso que los animales con dietas normales.

La comida suplementada con zeolitas aumentó las eficiencias alimenticias un 35% sobre las raciones normales cuando se suministraron a cerdos jóvenes, pero sólo aumentaron 6% cuando se dieron a los animales más viejos.

Los resultados también sugirieron una digestión más completa con zeolitas en la dieta, indicando una conversión más eficiente del nitrógeno, contenido en el alimento, a proteína animal.

La digestión de proteína cruda y extractos de nitrógeno libre mejoraron a medida que la zeolita fue sustituida por fibra de trigo en la dieta de los cerdos a niveles de 1-6% durante períodos de 12 semanas.

Resultados similares se reportaron usando 5% de zeolitas en 8 cerdos durante un período de 12 semanas y se logró una disminución del 4% en los costos de producción de peso corporal de los animales.

También se registró una disminución del mal olor y el contenido de humedad del excremento. No se observaron efectos tóxicos o adversos en ningún animal de prueba. De hecho, las zeolitas en las raciones para cerdos contribuyen apreciablemente al bienestar animal.

En Japón se probaron 4000 cabezas de cerdos y se encontraron tasas de mortalidad e incidencia de enfermedades, en animales alimentados con 6% de zeolita durante un período de prueba de 12 meses, marcadamente inferiores que entre los animales de un grupo de control.

Disminuciones sustanciales en el número de casos de úlceras gástricas, neumonía y dilatación cardiaca, así como en la tasa general de mortalidad. Los costos por medicinas reportaron ahorros de 75% por animal, sin mencionar el creciente valor de un mayor número de cerdos saludables. Aunque no fueron monitoreados grupos de control, en otro estudio en Japón se encontró que agregando zeolitas a la dieta de cerditos (lechones) severamente afectados con diarrea se reversó el progreso de la enfermedad en pocos días. Las heces de todos los cerdos fueron normales después de 7 días.

Evidencia experimental también revela que los efectos revitalizadores de una dieta complementada con zeolitas pueden ser transferidos de las madres a las crías.

En una estación de experimentación japonesa, 400 gr. de zeolita al día se suministraron a cerdas preñadas y se continuó durante el período de lactancia de 35 días. Los animales de prueba pesaron 63-86% más que los del grupo de control, y los jóvenes cerditos cuyas madres se alimentaron con una dieta con zeolita tuvieron menos ataques de diarrea, mientras que los del grupo de control fueron severamente afectados, inhibiendo bastante su crecimiento normal.

Estudios realizados en la Universidad Estatal de Oregón usando raciones con un contenido de 5% de zeolita en cerdos jóvenes mostraron tasas de crecimiento menores que en los estudios japoneses, pero la incidencia de diarreas fue ampliamente reducida en los cerdos con dieta de zeolita.

En un estudio preliminar que involucró 16 cerditos lactantes durante un período de 19 días se encontró que animales con una dieta libre de antibióticos y 10% de zeolita ganaron 5% más peso por libra de alimento que aquellos con una dieta de control sin antibióticos y 4% más que aquellos con una dieta enriquecida en antibióticos.

Aves

Como aditivo en la alimentación de aves, las zeolitas tienen varios beneficios. Por estas razones son usadas extensivamente en países europeos y Japón. Entre esos beneficios se encuentran el aumento en el espesor de la cáscara del huevo y la reducción de los olores en el galpón.

Usando zeolitas se encontró que los pollos requieren menos alimento y agua y aún ganaban tanto peso como aves que recibieron una dieta de control durante una prueba de dos semanas.

Los valores de eficiencia alimentaria (Feed Efficiency Values, FEV= ganancia de peso/consumo de alimento, excluyendo zeolitas) fueron apreciablemente más altos en todos los niveles de sustitución con zeolitas.

Cuidos con un contenido de 10% de zeolitas dan lugar a eficiencias 20% mayores que las raciones normales. No se observan efectos adversos en la salud ni la vitalidad de las aves, y la humedad de las excretas se reduce en más del 25%, haciendo los desechos considerablemente más fáciles de manejar.

