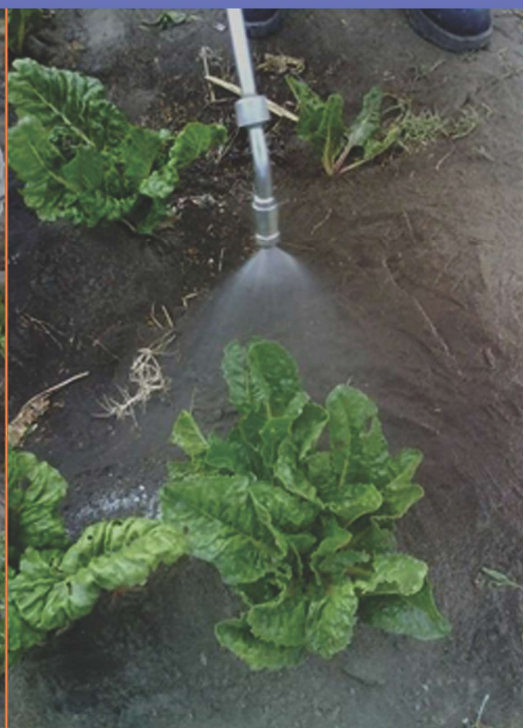


EL SUELO Y LOS ABONOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL



Autores:

Franklin Arcos Torres
Jessica Paola Arcos Logroño
Miguel Osorio Rivera



EL SUELO Y LOS ABONOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL



EL SUELO Y LOS ABONOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

**José Franklin Arcos Torres
Jessica Paola Arcos Logroño
Miguel Ángel Osorio Rivera**



AUTORES:

José Franklin Arcos Torres

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),
Panamericana Sur km 1 1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
jarcos@esPOCH.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-6465-3751>

Jessica Paola Arcos Logroño

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),
Panamericana Sur km 1 1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
paola.arcos@esPOCH.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-9462-2219>

Miguel Ángel Osorio Rivera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),
Panamericana Sur km 1 1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
miguel.osorio@esPOCH.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Primera Edición, Junio 2022



EL SUELO Y LOS ABONOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

ISBN: 978-9942-8986-8-5

Editado por:

Sello editorial: © Editorial I2D Investigación, Innovación y Desarrollo
978-9942-8986

ISBN Editorial: 114748

Nº Radicación:

Editorial: © SCALLMO Educación-Formación y Capacitación
Colombia 20-55 y 5 de Junio
Dirección de Publicaciones Científicas
Riobamba, Ecuador
Teléfono: 593 984 992306
Código Postal: EC0600111

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (*peer review*)

Corrección y diseño

Editorial I2D Investigación, Innovación y Desarrollo

Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Diseño, Montaje y producción editorial

Editorial I2D Investigación, Innovación y Desarrollo

Diseñador Gráfico: Santillán Lima, José Luis

Equipo editorial

Santillán Lima, Juan Carlos

Santillán Lima, Guido Patricio

Hecho en Ecuador

Made in Ecuador

CONTENIDO

CONTENIDO	i
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
1. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN Y	
ENMIENDAS.....	4
1.1 Importancia.....	4
1.1.1 Fertilización al suelo.....	6
1.1.2 Independencia de la actividad radicular	8
1.1.3 Alta capacidad de fijación de nutrientes por el suelo	11
1.1.4 Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el	
tiempo	12
1.1.5 Unidades de expresión para interpretar los resultados	
.....	14
1.2 Recomendaciones de fertilización	16
1.2.1 Partes esenciales de una recomendación	18
1.2.2 Criterios mínimos para acercarse a buenas	
recomendaciones.....	19
1.3 Elementos nutritivos en el sistema suelo - planta.....	23
1.3.1 Elemento asimilable	26
1.4 Dosis de fertilización.....	27
1.4.1 Usar tablas de dosis calibradas en base a niveles	
críticos	29
1.4.2 Ajustar dosis recomendadas en la literatura	31
1.4.3 Enfrentamiento de los 3 factores	36
1.4.4 Eficiencia de la fertilización	40
1.5 Conocimiento básico sobre el cultivo.....	47
1.5.1 Ciclo de vida y las etapas de desarrollo.....	48
1.5.2 Sistema radical.....	49
2 FERTILIZANTES ORGÁNICOS O ABONOS	51
2.1 Importancia de los abonos orgánicos.....	51
2.1.1 Abonos orgánicos	52
2.2 Procesamiento de los abonos orgánicos	53
2.3 Manejo y aplicación de los abonos orgánicos	56
2.3.1 Tipos de abonos orgánicos	57

2.3.2	Cálculo matemático para preparar abonos orgánicos procesados (relación C/N):	100
2.4	Biódigestores	102
2.4.1	Importancia del biodigestor	102
2.4.2	Tipos de Biodigestores	109
CAPÍTULO III		112
3 FERTILIZANTES INORGÁNICOS Ó QUÍMICOS.....		112
3.1	Importancia.....	112
3.2	Características de los fertilizantes	113
3.3	Clasificación de los fertilizantes inorgánicos	117
3.4	Épocas y métodos de aplicación de los fertilizantes.....	121
3.4.1	Época de aplicación	121
3.4.2	Métodos de aplicación	122
3.5	Cómo aplicar los fertilizantes	124
3.5.1	Al voleo	125
3.5.2	Localización en bandas o hileras	126
3.5.3	Aplicación en cobertera	127
3.5.4	Aplicación entre líneas	128
3.5.5	Aplicación foliar	129
3.6	Cómo determinar las necesidades de los fertilizantes	129
3.7	Rentabilidad por la fertilización	130
3.8	Cálculos sobre fertilización	131
3.8.1	Cálculo para aplicar fertilizantes por medio del fertirriego	134
3.8.2	Procedimiento para el cálculo de los fertilizantes. .	134
3.8.3	El área a regar	135
3.9	Desarrollo de ejercicios	136
CAPÍTULO IV.....		142
4 FERTILIZACIÓN FOLIAR		142
4.1	Importancia de la fertilización foliar	142
4.1.1	Qué es la fertilización foliar	144
4.1.2	Para qué sirve la fertilización foliar.....	144
4.1.3	Reemplaza la fertilización foliar a la fertilización de base	144
4.1.4	Cuáles son las ventajas de la fertilización foliar.....	145
4.1.5	Cuáles son las desventajas de la fertilización	145
4.2	Fisiología de la absorción foliar	146

4.2.1	Principios de la absorción de nutrientes por las hojas	147
4.3	Mecanismos de absorción de nutrimentos a través de ectodesmos	152
4.4	Fertilización foliar como suplemento de la aplicación de fertilizantes al suelo	155
4.4.1	Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el tiempo,	156
4.4.2	Eficacia rápida.	157
4.5	Fertilización foliar y la resistencia a enfermedades y plagas	158
4.6	Secretos de la fertilización foliar	158
4.6.1	Fina aspersión con neblina.	159
4.6.2	Garantía en tiempos de aplicación para el desempeño óptimo.	159
4.6.3	El follaje tierno es particularmente absorbente.	160
4.6.4	Uso de mejoradores foliares con variedad de nutrientes.	161
4.6.5	Monitoreo de conductividad y pH de la solución de aplicación.	161
4.6.6	Utilice un buen adherente en todas las aplicaciones foliares.	161
4.6.7	No utilice nutrientes foliares para reemplazar la nutrición natural del suelo.	161
4.7	Diferencias de la fertilización foliar y edáfica.	162
4.7.1	Independencia de la actividad radicular.	162
4.7.2	Alta capacidad de fijación de nutrientes por el suelo.	163
4.7.3	Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el tiempo.	163
4.8	Fertilizantes foliares	164
4.8.1	Fuentes de fertilizantes foliares	165
4.9	Movilidad de los nutrimentos al interior de la planta	174
4.9.1	Los nutrientes en la planta	175
4.9.2	Transporte de nutrientes inorgánico	176
4.10	Movilidad en la planta	177
4.10.1	Factores que afectan la movilidad	179
4.11	Importancia de los nutrientes	180

4.12	Absorción de los nutrientes por la raíz	183
4.12.1	Intercepción directa por la raíz	183
4.12.2	Movimiento por difusión y flujo masa de los nutrientes.....	184
4.13	Velocidad de absorción foliar.....	186
4.13.1	Factores que influyen en la velocidad de absorción foliar	186
4.13.2	Relacionados con la planta	186
4.13.3	Relacionados con el ambiente	187
4.13.4	Relacionados con la formulación foliar.....	187
4.14	Fitohormonas y reguladores de crecimiento.....	191
4.14.1	Auxinas.....	192
4.14.2	Giberelinas.....	196
4.14.3	Citoquininas.....	199
4.14.4	Etileno.....	200
4.14.5	Ácido Abscísico.....	202
4.15	Los quelatos	206
4.15.1	Los quelatos en la fertilización foliar	206
4.15.2	Clasificación de los agentes quelantes por su poder acomplejante	207
4.15.3	Clasificación de los agentes quelantes por su proceso de fabricación y estabilidad	208
4.15.4	Características que debe tener un quelato.....	211
4.15.5	Tipos de quelatos sintéticos comerciales.....	212
4.16	Sulfatos	214
4.16.1	Características de los sulfatos.....	215
4.16.2	Atributos específicos	216
4.16.3	Formas de sulfatos.....	219
4.16.4	Enmiendas	220
5	FERTIRRIEGO.....	223
5.1	Importancia en la agricultura.....	223
5.2	Calidad del agua de riego	223
5.2.1	Características químicas del agua para riego.....	225
5.2.2	Parámetros de calidad del agua.....	229
5.2.3	Recomendaciones del régimen de fertirriego	231
5.2.4	Alternativas en los sistemas de fertirriego.....	231
5.2.5	Acción sobre las plantas	234

El suelo y los abonos en la nutrición vegetal

5.2.6	Acción sobre el suelo.....	236
5.2.7	Toxicidad.....	238
5.2.8	Problemas de infiltración.....	239
5.3	Soluciones nutritivas	243
5.3.1	Formulación de los nutrientes.....	243
5.3.2	Requerimientos nutrimentales para preparar soluciones nutritivas.	245
5.3.3	Preparación de la solución nutritiva	246
5.3.4	Control de la solución nutritiva	246
5.3.5	Solución nutritiva preparada a partir de líquidos concentrados	248
5.4	Hidroponía.....	252
5.4.1	Proceso hidropónico	252
5.4.2	Propiedades de los sustratos	254
5.4.3	Clasificación de los sustratos.....	257
5.4.4	El agua de riego en el cultivo hidropónico	257
5.4.5	Soluciones nutritivas.....	258
5.4.6	Ventajas de la hidroponía,	259
5.4.7	Desventajas de la hidroponía	261
SIMBOLOGÍA		268
GLOSARIO DE TÉRMINOS		271
DE LOS AUTORES		284
JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES		284
JESSICA PAOLA ARCOS LOGROÑO.....		285
MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA		286

Arcos Torres J., Arcos Logroño J., Osorio M.,

INTRODUCCIÓN

El suelo, los abonos y la nutrición de las plantas, son consideradas como parte elemental y fundamental en el estudio de la ciencia del suelo. Este trabajo escrito está basado en la información sobre la composición, las propiedades y las diferentes reacciones químicas que ocurren en los suelos, se aclaran algunos problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal; que acompañados con los resultados de los análisis químicos permiten formular las respectivas recomendaciones de fertilización adecuadas y sirve de base en la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal.

El estudio abarca un conocimiento amplio sobre: biología, física, química, botánica, fisiología, edafología y microbiología del suelo que se constituyen en los pilares fundamentales de la ciencia del suelo; mientras que la fertilidad, la conservación y el manejo del suelo acompañados de la actividad práctica involucran una estructura técnica para una correcta gestión de este recurso, y, se utiliza su comprensión para demostrar y cristalizar ciertos principios que afiancen los aspectos socioeconómicos del sector agropecuario y de sus alcances para el bienestar de todo ser humano, que hoy en día mucha falta hace.

Lo que se trata de poner en este texto es una serie de conocimientos básicos sobre el suelo, que consiste en como mejorar la fertilidad de un suelo, conocer aspectos sobre la nutrición de las plantas, como interpretar y realizar una evaluación química del suelo, para orientarse hacia un manejo nutricional adecuado y establecer las recomendaciones de fertilización en forma organizada, que se constituya en un instrumento o herramienta de apoyo didáctico para el uso racional del suelo, puesto que, el único deseo es, el de contribuir de manera positiva en el proceso de enseñanza - aprendizaje.

El texto, no pretende de ningún modo constituirse en algo definitivo, por el contrario, será un punto de partida para que se vaya ampliando el conocimiento y apoyados con las actividades prácticas y la experiencia se pueda ir argumentando aún más en cada uno de los temas aquí tratados.

El propósito de elaborar el presente documento, es el de, presentar algunos conceptos fundamentales sobre la fertilidad del suelo y el empleo de los fertilizantes de manera apropiada para los estudiantes de las carreras de Agronomía, Forestal y Ambiental en las Facultades de Ciencias y Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Es sin duda un texto muy importante, y su valor fundamental

El suelo y los abonos en la nutrición vegetal

está dirigido para aquellos profesionales y personas que se interesen por aprender algo más sobre las bondades del recurso natural suelo con fines productivos.

CAPÍTULO I

1. RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN Y ENMIENDAS

1.1 Importancia

El principal objetivo del sistema de recomendación para la fertilización consiste en elevar y mantener las cantidades de nutrientes necesarias para obtener un óptimo retorno económico, pero preservando el medio ambiente. Cada etapa del diagnóstico requiere de una atención especial para no cometer graves errores. Así, por ejemplo, un correcto muestreo de suelos es difícil de llevar a cabo, en especial, bajo sistemas de siembra directa que fertilizan en la línea de siembra, aumentando mucho la variabilidad tanto horizontal como vertical.

Las nuevas recomendaciones de fertilización y encalado, presentadas en este trabajo, representan un avance muy importante en el sistema de producción por tener flexibilidad en su uso, siendo las dosis específicas para cada situación, y dejando la decisión final para el técnico. En consecuencia, la aplicación de los fertilizantes puede estar direccionada al uso de productos químicos, orgánicos y foliares; así como, a las correspondientes labores de

enmiendas, de ser necesario, como el encalado o la puesta de azufre en las tierras agrícolas.

Por lo tanto, el objetivo general de la fertilización es “*la obtención de los máximos rendimientos con el mínimo de costos*”. Según la tendencia actual, el objetivo conlleva algo más allá: Obtener rendimientos altos, sostenidos y sin el deterioro del ambiente, costos mínimos, sustituir la fertilización con prácticas agronómicas que permitan utilizar eficientemente las fuentes naturales de los elementos atmosféricos y del suelo para mejorar la calidad del producto.

Para el cumplimiento de los objetivos, dependerá de que la recomendación de fertilización sea lo más acertada posible (*eficiencia*), que el componente nivel tecnológico esté relacionado con el uso de variedades de alta productividad, buenos requerimientos nutricionales, uso de semillas de alta calidad genética, adecuada preparación del suelo, optima densidad de siembra, uso de adecuadas láminas de riego, control oportuno de plagas, enfermedades y malezas, uso racional de las enmiendas, adecuada rotación de cultivos y el control de la erosión.

El conocimiento de los niveles de nutrientes en el suelo, la composición físico química del mismo, los niveles de extracción de los distintos cultivos y el estado nutricional de

éstos es la fase inicial de cualquier intento de una mejora cuantitativa y cualitativa de la producción, así como el elemento básico para lograr un uso racional y equilibrado de los fertilizantes, que permitirá evitar tanto el despilfarro económico como las posibles consecuencias con respecto a la contaminación del suelo y el agua.

1.1.1 Fertilización al suelo

Una de las bases de la agricultura, es conseguir una “buena tierra” en donde se pueda sembrar, recoger una gran producción, y que ésta sea de gran calidad. Pero, las Naciones Unidas estableció el año 2015, como el año internacional de los suelos. Es por ello, la importancia de los suelos para la agricultura y por tanto para la seguridad alimentaria del planeta, es de gran trascendencia y existe una gran preocupación por el rápido deterioro de las tierras y su pérdida de fertilidad. Se advierte que, las condiciones del suelo se están deteriorando en todo el mundo.

La población mundial crece constantemente, y todos quieren comer y tener un techo propio; pero, las tierras cultivables se reducen más y más. Cada año se pierden 24 mil millones de toneladas de suelo fértil, debido a la erosión, las

inundaciones, las construcciones, la extracción de recursos o por la sobre explotación en la agricultura.

Para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos es común fertilizar al suelo con los elementos N, P, K, Ca, Mg, (*macronutrientes*), aunque se conoce que su absorción por las raíces puede estar entre el 30 - 90 % según las características del suelo o tipo de sustrato, el riego, tipo de fertilizante, método de aplicación, etc. Para obtener buenos rendimientos o cosechas, se necesita manejar de forma eficiente los factores de la producción: Agua, Suelo, Planta, Control fitosanitario y Clima.

El suelo necesita materia orgánica y fertilizantes químicos para mejorar su producción. Los fertilizantes químicos, deben ser aplicados de forma racional, previo al análisis químico del suelo. De no ser así, se estará contribuyendo a degradar el suelo en corto tiempo.

Dentro de los problemas más comunes de la utilización de los nutrientes del suelo por la planta, se mencionan a cambios químicos de los elementos como precipitados o fijaciones a partículas del suelo. El lavado de ciertos elementos, la heterogeneidad del suelo y el volumen ocupado por las raíces, pérdida de elementos en forma de gas,

utilización de nutrientes por la flora y fauna microbiana, entre otros.

La fertilidad del suelo, es uno de los factores determinantes de la *productividad*. Es decir, un suelo es *fértil*, cuando sus condiciones agronómicas soportan el desarrollo sostenido de un cultivo. Mientras que, un suelo es *productivo*, cuando mantiene su fertilidad, es decir, una relación óptima entre: agua – suelo y planta.

1.1.2 Independencia de la actividad radicular

La parte oculta de las plantas, es decir, su sistema radical es el encargado de satisfacer diferentes requerimientos, como su anclaje en el sustrato, la adquisición y el transporte de los recursos del suelo (agua y nutrientes), y el almacenamiento de los mismos. Es por eso que, conocer y estudiar el sistema radicular de una planta o de un cultivo es una actividad muy recurrente, sobre todo en términos de su profundidad y distribución, y su comportamiento fenológico en relación con la fenología de la parte aérea. Las propiedades arquitecturales de las plantas determinan en buena medida las interacciones de competencia, complementariedad, o compensación.

La biomasa y la distribución de los sistemas radicales de las plantas cambia de manera predecible en los diferentes

biomas del mundo, y están involucradas en el control de los ciclos bioquímicos e hidrológicos de los ecosistemas terrestres. Las raíces gruesas intervienen en el bombeo de agua y nutrientes de las capas profundas hacia las superficiales del suelo, contrarrestan, por lo tanto, los efectos de la lixiviación de minerales, y mejoran la fertilidad del suelo y la eficiencia en el uso de los recursos.

El sistema radicular lo integran, tanto raíces gruesas como raíces finas (pelos radicales) que difieren en su distribución en el perfil del suelo, su desarrollo, longevidad, estructura, y funcionamiento. Es más común encontrar las raíces finas en la superficie.

Los pelos radicales están de manera directa involucrados y son esenciales en la absorción del agua y nutrientes minerales de la solución del suelo. Varios estudios han demostrado que las raíces gruesas son importantes en la absorción de agua, de manera particular del agua profunda. Además, estas raíces almacenan agua, carbohidratos, minerales, mucílagos, y otras sustancias, que juegan un papel muy importante en el control de la fenología de las especies, y en la recuperación posterior a varios tipos de estrés.

Durante la etapa del llenado del grano o fruto de los cultivos anuales y perennes de alto rendimiento se produce una

alta competencia para obtener asimilados (*producto de la fotosíntesis*) por parte de diversos sumideros (*zonas de necesidad*) en la planta.

En esta etapa las raíces no están adecuadamente suplidas con energía en forma de carbohidratos y por esta razón, la adquisición de nutrientes por las raíces (*en esta etapa de alto requerimiento*) no es suficiente para satisfacer la demanda y la aplicación foliar suplementa esta necesidad.

La adquisición de nutrientes por las raíces puede inhibirse también por la presencia de factores externos que reducen la actividad radicular. Estos factores físicos y químicos pueden ser baja temperatura, compactación, falta de oxígeno, sequía, alta salinidad o pH extremos, y las propiedades químicas de la solución del suelo.

Una de las características más sobresalientes de los sistemas radicales de las plantas es su asociación simbiótica casi universal con hongos habitantes del suelo, que culmina con el desarrollo de las micorrizas. Asociaciones que frecuentemente mejoran la nutrición mineral de las plantas hospederas al facilitar la absorción del agua y fósforo (P) en el caso de las micorrizas y la fijación del nitrógeno atmosférico en el caso de *Rhizobium*.