Un estudio de la Universidad Estatal de Oregón encontró que pollos alimentados con una dieta con 5% de zeolitas ganaron ligeramente más peso que aves alimentadas con una dieta normal durante un período de dos meses, pero los FEV promedio fueron notablemente más altos.

Tal vez de mayor significado es el hecho de que no murió ninguna de las 480 aves con dieta de zeolita durante el experimento, mientras que tres con dieta de control y dos con dieta de control complementada con antibióticos murieron.

El uso recomendado como aditivo en el cuidado es de 3% a 5% de zeolitas en el volumen total de la ración.

Conejos

La enteritis, caracterizada por abundante diarrea, es una causa mayor de mortalidad en crías de conejos. Pérdidas hasta del 61.2% por causa de enteritis se han reportado en conejos menores de 8 semanas.

Sobre la base de los datos presentados en diferentes investigaciones se sugiere que la adición de zeolitas a las raciones de los conejos ayuda a reducir la incidencia de enteritis. Los mecanismos que conducen al éxito de las zeolitas en el control de enteritis en los conejos se han interpretado de diferentes maneras por varios investigadores: volumen en la forma de fibra, que ha sido implicada en la reducción de la incidencia de la diarrea; o las zeolitas pueden actuar en la estimulación de la formación de un revestimiento en el estómago y el tracto intestinal que aumenta la producción de anticuerpos que inhiben la enteritis; o las zeolitas pueden, por la naturaleza de sus propiedades de intercambio iónico, actuar para cambiar la densidad de iones de hidrógeno dentro del estómago e intestinos, bajando el pH, y así reduciendo la ocurrencia de enteritis.

PISCICULTURA

La acuicultura es una industria alimenticia relativamente nueva, pero a medida que aumentan los requerimientos mundiales de proteínas, más y más productos piscícolas entrarán al mercado alimenticio. Aunque granjeros progresistas en varios países se están comenzando a convencer que bagres y truchas pueden brindar más beneficios por hectárea que trigo o arroz, levantar peces es un negocio engañoso, y los parámetros ambientales de un sistema piscícola deben ser mantenidos dentro de límites estrictos. Las zeolitas ayudan a controlar esos ambientes, y mientras más criaderos piscícolas recurran a sistemas de aguas recicladas se puede desarrollar un amplio mercado para las zeolitas.

Por sus propiedades, las zeolitas presentan beneficios en varias aplicaciones y usos finales en la acuicultura. Su alta capacidad de intercambio catiónico les permite ser un excelente medio para la remoción del amonio tóxico a través del intercambio iónico como un filtro físico-químico, o para la

eliminación de bacterias como sustrato en un filtro biológico. Además, la afinidad de las zeolitas por el nitrógeno las hace capaces de producir aire enriquecido en oxígeno para sistemas de aireación.

Usando procesos similares a los empleados en plantas de tratamiento de aguas residuales para remover el amonio, dos estudios mostraron que las zeolitas remueven efectivamente iones de amonio de los sistemas de recirculación de aguas en granjas piscícolas. El amonio es una de las toxinas más significantes en acuicultura y en concentraciones que exceden unas pocas partes por millón es extremadamente perjudicial para los peces. En ambientes pobres de oxígeno tales concentraciones pueden llevar a varias enfermedades de las agallas y a una tasa de crecimiento reducida.

Resultados inéditos de un estudio en un criadero piscícola en Oregón indicaron que 97-99% del amonio producido en un sistema de recirculación se removió con columnas de intercambio iónico usando zeolitas, de aguas que contenían 0.34-1.43 mg de amonio por litro. Las truchas permanecieron perfectamente saludables, durante una prueba de 4 semanas, cuando el intercambio iónico de las zeolitas se usó para remover el amonio de tanques de agua en recirculación.