1.1.3 Alta capacidad de fijación de nutrientes por el suelo

Los procesos involucrados en la disponibilidad de los principales nutrientes para las plantas son de carácter biológico (reacciones realizadas por organismos vivos) y de carácter abiótico (reacciones químicas y físicas). Los procesos más importantes son:

- *Mineralización*, liberación de minerales de las moléculas orgánicas (proceso biológico: microorganismos)
- *Asimilación*, incorporación de minerales en las moléculas orgánicas (proceso biológico: microorganismos y plantas)
- *Solubilización*, liberación de nutrientes disponibles desde los sedimentos y roca madre (proceso biológico y abiótico)
- *Volatilización*, transformación de compuestos solubles en gases (proceso biológico y abiótico)
- *Precipitación atmosférica*, transformación de gases en compuestos solubles (proceso abiótico)
- *Fijación*, transformación de gases en compuestos orgánicos (proceso biológico)
- *Sedimentación*, precipitación de compuestos solubles (proceso abiótico)

- *Lixiviación*, movimiento de compuestos solubles hacia horizontes profundos del suelo y acuíferos (proceso abiótico), y
- *Escorrentía*, arrastre de compuestos solubles y sedimentos por corrientes de agua superficial (proceso abiótico)

Todos los nutrientes minerales participan del ciclo orgánico – inorgánico (asimilación – mineralización), sin embargo, no todos los nutrientes presentan todos los procesos mencionados, ni tienen la misma magnitud.

En el caso de suelos con extrema capacidad de fijar o precipitar nutrientes la aplicación foliar puede ser una buena alternativa. En general, la fertilización foliar con micronutrientes en cultivos está creciendo en zonas áridas o semiáridas, produce una excelente respuesta en crecimiento y rendimiento.

1.1.4 Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el tiempo

Durante etapas específicas del crecimiento de la planta existen requerimientos más altos de nutrientes o de nutrientes específicos. La aplicación a las hojas es una mejor técnica para entregar estos nutrientes en la etapa requerida.

La curva de absorción es la representación gráfica de la extracción de un nutriente y representa las cantidades de este elemento extraídas por la planta durante su ciclo de vida. Por lo tanto, la extracción de nutrientes, depende de diferentes factores tanto internos como externos, de entre ellos los más sobresalientes son:

- *Factores internos*, el potencial genético de la planta; la edad de la planta, o estado de desarrollo de la misma, se pueden asociar puntos de máxima absorción con puntos clave de desarrollo como prefloración, floración, fructificación, etc. Estas etapas de alta demanda en las plantas, se presentan generalmente durante el desarrollo floral y la polinización.
- *Factores externos*, son aquellos que se relacionan con el ambiente donde se desarrolla la planta, como la temperatura, humedad, brillo solar, luminosidad, etc.

Según el comportamiento de las curvas de absorción se determinan las épocas de mayor aprovechamiento de los nutrientes durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez, permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes en los programas de fertilización, que generalmente deberán ocurrir unas dos semanas antes de este pico de alto requerimiento de los nutrientes. Con esto se logra maximizar el

aprovechamiento de los fertilizantes, las curvas de absorción permiten también, conocer la calidad nutritiva, en cuanto a contenidos de nutrientes, de las partes de la planta de consumo humano o animal.

1.1.5 Unidades de expresión para interpretar los resultados

El laboratorio proporciona los resultados de las principales determinaciones al técnico o al agricultor, mismos que interpretará en función del cultivo y del nivel de fertilidad. La interpretación de los resultados de los análisis de suelos es compleja, a pesar de que en principio consiste en correlacionar los resultados analíticos y las necesidades de los cultivos. La principal dificultad nace debido a que el contenido en nutrientes de los suelos no es el único factor del que depende el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Es importante conocer las necesidades de las plantas y los niveles de elementos nutritivos que hay en el suelo, para después estudiar la eficacia de las dosis de fertilizantes calculados en función de los datos resultantes de los análisis de suelos. Se recomienda repetir los análisis en el tiempo y observar paralelamente el comportamiento del cultivo de cara a optimizar la futura fertilización.

Los distintos niveles de fertilidad del suelo (pobre, medio, alto, etc.) se obtienen de manera experimental evaluando si los cultivos responden o no a los aportes de distintas dosis de fertilizantes calculadas para diferentes riquezas de nutrientes en el suelo (Figura 1-1).

Químicamente, se utilizan diversas unidades de medida que permiten cuantificar la presencia de los nutrimentos en el suelo, independientemente de los diferentes tipos de laboratorios, estos pueden ser expresados e interpretados de la siguiente manera:

- La presencia de la salinidad del suelo, las unidades a utilizar y expresar son los mmhos/cm, mS/cm, dS/m, μ S/cm y g/L.
- Para expresar el contenido nutricional de los elementos presentes en el suelo, se utilizan los μ g/ml, mg/kg, mg/L, g/m³, g/t y las partes por millón (ppm).
- El contenido de materia orgánica y la presencia de carbonatos de calcio (CaCO₃) se realiza en porcentaje (%).
- En la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se aplican los meq/100g. o eq/kg de muestra.
- En cambio, para preparar soluciones nutritivas, se manifiesta el uso de ppm, mg/L, g/m³, μ mol/g, mmol/L

o mmol/kg, Cmol/L, mol/m³ y no puede faltar los Kg/ha, como medida universal.

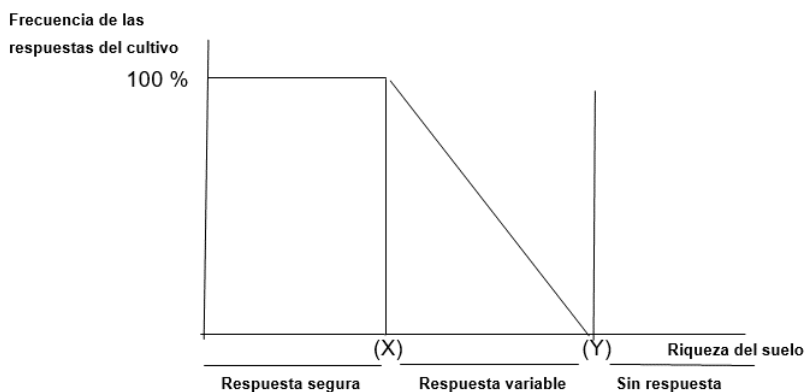


Figura 1-1. Riqueza del nutriente en el suelo

1.2 Recomendaciones de fertilización

Los productores agrícolas, buscan al técnico o profesional para obtener respuestas y mejores maneras de producir. Cuánto más correctas sean sus respuestas, mayor será la confianza que ellos le depositarán. Información que está diseñada para enseñar a los agricultores sobre el uso apropiado de los fertilizantes, y que debería ser parte de un programa integrado de buenas prácticas agrícolas tendientes a mejorar la producción de los cultivos y de manera consecuente los ingresos de los agricultores.

Los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. Con el buen uso de los fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad. Con los fertilizantes se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobre explotados. Todo este conjunto de acciones, promoverá el bienestar de su pueblo, de su comunidad y naturalmente del país.

En los países en desarrollo, la mayoría de los agricultores activos del sector de producción de alimentos son agricultores de pequeña escala que forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y de tecnologías mejoradas es muy importante para ellos, dado que la mejora de la productividad resulta no sólo en más alimentos, sino también, en más ingreso.

Todavía no se ha estimado exactamente, la contribución de los fertilizantes minerales al aumento de la producción agrícola, debido a la interacción de muchos otros factores importantes. No obstante, los fertilizantes continuarán jugando un papel decisivo, y esto sin considerar o tomar en cuenta cuáles de las tecnologías nuevas puedan aún surgir. Se estima que, a escala mundial, de forma aproximada el 40 % (del 37 % al 43 %) del suministro proteínico de la dieta a mediados de la década de los noventa, tuvo su origen en el nitrógeno sintético.

Para ofrecer buenas recomendaciones de fertilización es imprescindible considerar aspectos de carácter técnico y tomar la decisión oportuna para cada situación específica.

1.2.1 Partes esenciales de una recomendación

Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos serán reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando. Con el aporte de los fertilizantes y el incremento de nutrientes al suelo, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún hasta triplicarse.

La eficiencia de los fertilizantes y la respuesta de los rendimientos en un suelo en particular, puede ser fácilmente analizada agregando diferentes cantidades de fertilizantes (dosis) en parcelas adyacentes, midiendo y comparando los rendimientos de los cultivos en estudio. Ensayos que, además, mostrarán otro efecto muy importante al empleo de los fertilizantes, a saber, que ellos aseguran el uso más eficaz de la

tierra, y de manera especial el aprovechamiento del agua; consideraciones que permite definir el tipo de cultivo a utilizar, si son dependientes de las lluvias, o si tendrán que ser sometidos a irrigación, en este caso el rendimiento por unidad de agua utilizada puede ser más que duplicada.

Para generar buenas recomendaciones de fertilización para los cultivos, en primer lugar, se debe considerar el análisis físico, químico y biológico del suelo, y después la:

Fuente del fertilizante ¿Qué aplicar?

Cantidad o dosis del fertilizante ¿Cuánto aplicar?

Método de aplicación del fertilizante ¿Cómo aplicar?

Época de aplicación del fertilizante ¿Cuándo aplicar?

Rentabilidad económica de la aplicación.

1.2.2 Criterios mínimos para acercarse a buenas recomendaciones

En el sistema de producción agrícola se puede realizar un balance anual de pérdidas y ganancias en los elementos minerales. Los tres elementos principales (carbono, hidrógeno, oxígeno), forman alrededor del 95 % de la materia seca de los vegetales, las plantas obtienen estos directamente del agua o del aire. Lo que más nos interesa es el balance del 5 % restante. Es por ello que, para hablar del balance de nutrientes es

necesario considerar las extracciones (salidas) e importaciones (entradas).

Con las recomendaciones de fertilización se pretende cubrir el esperado déficit existente entre las entradas y salidas de nutrientes en el suelo, con el único objetivo de mantener o incrementar la fertilidad presente y futura del mismo, no malgastar recursos no renovables ni energía y no introducir tóxicos o contaminantes en el agroecosistema. Por ello, el manejo ecológico del suelo debe tener como finalidad, además de aportar los nutrientes que necesite el cultivo, aumentar o mantener la fertilidad del suelo. Para lo cual, el productor o técnico agrícola deberá poner en marcha algunas sugerencias. Para elaborar una buena recomendación sobre el manejo nutricional de un determinado cultivo en un sitio dado, es fundamental realizar un análisis muy profundo de la siguiente información:

1.2.2.1. Características del cultivo

De manera especial, la duración del ciclo, las etapas fenológicas o de desarrollo, la botánica (*especialmente de la raíz*), los requerimientos nutricionales totales y durante el ciclo, y las épocas de máxima absorción.

La fenología consiste en los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta o cultivo, los cuales son

el resultado de las condiciones ambientales y de los aspectos nutricionales que encuentre en el suelo, es una tarea muy importante para el agrónomo y los agricultores, puesto que ello servirá para efectuar futuras programaciones de las labores culturales, riegos, fertilizaciones, control de plagas y enfermedades, aporques, identificación de épocas críticas; asimismo le permite evaluar la marcha del proceso agrícola y tener una idea concreta sobre los posibles rendimientos de sus cultivos, mediante pronósticos de cosecha, puesto que el estado del cultivo es el mejor indicador del rendimiento.

1.2.2.2. Condiciones ambientales del sitio,

La temperatura, precipitación (cantidad y distribución), humedad relativa, presencia de vientos, luminosidad, radiación solar y época del año.

1.2.2.3. Características del suelo,

Como son condiciones físicas, químicas y biológicas; estimación de la eficiencia de la fertilización para cada nutrimento, topografía y relieve.

1.2.2.4. Resultados de experiencias previas de fertilización de campo,

Como ensayos o parcelas en campo abierto o bajo invernadero, apoyados en las anotaciones o cuadernos de campo que garanticen el trabajo realizado. Deben

fundamentarse en experimentos realizados en la finca, que brinden información sobre las repercusiones en el rendimiento de las cosechas, de dosis utilizadas, de combinaciones de nutrientes realizadas, sobre el momento oportuno de aplicar y en dónde obtenerlos. Además, deben ser sencillos y de dos tipos: *i)* pruebas específicas en el sitio del que se trate, y *ii)* ejercicios de comprobación.

Los experimentos de campo sirven para proporcionar información cuantitativa sobre el suministro de nutrientes de los suelos y los residuos orgánicos, y sobre los efectos a corto plazo en el rendimiento de los cultivos de los fertilizantes minerales aplicados en formas y cantidades diversas. Esto ofrece una base fundamental para asesorar a los agricultores y experimentar, y mejorar los sistemas de asesoría técnica.

1.2.2.5. Manuales de producción del cultivo o manual general de recomendación de fertilización.

La asesoría en materia de las cantidades de nutrientes que se deben aplicar puede depender de los resultados obtenidos en los experimentos realizados en el campo, en el análisis de suelo o de las plantas, hacer un balance general de nutrientes, de modelos matemáticos de la dinámica de los nutrientes, o de una combinación de métodos. A falta de información más pormenorizada, conocer las cantidades de

nutrientes que eliminan los cultivos en el nivel buscado de producción proporciona un punto de partida para calcular las necesidades de elementos nutritivos.

1.2.2.6. Nivel tecnológico de manejo,

Comprende el área y la densidad de siembra, preparación del suelo (labores pre-culturales y culturales), manejo de la fertilización edáfica y foliar, características de la variedad, condiciones de manejo (sombra, poda, labores de protección), controles fitosanitarios, malezas y riego, etc. Además, conocer los objetivos de producción, los recursos disponibles, las necesidades del consumo, las oportunidades de mercado y las condiciones meteorológicas. Debería probarse un paquete tecnológico que incluya utilizar nutrientes vegetales de orígenes diversos, a través de una red de fincas experimentales locales, para comprobar su idoneidad y evaluar su aceptación.

1.3 Elementos nutritivos en el sistema suelo - planta

La nutrición vegetal básica para un óptimo desarrollo de los cultivos, depende de la capacidad del suelo para suministrar todos y cada uno de los elementos nutritivos, sean macro y micro nutrimentos, la forma, cantidad y momentos adecuados a las exigencias.

Sólo una pequeña parte de cada nutriente presente en el suelo se encuentra disponible para las plantas (2 %). El resto (98 %) aparece en formas no asimilables por las plantas, es decir, se halla firmemente ligado a la fracción mineral y a la materia orgánica, resultando inaccesible mientras no se vea afectado por los procesos de descomposición. Éstos ocurren lentamente, durante largos periodos, y los nutrientes son liberados de modo gradual.

Los elementos nutritivos que las plantas absorben del suelo proceden de las rocas (a excepción del N, que procede del aire), que al degradarse lentamente se convierten en compuestos solubles. Estos compuestos se disocian en el agua del suelo en iones positivos (cationes) y negativos (aniones), y bajo estas formas son asimilados por las plantas.

Los iones pueden estar libres en la disolución del suelo o pueden ser adsorbidos por las partículas coloidales del mismo. Los aniones y una pequeña parte de los cationes están contenidos en la disolución del suelo, mientras que la mayoría de los cationes están adsorbidos en el complejo coloidal. Los iones adsorbidos por las partículas coloidales pueden ser absorbidos directamente por las raíces o, más frecuentemente, pasar primero a la solución del suelo, de donde son absorbidos por las raíces. Cuando un ion pasa de la disolución a la planta,

otro ion pasa del complejo a la disolución, con el fin de mantener el equilibrio dinámico en el suelo, o una concentración adecuada de iones.

Por lo general, la cantidad de macronutrientes que necesita absorber las plantas para poder desarrollar su ciclo de vida es sensiblemente mayor que la de los micronutrientes. De este modo, se explica el hecho de que la absorción de macroelementos por las cosechas puede representar una cantidad importante en comparación con las reservas de dichos elementos contenidos en el suelo. Esto demuestra la necesidad de adicionar abonos y fertilizantes a la mayor parte de los suelos agrícolas.

La proporción de los macronutrientes extraída por las cosechas puede suponer en la práctica la totalidad de las existencias en el suelo, mientras que, en la extracción de micronutrientes del suelo, esas cantidades nunca suponen una proporción tan alta con respecto del total, sino que, en general, sólo representan un pequeño porcentaje de la cantidad total existente en el suelo.

Esto hace suponer que, salvo excepciones, no deberían aparecer deficiencias en cuanto a la nutrición de los cultivos, y sin embargo esto no es así. Hay que tomar en cuenta que, por sus características, los microelementos tienen una movilidad,

en general, escasa derivada de factores condicionantes por lo que, son poco asimilables por las plantas. El nivel de fertilidad de un suelo para cada nutrimento está en función de los laboratorios y se manifiestan como: *muy pobre o insuficiente, pobre o bajo, medio o normal, alto o suficiente, rico, muy rico o en exceso.*

1.3.1 Elemento asimilable

Concepto: corresponde a cualquier elemento nutritivo que en condiciones físico químicas determinadas en el sistema suelo planta está en disposición de ser absorbido por la planta, es una característica *cualitativa y cuantitativa*. Además, se consideran tres conceptos o parámetros:

1.3.1.1. Capacidad, es la cantidad de elementos en las diversas fracciones del suelo (*adsorbido, fijado, precipitado, etc.*) que está en equilibrio con el elemento en solución.

1.3.1.2. Intensidad, es la concentración del elemento en el suelo, que en gran parte determina la absorción por la planta.

1.3.1.3. Velocidad o movimiento, es la medida en la que se repone la solución del suelo que en gran parte determina la absorción por la planta.

1.4 Dosis de fertilización

Las mejores prácticas de manejo de fertilizantes (MPMF), en el uso de fertilizantes como: dosis, fuente, momento y ubicación interactúan entre ellas con las condiciones edafo -climáticas y las otras prácticas de manejo de suelo y cultivo. Es por ello que, la combinación adecuada de - dosis – fuente – momento – ubicación, es específica para cada condición de lote y/o sitio. Las MPMF no solo afectan al cultivo inmediato, sino frecuentemente a los cultivos subsiguientes en la rotación. Las decisiones de implementación de las MPM de fertilizantes impactan la productividad y sustentabilidad del suelo un recurso finito no renovable sobre el que se basa la producción agropecuaria nacional.

Los principios científicos específicos del sistema 4Cs/4Rs fundamentan los MPM de cultivos y uso de fertilizantes, están relacionadas con el uso de la fuente correcta aplicada a la dosis correcta en el momento y formas correctas.

- La *fuentes* que consiste en: abastecer formas disponibles, ajustar a las condiciones del suelo, reconocer sinergias, y la compatibilidad de mezclas.
- La *dosis* que comprende: evaluar el abastecimiento de nutrientes en el suelo, evaluar todas las fuentes de nutrientes del suelo y del aire, evaluar la demanda de

los cultivos, y predecir la eficiencia de uso del fertilizante.

- El *momento* que corresponde: evaluar los momentos de demanda nutricional del cultivo, evaluar la dinámica de abastecimiento de nutrientes del suelo, reconocer los efectos de factores climáticos, y evaluar la logística de operaciones.
- La *forma* que consiste en: reconocer la dinámica suelo – raíz, manejar la variabilidad espacial, ajustar las necesidades del sistema de labranza, y limitar el transporte potencial fuera de campo.
- Las interacciones entre los nutrientes son muy importantes debido a que la deficiencia de uno puede restringir la absorción y la utilización de otros: importancia de la *nutrición balanceada* de los suelos y los cultivos.

Para definir la dosis de fertilización adecuada para un cultivo existen varios mecanismos, en lo absoluto excluyentes, sino más bien complementarios. La mejor dosificación provendrá del buen uso de todos los recursos al alcance. Las alternativas son:

1.4.1 Usar tablas de dosis calibradas en base a niveles críticos

El uso del análisis de suelo como un medio para determinar el estado de fertilidad, en términos de disponibilidad adecuada o excesiva de los elementos presentes en el suelo para las plantas, está basada en la teoría de que existen ciertos niveles críticos en relación al método analizado. Cuando el nivel de un elemento medido en el suelo está por debajo de ese nivel crítico, el crecimiento de la planta estará restringido por el grado en que ese elemento se encuentra debajo de dicho nivel. También se manifiesta que, el nivel crítico del análisis de suelos como el punto debajo del cual la probabilidad de una respuesta económica a la adición a fertilizantes es alta y por encima del valor crítico el elemento deja de ser un factor limitante.

El recurrir a las tablas calibradas con actividades de campo asociados con niveles críticos de análisis de suelos con respuestas de rendimiento a dosis dadas (*procedimiento simple y directo*) para deducir la dosis de fertilización.

Para un grupo de suelos definidos, se cuenta con los niveles críticos apropiados para un determinado cultivo, se puede establecer investigaciones sistemáticas de campo con esos niveles bajos (Tabla 1-1).

Con esta información de respaldo se puede generar un cuadro de doble entrada. Para decidir la dosis a aplicar basta con comparar el nivel existente en el suelo con la tabla y establecer si el nivel es bajo, medio o alto.

Tabla 1-1. Recomendación de fertilización para el cultivo de papa

Interpretación del análisis	Kg/ha		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bajo	200	300	200
Medio	150	200	150
Alto	100	100	100

Fuente: Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino. Boletín Técnico No. 127, INIAP 2009.