Se concluye que el intercambio selectivo usando zeolitas es una alternativa viable para los sistemas de oxidación biológica, sensitivos térmica y químicamente, usados corrientemente. Industrias Becker de Newport, Oregón, en conjunto con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, desarrolló un completo sistema de purificación para usar en criaderos piscícolas. El sistema está capacitado para manejar concentraciones de 20-30 ppm de amonio a tasas de flujo de 10-15 millones de galones/día.

Laboratorios Jungle de Comfort, Texas, desarrolló un sistema que usa el intercambio iónico de las zeolitas para operaciones de transporte de peces en donde altos niveles de amonio frecuentemente resultan en daños cerebrales, atrofia del crecimiento y altas tasas de mortalidad. Normalmente se transportan alrededor de 3500 libras de peces con 8"-10" de longitud en 12000 galones de agua, cerca de 77.7 lb/m³.

Con la eficiente remoción del amonio del agua de transporte usando zeolitas se pueden manejar con seguridad el doble de peces por metro cúbico de agua.

Pocos trabajos se han desarrollado en el uso de zeolitas para la alimentación de los peces, pero los resultados de su aplicación en rumiantes, cerdos, aves y conejos indican que esta área es prometedora. Así como las zeolitas controlan el amonio en el excremento de los animales, podrían servir para reducir la acumulación de amonio en operaciones de recirculación en tanques cerrados. La habilidad de las zeolitas para reducir químicamente el amonio se realiza por la adsorción del amonio en el mineral, desplazando así el equilibrio $\text{NH}_4\text{-NH}_3$ en la solución acuosa y reduciendo el potencial de toxicidad del NH_3 . Cuando se usa la cantidad óptima de zeolitas el nivel de NH_4 se reduce a una tasa altamente dependiente de la tasa de movilidad del agua.

La cantidad de zeolitas requerida depende de las especies de peces, la concentración de población, el pH, la temperatura, el volumen, la calidad y la tasa de flujo de agua a través del lecho de zeolita. La regeneración de la zeolita se logra con una solución salina que permite la continua reutilización del lecho de intercambio iónico.

Como sustrato en filtros biológicos las zeolitas proporcionan un hábitat adecuado para el crecimiento de la población bacteriana requerida para la transformación de NH_4 a NO_3 y permanece efectiva como filtro químico capaz de modificar las fluctuaciones de los niveles de NH_4 en los sistemas. Esta propiedad realmente realza las funciones biológicas que hacen al NH_4 disponible para las bacterias a un nivel más estable, permitiendo así a esta población permanecer abundante durante períodos de baja contaminación de NH_4 . La población bacteriana puede entonces responder a cambios dramáticos en la concentración.

TRATAMIENTO DE AGUAS

Las zeolitas se usan en la remoción de gases perjudiciales en filtros de acuarios y estanques. Como sustancia de filtración, puede reducir la deposición de calcio en el agua, con lo cual se reducen los residuos en sistemas de irrigación.

Estanques Piscícolas

Las zeolitas son excelentes filtros para el tratamiento del agua. En las piscinas de natación se usan como sustituto de la arena de los filtros. Las ventajas de las zeolitas sobre la arena estriban en la capacidad de las primeras para retener mayor cantidad de suciedad.

También absorben el amonio. La eliminación del amoníaco inhibirá la formación de clorinatos, reduciendo así la demanda de cloro, permitiendo una atmósfera más agradable en áreas de piscinas.

Al reducir los clorinatos se reducirá enormemente el ácido hidroclicórico, proporcionando una mayor durabilidad a los filtros en los sistemas de recirculación de agua. Las zeolitas, por adsorción electrostática, facilitarán también una reducción del nivel total de sólidos disueltos.

El uso de zeolitas en los filtros, como sustituto de la arena convencional, extiende el tiempo necesario entre reemplazos. Las zeolitas mantendrán su eficacia como medio filtrante durante un período de entre 5 a 7 años. Donde el medio filtrante es zeolita se reducirá la demanda de cloro, lo cual representa un ahorro en los costos de mantenimiento, puesto que se reduce la necesidad del uso de sustancias químicas.

El ozono requiere un medio filtrante especial para removerlo después que ha esterilizado el agua. Las zeolitas tienen la capacidad para remover el ozono y otros contaminantes del agua, anulando la necesidad de medios especiales.

Dependiendo de los requerimientos para la eliminación de partículas, las zeolitas pueden sustituir la arena o ser usadas en combinación. El material retirado del filtro se puede limpiar mediante sencillos procedimientos y ser utilizado nuevamente.

Plantas de Tratamiento de Aguas

Por ser altamente selectivas con los iones de amonio, las zeolitas pueden extraer el nitrógeno amoniacal de las aguas residuales y efluentes industriales y agrícolas. El NH^+ es tóxico para peces y otras formas de vida, y contribuye enormemente al rápido crecimiento de algas, llevando a la eutrofización de lagos y corrientes.

En general, las crecientes regulaciones sobre los niveles permisibles de nitrógeno en efluentes municipales e industriales hacen imperativo encontrar medios de bajo costo para reducir el nitrógeno a niveles aceptables.

Basadas en datos de prueba de una unidad móvil de intercambio iónico en el Lago Tahoe, y subsecuentes estudios de ingeniería, se diseñaron plantas de tratamiento de aguas residuales en varias comunidades de los Estados Unidos.

Otra unidad experimental de 0.6 millones de galones por día (Mgd) estuvo en línea en Rosemont, Minnesota, y usó un total de 90 toneladas de clino malla 20x50 en seis columnas de 8.5 m³.

Como resultado de las unidades experimentales, uno de los primeros proyectos de gran escala en incorporar zeolitas en un sistema municipal de tratamiento de aguas se construyó para la Agencia de Saneamiento de Tahoe Truckee.

El sistema utiliza zeolitas como medio de intercambio iónico para la eliminación de amonio. El efluente municipal para por las zeolitas, que adsorben el amonio, dependiendo de la temperatura, la calidad del agua y de la tasa de flujo.

La regeneración del lecho para volverlo a emplear se logra tratándolo con una solución salina, el amonio se convierte en sulfato de amonio y se comercializa como fertilizante.

En Virginia, plantas de 54 Mgd y 10 Mgd para las áreas de Alexandria y Reston requieren 2000 y 400 ton. de zeolita, respectivamente. En vez de liberar el amonio en la atmósfera mientras se regeneran las columnas de intercambio iónico de zeolita, se agrega ácido sulfúrico para producir sulfato de amonio, el cual se vende localmente como fertilizante.

Un proyecto cercano a Denver, Colorado, usa zeolitas para la eliminación de amonio en un sistema de potabilización de agua. Sistemas semejantes están ahora en producción para remover varios contaminantes, incluyendo iones radioactivos y metales pesados de efluentes industriales.

Una alternativa para el tratamiento de agua es verter los efluentes sobre suelos naturales. En este caso el suelo filtra el contaminante del agua a medida que percola a la tabla de agua natural y se puede recuperar en pozos para volverla a utilizar.

El suelo, como un medio de intercambio iónico, es regenerado por medio de la demanda de elementos químicos en plantaciones con capacidad de eliminar muchos de los contaminantes.

Una limitación es la baja capacidad de intercambio catiónico de los suelos arenosos, pero se puede aumentar con la adición de zeolitas, que no impedirán la percolación.

En pruebas realizadas en la Universidad de Arizona se usó césped para regenerar el sistema, lo cual arrojó resultados satisfactorios y eficiencia en la eliminación del contaminante.

La adición de zeolitas mejora la captura de metales pesados. Un beneficio adicional del intercambio iónico de las zeolitas es que pueden extraer cantidades traza de metales pesados presentes en las aguas residuales.

Los sistemas de eliminación de cationes específicos de desechos industriales utilizando zeolitas como un componente del medio filtrante se han empleado para recuperar metales preciosos de las operaciones de galvanización, así como contaminantes industriales básicos del efluente.