Las tablas llevan implícita la eficiencia de la fertilización, es decir, no se necesita considerar los valores asignados para cada elemento nutritivo; el país dispone de un folleto sobre recomendación de fertilización para diferentes cultivos hecha por el INIAP hace muchos años.

Esta metodología de tablas de dosis calibradas en base a niveles críticos para recomendar probablemente sea la más adecuada, pues se recomienda actualizar cada 4 años, en nuestro país se encuentra incompleta y desactualizada y falta afinarla por grupos de suelos, cultivos y aún por variedades.

1.4.2 Ajustar dosis recomendadas en la literatura

Ajustar dosis recomendadas en la literatura implica hacer uso de resultados de experiencias de campo generadas por otras investigaciones, quienes suministren información sobre niveles de fertilización en el cultivo específico en zonas y/o suelos semejantes.

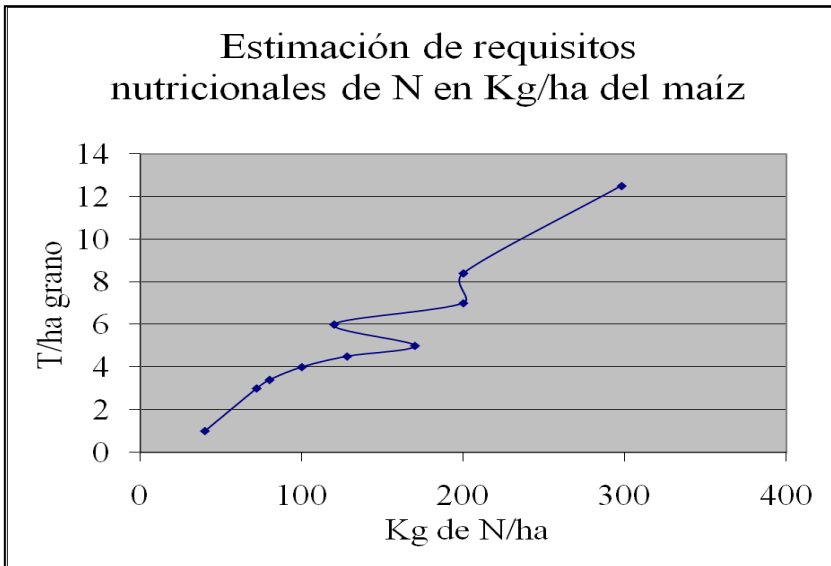
Hacer un análisis de las “recetas” o ámbitos propuestos en los manuales de cultivos. El procedimiento a seguir es:

- a)** Recopilar información a partir de las diferentes fuentes, indicando en cada caso la procedencia y el tipo de suelo en el que se obtuvo el resultado.
- b)** Homogenizar su forma de expresión, de tal manera que todas las recomendaciones queden referidas a una sola unidad.
- c)** Mediante el análisis y la comparación de los datos reunidos, se establecen los ámbitos más comunes usados para cada elemento en el cultivo específico.
- d)** Con los datos o valores básicos obtenidos, la decisión sobre la dosis a escoger deberá hacerse tomando en cuenta la eficiencia de la fertilización, suelo y clima (Tabla 2-1).
- e)** Cuando se espera alta eficiencia de los fertilizantes aplicados, se deben usar dosis más bajas y conforme se

suponga tener una eficiencia menor, se irán utilizando dosis mayores (Figura 2-1).

Tabla 2-1. Requisitos nutricionales en N en el maíz, considerando el rendimiento por UF.

Kg N/ha	Tn/ha grano	Kg/UF
40	1,0	25,0
72	3,0	41,6
80	3,4	42,5
100	4,0	40,0
128	4,5	35,15
170	5,0	29,41
120	6,0	50,0
200	7,0	35,0
200	8,4	42,0
298	12,5	41,9



Elaborado por: Los Autores, 2022

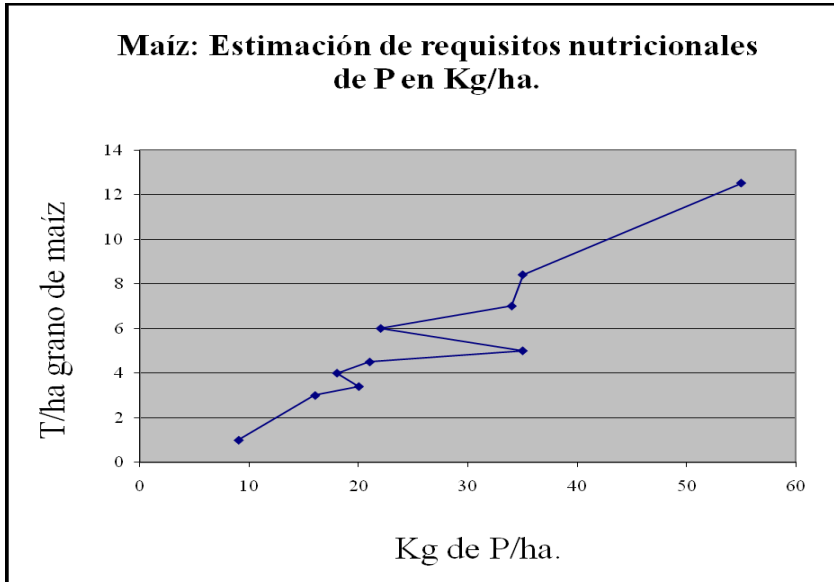
Figura 2-1. Estimación de requisitos nutricionales de N en Kg/ha en el cultivo de maíz.

Concepto de unidad fertilizante (UF), según la real academia de ingeniería equivale a la masa unitaria de un nutriente fertilizante expresado en forma de elemento o de su óxido.

Tabla 3-1. Requisitos nutricionales en P para maíz, considerando el rendimiento por UF.

Kg P/ha	T/ha grano	Kg/UF
9	1	111,11
16	3	187,5
20	3,4	170
18	4	222,22
21	4,5	214,28
35	5	142,8

22	6	272,72
34	7	205,88
35	8,4	240
55	12,5	227,27



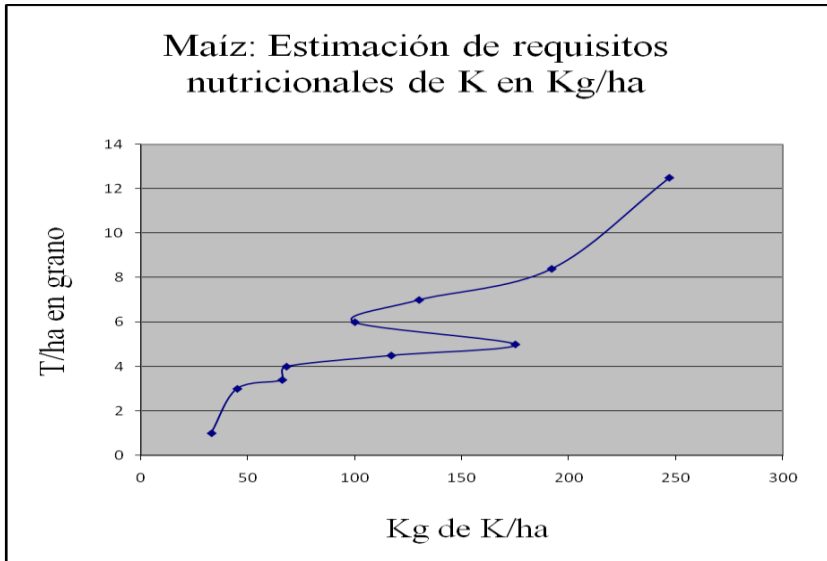
Elaborado por: Los Autores, 2022

Figura 3-1. Estimación de requisitos nutricionales de P en Kg/ha en el cultivo de maíz

Antagonismo, cuando alguno de los elementos se encuentra en cantidades muy altas dentro del tejido, el exceso de uno suprime la actividad de otros que están en menor concentración. Lo mismo ocurre durante la absorción de nutrientes por medio de las raíces.

Tabla 4-1. Requisitos nutricionales en K para maíz, considerando el rendimiento por UF.

Kg K/ha	Tn/ha grano	Kg/UF
33	1	30,3
45	3	66,66
66	3,4	51,52
68	4	58,82
117	4,5	38,46
175	5	28,57
100	6	60
130	7	53,84
192	8,4	43,75
247	12,5	50,61



Elaborado por: Los Autores, 2022

Figura 4-1. Estimación de requisitos nutricionales de K en Kg/ha en el cultivo de maíz

1.4.3 Enfrentamiento de los 3 factores

Estimar la dosis mediante el enfrentamiento y cuantificación de los 3 factores involucrados en una dosificación significa tratar de establecer la siguiente ecuación:

$$DF = \frac{\text{Lo que requiere la planta} - \text{Lo que hay en el suelo}}{\% \text{ de eficiencia de la fertilización}}$$

Es una fórmula matemática para realizar cálculos precisos, aquí se pretende mediante este mecanismo enfrentar a los factores y adquirir un criterio sobre la participación de cada uno de los elementos en la dosis final.

1.1.1.1 Lo que requiere la planta

Las plantas dependen de los nutrientes del suelo para su crecimiento y desarrollo. Está demostrado que los elementos esenciales para el desarrollo de todas las plantas son dieciséis, todos ellos desempeñan funciones muy importantes en la vida de la planta y cuando están presentes en cantidades muy limitadas pueden producir graves alteraciones y reducir de manera notable el crecimiento.

La extracción y distribución de nutrientes varía de un cultivo a otro y dentro del mismo cultivo dentro entre cultivares, tipos y órganos de la planta; lo mismo sucede con respecto al orden de preferencia de elementos esenciales en los

órganos de la planta, encontrándose diferente concentración en hojas e influencia sobre el rendimiento. Conocer la extracción, distribución y tendencia en el contenido de nutrientes para frutos y hojas en función de la dosis de fertilización aplicada, es importante para predecir una disminución del rendimiento por un desbalance nutricional.

Los requisitos nutricionales totales de un cultivo se refieren a la cantidad expresada en Kg. ha^{-1} , del elemento puro que consume una plantación desde su siembra hasta la cosecha. Se obtiene al multiplicar la concentración de cada elemento en una planta entera al final de su ciclo productivo, por el peso seco de esa planta, considerando luego el número de plantas por hectárea.

Ej. Una planta de maíz (*grano y caña*) pesa 1250 gramos en verde, si la concentración de nitrógeno en la biomasa total es de 2.0 %, la densidad es de 33.000 plantas/ha, y contiene 80 % de humedad? ¿Cuánto de N habrá extraído el cultivo/planta/ha?

Para la determinación y obtención de los valores se deben realizar análisis de laboratorio (*planta entera o en forma separada: raíz, follaje, fruto, semillas*); o se pueden obtener datos por “exportación” en base a la producción de la planta que se remueve del terreno.

En ambos casos, los requisitos deben mantenerse siempre asociados a un rendimiento dado. De qué variarán los requerimientos en los cultivos:

Del rendimiento potencial de producción que manifieste cada variedad en determinadas condiciones climáticas, de suelo y manejo.

Para obtener un rendimiento de 10 t/ha se requerirá el doble de nutrimentos que para producir 5 t/ha.

Cada variedad tiene su propia potencialidad genética que se expresa en forma variable según las condiciones ambientales, características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Del nivel tecnológico que se le aplique, en la medida en que se conozcan, deben utilizarse los datos de variedades y los sitios más semejantes de donde proviene el estudio (*aproximaciones*).

Para estimar la dosis, los datos pueden usarse directamente asociándolos por regla de tres simple, al rendimiento que se desea alcanzar (máximo ofrecido por la variedad, al promedio de la región, al estimado deseado).

Por medio de modelos matemáticos de regresión lineal que asocien varios datos entre rendimiento – requisito para cada elemento provenientes de diferentes autores. Esto permite,

que al momento que se desee se pueda hallar por interpolación o por aplicación de la ecuación, el requisito nutricional para cualquier rendimiento dado.

1.1.1.2 Lo que hay en el suelo

Con las cantidades presentes en el suelo, existe el inconveniente que a pesar de que una solución extractora muestra buena correlación con los rendimientos de campo y se considere muy útil para el diagnóstico de los problemas, no necesariamente, el valor del elemento que se obtiene con ella es la cantidad que realmente la planta toma del suelo.

El análisis del suelo, expresa la situación en un momento dado sin considerar la dinámica que puede ocurrir a lo largo del ciclo del cultivo, más aún si este es muy largo.

Considerar los datos de un análisis de suelo en términos de kg/ha se comparan con los otros factores y puede resultar de mucha utilidad para adquirir perspectivas.

Si se asume, que una hectárea equivale 10.000 m² y tiene 0.20 m de profundidad, por lo tanto, contiene 2'000.000 de litros o kilogramos, entonces: mg/L * 2 = kg/ha; y, Cmol⁽⁺⁾/L * 20 equivalentes del elemento, será igual a kg/ha.

1.4.4 Eficiencia de la fertilización

La eficiencia de un fertilizante suele definirse como la proporción (%) de nutrientes utilizada por el cultivo, en relación con la cantidad total aplicada en la fertilización.

La eficiencia de uso de los nutrientes es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Se debe tener en cuenta que incrementando la eficiencia de uso de los nutrientes y, consecuentemente, la eficiencia global del sistema, se genera una mayor potencialidad en beneficios económicos y sustentables en el largo plazo de producción.

La eficiencia de uso de los nutrientes o fertilizantes describe como las plantas o los sistemas de producción utilizan los nutrientes. Estos índices se estudian tomando en cuenta el tiempo involucrado en la evaluación: corto, mediano o largo plazo. La eficiencia se puede estudiar desde los rendimientos de los cultivos, la recuperación en planta y la extracción de nutrientes por el sistema.

Se describen cuatro índices agronómicos comúnmente utilizados para describir la eficiencia de uso de los nutrientes: *a)* Eficiencia agronómica (EA, kg incremento del rendimiento del cultivo por kg de nutriente aplicado), *b)* Eficiencia aparente de recuperación del fertilizante (ER, kg de nutriente absorbido por kg de nutriente aplicado), *c)* Eficiencia fisiológica (EF, kg

de incremento de rendimiento por kg de nutriente absorbido) y, *d*) Productividad parcial de factor (PPF, kg de rendimiento del cultivo por kg de nutriente aplicado). Otros autores proponen la utilización de los índices PPF, EA, ER y el balance parcial del nutriente (BPN, kg de nutriente removido por kg de nutriente aplicado).

El porcentaje de eficiencia de la fertilización y de sus nutrimentos, que constituye el eje central de la fórmula, es un valor que reúne criterios sobre:

a) Propiedades del nutrimento, *b*) Características del suelo, *c*) Características de la fuente o fertilizante, *d*) Condiciones climáticas, y *e*) Método y época de aplicación.

1.4.1.1. Eficiencia del nutriente nitrógeno

Los fertilizantes nitrogenados de uso convencional en la agricultura son la urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, MAP y DAP, destacándose la urea cuyo consumo supera a todos los demás juntos. La eficiencia de uso del nitrógeno (N), medida como la ganancia en producción de grano por unidad de nutriente aplicado, debe buscarse en los cultivos de alta productividad a través del uso de las buenas prácticas de manejo (BPM).

El concepto de eficiencia del N puede variar de acuerdo a la perspectiva de producción, pero no debe priorizarse la alta

eficiencia en detrimento de la productividad. Se conoce la ley de los rendimientos decrecientes que indica que al incrementar la dosis de N los incrementos en producción se van reduciendo, y por la eficiencia se va haciendo menor.

Varias investigaciones han demostrado que existe una gran variación entre los valores de recuperación de N aplicado como fertilizante en diferentes cultivos. Esto debido a la variabilidad de manejo a condiciones como dosis, época de aplicación y clima. Además, son valores que en gran parte provienen de parcelas experimentales que solamente reportan el contenido de N de la parte aérea de la planta y por lo general en un solo ciclo de cultivo. Una parte del N que no se contabiliza es la que queda en las raíces en el suelo y que enriquece el sistema con N para ser aprovechado por los cultivos subsiguientes.

Es por ello que, existe la necesidad de conducir investigación que considere el sistema agrícola en forma holística y por más de un ciclo de cultivo. Con un estudio de balance de entradas y salidas de N en el sistema, evaluado por un periodo de tiempo mayor, se puede comprender mejor el destino de N de los fertilizantes aplicados y su impacto en el suelo y en el ambiente. Los factores considerados para la optimización del uso de los fertilizantes nitrogenados como:

dosis correcta, época correcta, forma de localización y equilibrio con otros nutrientes deben ser evaluados de manera local, analizando los siguientes aspectos:

Se lixivia, cuando se aplica como NO_3 , en menor cantidad como NH_4 ; cuando se aplica en dosis fuertes, sin fraccionar; en suelos de texturas gruesas, de baja CIC y CIA; en suelos con muy buen drenaje; en zonas de alta, frecuente y continua precipitación; en terrenos sin cobertura vegetal.

Se volatiliza, cuando se aplican fertilizantes amoniacales, superficial; en suelos con pH altos, alcalinos o neutros; en suelos secos; en regiones cálidas o de alta evaporación; al aplicar en mezcla con otros fertilizantes de reacción básica.

Se desnitrifica, cuando está presente como NO_3 ; en suelos con mala aireación e inundados, en forma total y en los volcánicos; en presencia de microorganismos anaeróbicos; durante el proceso de nitrificación, en un medio anaeróbico.

Se fija, como NH_4 ; cuando se aplican fuertes dosis de amoniacales; en suelos ricos en arcillas tipo 2:1; en regímenes ústicos.

Se inmoviliza, al aplicar residuos orgánicos con relación C/N altas; cuando se favorece la actividad microbiana (encalado); en suelos muy pobres en nitrógeno disponible.

Para estimar la eficiencia de la fertilización con nitrógeno fluctúa entre valores de **50 a 70 %**, valor a utilizar será alto cuando los factores que limitan son los mínimos, y el valor bajo cuando se estiman máximas pérdidas.

1.4.1.2. Eficiencia del nutriente fósforo

Algunos estudios indican que más del 80 % del fertilizante fosfórico aplicado al suelo se vuelve inmóvil y no está disponible para la absorción vegetal debido al fenómeno de fijación, precipitación o conversión a la forma orgánica. La aplicación de fósforo al suelo debe regirse bajo los principios de las 4R's; la dosis de fósforo se debe calcular considerando el análisis químico del suelo y la meta de rendimiento. A diferencia del nitrógeno, el análisis del fósforo se basa en la extracción de una porción del fósforo proveniente de la solución del suelo más una porción del fósforo adsorbido y precipitado; la cantidad de fósforo extraído se interpreta como la capacidad del suelo para suministrar fósforo en el mediano a largo plazo.

La elección de la fuente fertilizante fosfatado a utilizar dependerá de la disponibilidad en el mercado, costo y el catión acompañante, el fósforo es uno de los nutrientes más difíciles de manejar debido a su alta capacidad de reacción en el suelo, por lo tanto, la elección de la fuente de fertilización fosfatada

es una decisión central que influirá en el corto, mediano y largo plazo sobre la disponibilidad de este elemento. La eficiencia de absorción de fósforo de los fertilizantes por los cultivos es muy baja debido a que el fósforo puede cambiar a formas menos disponibles al entrar en contacto con el suelo. La eficiencia de los fertilizantes a base de fósforo se ve afectada por varios factores:

Se fija y precipita, cuando se aplica al voleo; cuando se aplica muy fraccionado; en suelos volcánicos; en suelos ácidos, reaccionan con Fe y Al; en suelos de pH alto, reaccionan con el Ca; cuando se aplica en mezcla con enmiendas calcáreas.

Se inmoviliza, cuando se aplican residuos orgánicos desbalanceados; cuando se favorece la actividad microbiana; en suelos muy pobres en fósforo disponible.

El rango práctico para estimar la eficiencia de fertilizar con fósforo fluctúa entre **30 y 50%**.

1.4.1.3. Eficiencia de los nutrientes potasio, calcio, magnesio y azufre

La cantidad de potasio en la solución del suelo es mínima y rápidamente es absorbido por las plantas por estar inmediatamente disponible. Cuando este potasio es absorbido y extraído por las plantas, es renovado y restituido por la cesión

de formas menos fácilmente accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo.

La eficiencia de la fertilización potásica está asociada con procedimientos de pérdidas del elemento, siendo las principales la lixiviación y la fijación.

Se lixivia, cuando se aplican altas dosis de fertilizantes; en suelos de texturas gruesas; en suelos ácidos y de baja CIC; en suelos con buen drenaje y tabla de agua alta; en zonas profundas de alta, frecuente y continua precipitación.

Cuando se utilizan altas dosis de fertilizantes nitrogenados amoniacales que compiten con el K, Ca y Mg las posiciones de fijación.

Se fija, en suelos ricos en arcillas tipo 2:1; en regímenes usticos donde se favorece ciclos alternos de humedecimiento y secado. La liberación de potasio fijado para ser utilizado por las plantas suele ser muy lenta y en ocasiones la magnitud de la pérdida por fijación puede ser superior al 50 %.