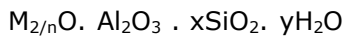
Excepto por el Japón, el uso de zeolitas en el tratamiento de aguas residuales en otros países está sólo en etapas de planeación.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LAS ZEOLITAS

Las zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos de metales alcalinos y alcalinotérreos, que tienen infinitas estructuras atómicas tridimensionales. Están caracterizadas por la habilidad para ganar y perder agua reversiblemente y por intercambiar ciertos átomos constituyentes, sin cambiar su estructura atómica.

Igual que el cuarzo y los minerales feldespatos, las zeolitas tienen estructuras tetraédricas de sílice (SiO_4) en las cuales los oxígenos de las esquinas de cada tetraedro se comparten con los tetraedros adyacentes. Si cada tetraedro de la estructura contiene sílice como átomo central, la estructura general es eléctricamente neutra, como el cuarzo (SiO_2).

En las estructuras de las zeolitas, algunas sílices tetravalentes son reemplazadas por aluminio trivalente, dando lugar a una deficiencia de carga positiva. La carga es balanceada con la presencia de átomos monovalentes y bivalentes, tales como sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) en cualquier lugar de la estructura. La fórmula empírica de una zeolita es del tipo:



Donde M es cualquier átomo alcalino o alcalinotérreo, n es la carga de ese átomo, x es un número entre 2 y 10, y y es un número entre 2 y 7

La fórmula química de la clinoptinolita, una zeolita común es:



Los átomos o cationes (átomos metálicos cargados) dentro del segundo par de paréntesis se conocen como átomos estructurales, porque con el oxígeno conforman el marco rígido de la estructura.

Aquellos dentro del primer par de paréntesis se conocen como iones intercambiables, porque ellos pueden ser reemplazados (intercambiados) más o menos fácilmente con otros cationes en solución acuosa, sin afectar el marco de aluminosilicato. Este fenómeno se conoce como intercambio iónico o más comúnmente como intercambio catiónico.

El proceso de intercambio involucra el reemplazo de un átomo intercambiable monovalente de la zeolita por un átomo monovalente de la solución acuosa, o el reemplazo de dos átomos monovalentes intercambiables de la zeolita por un átomo bivalente de la solución.

La magnitud de tal intercambio catiónico en una zeolita dada se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC) y se mide comúnmente en términos de mols de catión intercambiable por gramo (o 100 gramos) de zeolita, o en términos de equivalentes de cationes intercambiables por gramo (o 100 gramos) de zeolita.

Una mol de un átomo o catión es su peso molecular expresado en términos de granos (peso granomolecular); así, una mol de sodio (Na) pesa 22.99 gramos, y una mol de calcio pesa 40.08g. Porque el número de cationes en solución que pueden reemplazar cationes intercambiables en la zeolita depende de la carga de las especies siendo intercambiadas, i.e., 2 cationes de Na^+ pueden ser intercambiados por un catión de Ca^{2+} o un catión de Ca^{2+} puede ser intercambiado por dos cationes de K^+ .

Expresar la Capacidad de Intercambio Catiónico de una zeolita dada en términos de moles requiere que para cada reacción se establezca la naturaleza de los cationes intercambiables.

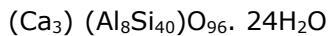
Expresar la CEC en términos de equivalentes (o miliequivalentes) elimina la necesidad de expresiones incómodas, porque el número de equivalentes siendo intercambiados es el mismo sin

importar la carga del catión.

Para calcular el peso equivalente (o peso gramo -equivalente) de un catión dado, el peso molecular (mol) debe ser dividido por la carga del catión. Así, el peso equivalente del calcio (Ca^{2+}) es $40.08/2 = 20.04$, la mitad del peso gramo -molecular. De aquí, una mol de Ca^{2+} (40.08g) sería igual a dos equivalentes de Ca^{2+} (20.04g), pero una mol de Na^+ (22.99g) sería igual a un equivalente de Na^+ (22.99g).

Para calcular la CEC de una zeolita dada, se debe conocer la fórmula química de la misma. Por ejemplo, usando la fórmula de la clinoptinolita presentada arriba, note que para cada unidad de fórmula, 3Na + 3K son intercambiables o 6 equivalentes de cationes son intercambiables para cada unidad de fórmula.

El peso de una unidad de fórmula puede calcularse añadiendo los pesos atómicos de los átomos constituyentes. Para la fórmula de la clinoptinolita, la cantidad es 2774.37g. Así, este mineral en particular tendría una capacidad de intercambio catiónico de 6 equivalentes por 2774.37g, o, recalculando, 0.00216 equivalentes por gramo, o 216 equivalentes por 100 gramos o 2.16 miliequivalentes (meq) por gramo. Si en esta fórmula cambiáramos N y K monovalentes por Ca bivalente, la fórmula resultante sería:



Note que sólo la mitad de los iones bivalentes de calcio son necesarios para balancear el número de iones monovalentes de sodio y de potasio.

Al calcular la CEC de la clinoptinolita con el calcio intercambiado se produce el mismo valor en términos de meq/g (realmente es muy ligeramente superior porque el peso molecular de 4 calcio es ligeramente menor que el peso molecular de 4 sodios + 4 potasio).

Usando CEC expresada en términos de miliequivalentes (mcci) por gramo (o 100 gramos) se hace fácil comparar cuanto de cualquier catión puede ser intercambiado por una zeolita por una zeolita en particular, sin tener preocupaciones sobre la carga del catión involucrado.

Es a veces deseable expresar la Capacidad de Intercambio Catiónico en términos de porcentaje de peso (e.g., cuantos gramos del ión amonio (NH_4^+) pueden ser intercambiados en 1 gramo de clinoptinolita, o cuantos gramos de cobre pueden ser removidos de una solución por 1 gramo de chabazita). Si el CEC de la zeolita es conocido (en términos de meq/g), esto es un cálculo fácil.

El número de miliequivalentes del catión dado (i.e., NH_4 o Cu^{2+}) debe convertirse a gramos multiplicando por el peso gramo-equivalente del catión.

Para cationes monovalentes, esto es lo mismo que multiplicar el peso gramo -molecular, pero para cationes bivalentes (e.g., Cu^{2+}), el número de meq/g debe ser multiplicado por la mitad del peso gramo-molecular (i.e., convirtiendo el peso gramo-equivalente a peso gramo-molecular).

De aquí, 1g de una muestra de clinoptinolita con una CEC de 2.00 meq/g podría cargar (intercambiar) 3.67% peso (g/100g) de NH_4^+ ; del mismo modo, 1 g de chabazita (CEC=3.70 meq/g) podría intercambiar 11.75% peso⁴ (g/100g) de Cu.

El cálculo es simple, sencillamente se multiplica la CEC del material zeolítico por el peso miliequivalente (i.e., 1/1000 del peso equivalente) de las especies atómicas involucradas.

PROPIEDADES FÍSICAS

Estabilidad Ácida	0-7 (pH)
Estabilidad Alcalina	7-13 (pH)
Densidad de Mena	1390 kg/m ³
Capacidad de Intercambio Catiónico (CEC)	1.0 - 2.2
Color	Blanco (Reflectancia Óptica 85)
Resistencia a la Trituración	176 kg/m ³
Dureza (Mohs)	3.5 - 4.0
Índice de Abrasión	24
Radio Molecular	5:1 (Si/Al)
pH (Natural)	8.0 (Aprox.)
Tamaño de Poro (Diámetro)	4.0 A°
Volumen de Poros	52% (Max)
Resistividad	9000 omhs/cm
Gravedad Específica	2.2 - 2.4
Área Superficial	40 m ² /g
Estabilidad Térmica	650°C
Otras	No soluble, fácilmente mezclable

Propiedades Ambientales

Las zeolitas son sustancias naturales, inertes y no tóxicas, clasificadas en los Estados Unidos como GRAS (Generally Regarded as Safe) en todas sus aplicaciones y están exentas de regulaciones cuando se usan de acuerdo con buenas prácticas agrícolas y constituyen menos del 2% en productos de alimentación animal. No se han detectado silicatos fibrosos y la sílice cristalina está presente en cantidades de menos de 0.01%.