La eficiencia de la fertilización con K, Ca, Mg y S se estima en valores que fluctúan entre **60 y 80%**, pero se debe considerar el pH del suelo.

La eficiencia del calcio y magnesio en suelos ácidos es relativamente pobre, debido a que el sistema radicular no se desarrolla de manera adecuada y porque estos suelos tienen

baja capacidad de intercambio catiónico y en consecuencia, limitada capacidad de almacenamiento de nutrientes y altas probabilidades de pérdidas por lixiviación.

La compactación de los suelos y su deterioro físico, asunto que constituye un fenómeno de frecuencia inusitada en nuestro medio, resulta en una disminución acentuada en la frecuencia del abonamiento, ya que limita el desarrollo radicular.

Cuando se trata de sustratos inorgánicos e inertes, si la fertilización se fundamenta en la utilización de los sistemas de riego, la eficiencia de los nutrimentos es mayor, pudiendo alcanzar hasta el 90 – 95 %, si se trata de dar por goteo o micro aspersión.

1.5 Conocimiento básico sobre el cultivo

La fenología de una planta, consiste en las relaciones entre las condiciones climatológicas como: luz, temperatura, humedad ambiental, precipitaciones o lluvias, etc., y los fenómenos biológicos periódicos, por ejemplo, presencia de primeras hojas, brotación de yemas, floración, etc., A estos fenómenos se las denominan *fases fenológicas*.

En cambio, la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos vegetales, se llama *fase*. La emergencia

de las plantas pequeñas, el espigamiento en los cereales, la floración del manzano, la madurez del maíz, etc., son consideradas como verdaderas fases fenológicas. También se le define como los rasgos o cambios morfológicos cíclicos que experimentan los vegetales, en función a la influencia ambiental.

Para manejar el aspecto nutricional de un cultivo, primero debemos conocer al cultivo y después el:

1.5.1 Ciclo de vida y las etapas de desarrollo

Conocer el ciclo de vida de las plantas o también llamado ciclo vital o ciclo biológico de las plantas, es muy útil para las prácticas agrícolas, debido a que permite aprovechar al máximo las etapas de los distintos cultivos, contribuyendo a favorecer su crecimiento y desarrollo e incluso su reproducción.

El ciclo de vida de las plantas consiste en las distintas fases y etapas por las que pasa la planta a lo largo de su vida. Este ciclo varía en función de la especie de la que se trate y su modo de reproducción.

La absorción de los nutrimentos, es un fenómeno que ocurre día a día. Se debe conocer cuántos días va a estar activo el proceso de absorción.

Los nutrimentos necesarios para producir hojas, son diferentes de los que se necesita para producir semillas, de ahí que es necesario conocer el tiempo y las etapas que van a ocurrir durante el ciclo.

Cada *proceso fisiológico* involucra nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes; Así, por ejemplo, la etapa vegetativa o de formación de follaje requiere *nitrógeno*.

Los periodos de germinación, enraizamiento, floración y formación de semillas, consume cantidades de *fósforo*.

En la apertura de las flores y el llenado de los frutos participa el *potasio*, quien juega un papel importante en la calidad (*color, sabor*) por su participación en la formación de azúcares.

El aumento del peso seco valorado en gramos o kilogramos a través del tiempo, es la medida que normalmente se usa para expresar el desarrollo de un cultivo.

1.5.2 Sistema radical

Resulta importante conocer la forma como las raíces exploran el suelo, para decidir el mejor método de colocar el fertilizante, lograr el mayor aprovechamiento posible del fertilizante aplicado, conocer el diseño de la raíz, su distribución en volumen en relación con la profundidad, edad y

la ubicación precisa de la zona de los pelos absorbentes (Figura 5-1).

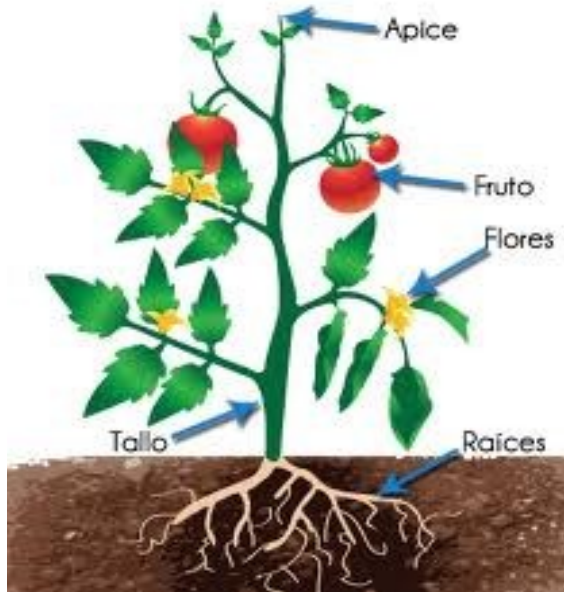


Figura 5-1. Partes de una planta

CAPÍTULO II

2 FERTILIZANTES ORGÁNICOS O ABONOS

2.1 Importancia de los abonos orgánicos

Para A. Brechelt (2004), la agricultura orgánica no considera solo el hecho de fertilizar con abonos orgánicos (composta, fermento, lombricomposta, entre otros) el suelo, sino conlleva un cambio de conciencia, un camino con muchos pasos; el primero está en el creer y cambiar. Este movimiento se rige por cuatro principios básicos:

1. Maximizar los recursos (al interior) que la gente posee, no busca sustituir insumos, sino la reutilización de los que la gente posee.
2. Buscar al máximo la independencia de insumos externos, al utilizar lo que tiene a la mano y volverse productor de sus agroinsumos.
3. Provocar el menor impacto posible dentro de la modificación que se haga al lugar y su entorno (las actividades humanas son las que más impactan al ambiente),
4. No poner en riesgo la salud del productor ni del consumidor; este último hace alusión a los consultores y

vendedores de abonos orgánicos que no están bien estabilizados, y que su efecto no es igual al de un abono estable que pasó cierto tiempo de maduración.

Los abonos orgánicos tienen gran importancia económica, social y ambiental; reducen los costos de producción de los diferentes rubros con los cuales se trabaja. Aseguran una producción de buena calidad para la población y disminuyen la contaminación de los recursos naturales en general. Por otra parte, ayudan a que el recurso suelo produzca más y se recupere paulatinamente; su elaboración es fácil, se utiliza insumos o desperdicios locales que usted lo tiene a su disposición.

2.1.1 Abonos orgánicos

Concepto. - Son todos los elementos de origen vegetal o animal, que sirven para mejorar la calidad del suelo y para fertilizar los cultivos. Después que han sufrido un proceso de alteración física, química y biológica por acción de la temperatura, la humedad, los microorganismos y el hombre.

No obstante, el abono orgánico / la materia orgánica por sí solo no es suficiente (y a menudo no es disponible en grandes cantidades) para lograr el nivel de producción que el

agricultor desea, los fertilizantes minerales tienen que ser aplicados adicionalmente.

2.2 Procesamiento de los abonos orgánicos

Hacer énfasis en el uso de los Bío-acondicionadores del suelo, promover la aplicación de inoculo infectivo, efectivos, competitivos y persistentes, lo más importante que se busca es dar a conocer las herramientas adecuadas para la producción, uso y manejo de abonos orgánicos de buena calidad, que admitan crear las condiciones apropiadas para que los microorganismos puedan trabajar de manera eficiente y así disminuir la creciente dependencia en el uso de fertilizantes sintéticos y comenzar con el uso y manejo eficaz del suelo, que permita la conservación y la recuperación de condiciones favorables y la multiplicación de seres vivos benéficos para el buen desarrollo de cultivos sanos, productivos, auto sostenibles y competitivos con estabilidad para el agro ecosistema.

Aparte de las condiciones medio ambientales apropiadas, el soporte básico de una actividad agrícola, productiva, sostenible, competitiva y rentable parte de un suelo de buena calidad tanto en su condición física como química y biológica.

La disminución en la producción agrícola en las últimas décadas se consiguió a expensas de la reducción gradual del contenido de materias orgánicas y nutrientes, y al deterioro de la estructura del suelo, que ha llevado a la pérdida progresiva de su fertilidad y actividad biótica.

A estas condiciones, debe adicionarse los diferentes problemas agronómicos; reflejados especialmente en la deficiente germinación de semillas, drástica reducción del desarrollo radicular, mal aprovechamiento de los fertilizantes que conduce a mayores exigencias en su aplicación, repercutiendo en deficiencias nutricionales y presencia de enfermedades, controles que día a día se vuelven cada vez más costosos y difíciles.

Los resultados son, cosechas con bajo rendimiento, de calidad deficiente y con elevados costos de producción que repercute en la rentabilidad y sostenibilidad de la actividad productiva agrícola.

Las condiciones descritas demandan un acondicionamiento y respuesta integral del suelo y sus componentes tanto físicos como químicos y biológicos, para ello, se ofrecen algunas alternativas, que, además de contribuir al logro de este propósito, requieren ser aplicadas en forma integral, con otras prácticas como son:

Labranza del suelo con criterio conservacionista, sombreado del suelo con coberturas, uso de cultivos, restitución periódica de materia orgánica mediante el uso de abonos orgánicos obtenidos de residuos procedentes de explotaciones que involucren una producción ecológica, etc.

Alternativas estas, que permiten crear las condiciones favorables para los organismos benéficos a los cultivos, e inoculación de estos cuando el suelo está desprovisto de ellos o cuando las poblaciones son bajas e ineficientes y principalmente potencializar ciertos organismos benéficos como los hongos formadores de micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno, cuya comprensión y manejo va dirigida esta publicación.

El problema ecológico que tenemos en el ámbito mundial no es nada nuevo, a medida que transcurre el tiempo, nos hemos dado cuenta del grave problema de la degradación ambiental que causa la contaminación en general provocada a todos los recursos naturales existentes en el planeta tierra.

Tabla 1 - 2. Agricultura orgánica vs la agricultura tradicional

	Ventajas	Desventajas
Agricultura orgánica	No es contaminante, con producción sana de muy buena calidad, los costos de	En un inicio requiere de mucho trabajo, el efecto sobre la producción es más

	producción son bajos, se utilizan recursos locales, no se compra nada afuera, la producción va de regular a buena, se trabaja a pequeña escala.	lento.
Agricultura tradicional	La producción va de regular a muy buena, el efecto de los agroquímicos sobre la producción es rápido, se trabajan grandes extensiones durante el proceso productivo.	Es contaminante, producción de mala calidad, los insumos los compramos fuera de la propiedad, los costos de producción son altos.