Liberación Controlada de Fertilizantes

El Servicio Geológico de Los Estados Unidos (USGS) ha experimentado con zeolitas para ayudar a controlar la liberación al suelo de nutrientes de los fertilizantes.

El uso de fertilizantes solubles puede conducir a la contaminación de las aguas y a la pérdida de los nutrientes. El nitrógeno, por ejemplo, puede llegar por percolación a las aguas subterráneas y superficiales, especialmente en suelos arenosos, y el fosfato se puede fijar y no estar disponible para las plantas, especialmente en suelos tropicales.

Las zeolitas son minerales porosos con alta Capacidad de Intercambio Catiónico que pueden ayudar a controlar la liberación de los nutrientes para las plantas en los sistemas agrícolas. Las zeolitas pueden liberar nutrientes solubles presentes, mejorar la fertilidad y la retención de agua en el suelo. Por lo anterior, las zeolitas tienen una utilidad de gran escala en la agricultura.

Fertilizante con Liberación Controlada de Nitrógeno

La urea es uno de los fertilizantes de nitrógeno más comunes. Es muy soluble en agua y puede percolar a través de la zona radicular de las plantas. Además, la urea es convertida en iones de amonio por una enzima encontrada en la mayoría de los suelos.

Las bacterias de los suelos convierten esos iones de amonio en iones de nitrato que se lixivian

fácilmente. Agregando materiales zeolíticos en los fertilizantes se previenen esas pérdidas de nutrientes.

Un fertilizante con liberación controlada de nitrógeno se puede producir fácilmente calentando el material zeolítico a 400°C para desplazar totalmente el agua, molecular y capilar, que es reemplazada con urea en solución. La urea cristaliza alrededor de los 132°C.

La tasa de liberación de nitrógeno desde la zeolita se retarda en tres maneras: (1) la presencia de urea en los poros cristalinos del mineral previene su lixiviación de la zona radicular, (2) se retarda la conversión de urea por las enzimas de los suelos y con ello se retarda la formación de iones de amonio, y (3) colocando iones de amonio en los sitios de intercambio catiónico de la zeolita se les protege de las bacterias nitrificantes.

Zeolita saturada con potasio preparada con el método mencionado contiene aproximadamente 17%/peso de N elemental. La tasa de liberación de N se puede controlar cambiando la granulometría del mineral.

Fertilizante con Liberación Controlada de Fósforo

El fosfato (H_2PO_4) se puede suministrar a las plantas desde las rocas fosfato (rocas-F), compuestas principalmente por el mineral fosfato de calcio llamado apatito, mezclando la roca con zeolita cargada con un ion de intercambio tal como el amonio. LA reacción aproximada en una solución del suelo es:



La zeolita toma Ca^{2+} de la roca-F, liberando así tanto iones de fosfato como de amonio. A diferencia de la liberación de fertilizantes de fosfato muy solubles (por ejemplo, Super Fosfato), la liberación controlada de fosfato es el resultado de una reacción química específica en el suelo.

A medida que las plantas toman el fosfato o este es fijado en el suelo la reacción libera más fosfato y amonio en un intento por restablecer el equilibrio.

La tasa de liberación de fosfato se controla variando la relación roca-F a zeolita. El fósforo también se libera de la roca disminuyendo el pH del suelo a medida que iones de amonio se convierten en nitrato.

Los fertilizantes de liberación controlada se probaron en experimentos de vivero con sorgo usando zeolita (clinoptinolita) saturada de NH_4 y roca-F con una tasa de aplicación de fosfato de 340 mg por kilo de suelo, y relaciones zeolita/roca-F variando entre 0 y 6. Las producciones recogidas en cuatro cosechas fueron hasta 4 veces mayores que en experimentos de control.