Elaborado por: Los Autores, 2022

2.3 Manejo y aplicación de los abonos orgánicos

Aunque esta práctica es tan vieja como la agricultura misma, es una actividad tradicionalmente cuantificada y sistematizada dentro de la agricultura moderna. En los últimos años, se comenzó a dar el lugar apropiado dentro de las prácticas nutricionales, por lo que se espera una evolución rápida en la información que se genere dentro de esta línea. Por lo cual tienen la consideración de que son fáciles de elaborar y que requieren poner en práctica los conocimientos que los técnicos han transferido durante el proceso de aprendizaje.

2.3.1 Tipos de abonos orgánicos

Existe gran diversidad de productos, que se utilizan como abonos orgánicos y ellos son:

2.3.1.1 Abonos naturales.

Se destaca cualquier tipo de residuo agrícola, los excrementos de animales y subproductos de origen animal y residuos urbanos, basura residencial, basura de mercados, etc. Entre los de mayor importancia citamos a:

- *Estiércoles o excrementos sólidos de animales como: bovino, ovino, caballar, gallinaza, especies menores, etc. La calidad del material depende del tipo de animal, edad, tipo de alimentación.*



Bajo en nitrógeno, ideal para combinarlo con humus de lombriz líquido, muy compostable



Alta cantidad en nutrientes. Muy rico y equilibrado. Apto para todo tipo de plantas



Muy común en agricultura y en climas fríos como acolchado natural



Alto en nitrógeno, muy ácido y rico en calcio. Evitar su uso en suelos calcáreos



Alto nivel de acidez, es uno de los mas fuertes y rico en nutrientes



Alta cantidad de nutrientes, muy rico y equilibrado, si incluye pelos aporta más nitrógeno

Figura__ Tipos de estiércol

Fuente: <https://www.purplant.es/fertilizantes-organicos/>
Elaborado por: Los Autores, 2022

- *Purín*, es la orina fermentada de los animales, es un fertilizante enriquecido en nitrógeno y potasio.
- *Turba*, resulta de la descomposición incompleta de la vegetación pantanosa en excesivas condiciones de humedad.
- *Residuos de cosechas (rastros)* como: raíces, tallos, hojas, flores y frutos.
- *Subproductos de animales*, en la actualidad tienen un alto costo, son más utilizados en la alimentación animal.
- *Cenizas*, que se obtiene de la combustión de la leña o material vegetativo seco.

2.3.1.2 *Abonos preparados o fabricados,*

Se refiere a los diferentes tipos de bocashi, los bioles o té, el humus de lombriz, o los tipos de compost, que se pueden producir incluyendo aquellos que son reforzados con productos inorgánicos o químicos con el afán de mejorar su calidad.

El manejo adecuado de la fertilidad del suelo, es la clave para propiciar el desarrollo de una agricultura sostenible. El mantenimiento de la vida del suelo garantiza su fertilidad biológica, física, química y por ende la obtención de sanas y abundantes cosechas.

El manejo adecuado de los desechos orgánicos (*vegetales, animales y domésticos*), por la vía de la elaboración

de abonos orgánicos tanto sólidos, como líquidos, puede constituirse en una fuente valiosa de fertilizantes o abonos que para los pequeños y medianos agricultores generaran un significativo ahorro económico, al mismo tiempo que se preserva la salud, el medio ambiente y se obtienen productos agropecuarios sanos y de alta calidad nutricional.

Los abonos orgánicos sólidos, como los líquidos, resultan de la aplicación de tecnologías sencillas, de bajo costo, que permiten reciclar los nutrimentos que se encuentran en los desechos animales y vegetales de la finca, con los que se resolverán los problemas de la fertilidad del suelo, mejorando su capacidad productiva, propiciando su manejo ecológico a fin de reducir paulatinamente el uso de fertilizantes sintéticos, para evitar de esa manera su deterioro y la contaminación de las fuentes de agua. Entre ellos, citaremos al:

Humus de lombriz o llamado vermi compost

Es uno de los mejores abonos orgánicos, se obtiene de la acción de un organismo vivo que actúa sobre los residuos orgánicos, la lombriz californiana o roja, quien demanda de un manejo adecuado.

El humus es el mejor abono orgánico, posee un contenido muy alto en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio asimilables, acompañado por gran cantidad de

bacterias, hongos y enzimas que continúan con el proceso de desintegrar y transformar la materia orgánica.

El humus de lombriz, comparado con otros abonos orgánicos tales como el estiércol de bovino, cerdo, gallinaza, etc., tiene las siguientes ventajas: En *primer lugar*, una tonelada de humus equivale a 10 producidas por vacas, cerdos y gallinas. Además, en el manejo de las 10 toneladas de estiércoles se pierde el nitrógeno, y el fósforo no es asimilable produciéndose un desbalance en los suelos, que posteriormente debe corregirse.

La capacidad transformadora de la lombriz ha sido medida en diferentes experimentos, habiéndose obtenido como resultado que una población de 100.000 lombrices, que ocupa un área de 2 m² está en condiciones de producir 2 kg de humus por día.

Práctica de la lombricultura, la tecnología para la crianza de la lombriz y la producción de humus, es sencilla.

Crianza, industrialmente las lombrices se crían en camas o “lechos” de 1 metro de ancho, 20 metros de largo y 0.40 a 0.60 m de alto. Entre lechos debe dejarse una distancia de 0.5 a 0.6 m, para facilitar la circulación de quienes manejan la explotación.

Alimentación, las lombrices son alimentadas con un sustrato producto de la mezcla de residuos orgánicos vegetales (desechos de cosechas, desechos domésticos, residuos de la agroindustria, etc.) y residuos animales (*estiércol*), en una relación 1 a 3. Es importante que este sustrato sea fermentado entre 15 a 30 días antes de proporcionar a las lombrices. No es recomendable poner el alimento fresco por que tiende a acidificarse y calentarse durante la fase de fermentación, lo que resulta perjudicial a las lombrices.

El requerimiento de estiércol se estima en función al tamaño de la planta. Por ejemplo, para 300 m² de camas, que van a producir 150 toneladas de humus por año se requieren 250 toneladas de compost - alimento y para poder preparar esta cantidad de alimento se requiere 175 toneladas de estiércol y 75 toneladas de paja o rastrojo de cosecha (relación de 70 % de estiércol y 30 % de rastrojo en peso).

Tabla 2 - 2. El alimento dentro de las camas o “lechos” de cría, requiere se controlen los factores que se señalan a continuación:

Interpretación	pH	% Humedad	Temperatura
Óptimo	6.5 – 7.5	75	15 – 25 °C
Adecuado	6.0 – 8.5	70 - 80	
Peligro	< 4.5 - >	< 70 - > 80	

	8.5		
--	-----	--	--

Fuente: Manual de fertilizantes orgánicos. Cáceres R, Jorge H. 1985.

Manejo, mantenga suficiente alimento en los lechos formando “lomos” en la parte central del mismo. No descuidar el humedecimiento frecuente del material, para evitar que se desequie. Observe frecuentemente los parámetros de humedad, pH y temperatura, para evitar la fuga de las lombrices (Tabla 1 – 2).

Cosecha, cuando la población de lombrices en los lechos es alta y se han cumplido los requisitos exigidos para su crianza, la primera cosecha puede darse a partir del noveno mes de establecido el criadero. Para el efecto se pone a lo largo de la parte central de los lechos alimento fresco, después de haber suspendido por un par de días el alimento a las lombrices.

Las lombrices al detectar la presencia de alimento fresco en los lechos se concentrarán a devorarlo, siendo este el momento en que se deben capturarlas y ponerlas en recipientes adecuados para cosechar de inmediato el humus que estará ocupando la parte inferior del lecho.

Procesamiento del humus, después de la cosecha se deberá extender el humus sobre la superficie plana a fin de

extraerle el exceso de humedad y poder manipularlo. A continuación, se procede a mezclar el humus de los diferentes lechos cosechados a fin de homogenizar, seguidamente se lo deberá pasar por un tamiz para eliminar desechos gruesos y dar una mejor presentación, si es que el material va a ser utilizado en la elaboración de sustratos o va a ser destinado a la venta. En este último caso se procede a envasarlo en fundas o material de polipropileno.

Uso, el humus de lombriz puede ser aplicado a una gran gama de cultivos y medios, tales como: plantas de interior, jardines urbanos, huertos, césped de parques, floricultura, horticultura, fruticultura, invernaderos, algunos cultivos industriales, y otros.

El compost

Qué es el compostaje, el compostaje o “composting” es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (*restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos*) permitiendo obtener “compost”, abono excelente para la agricultura.

El compost o mantillo se puede definir, como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo.

El compost es un buen aportador de nutrientes al suelo, mejora la estructura, la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas y ayuda a reducir la erosión.

Abono que resulta de la descomposición de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, bajo condiciones de humedad y temperatura controladas.

Propiedades, mejora las propiedades físico - químicas del suelo, el material orgánico favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo, así como también la penetración de las raíces.

En suelos con mayor retención de agua, aumenta la cantidad de residuos orgánicos. Los suelos son fértiles cuando contienen más del 5 % de materia orgánica; pobres si contienen de 2 a 3 % y muy pobres aquellos que no llegan al 2 %.

Mejora las propiedades químicas, aumenta el contenido en macro nutrientes N, P, K y micro nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos. Aporta de manera natural, los 16 elementos minerales que requieren las plantas.

Mejora la actividad biológica del suelo, actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a

expensas del humus proveniente del compost y contribuyen a su mineralización, favoreciendo de esta manera a la salud y el crecimiento de las plantas.

Fabricación o elaboración, requiere fuentes de materia carbonada (rica en celulosa, lignina y azúcares) estas pueden ser: aserrín de madera, ramas y hojas verdes de arbustos, caña de maíz, malezas secas obtenidas de las deshierbas, paja de cereales (trigo, cebada, avena, arroz), basuras urbanas y desechos de cocina.

También, fuentes de materia nitrogenada como los estiércoles de: vaca, cerdo, oveja, llama, cabra, caballo, conejo, cuy, aves y harina de sangre, alfalfa, vicia, higuierilla, etc.

Fuente mineral como: cal, roca fosfórica, ceniza vegetal y volcánica, tierra común, agua.

Al hacer las mezclas que se compostarán es necesario tomar en cuenta la relación carbono/nitrógeno (C/N) de los materiales que se tienen a disposición en la finca. La relación (C/N) es aquella en la que el carbono es siempre mayor que el nitrógeno. Para hacer el compost se necesita cualquier mezcla que promedie 30:1, es decir 30 partes de carbono, por una de nitrógeno, en peso, no en volumen.

Herramientas a utilizar, barras, palas, rastrillos, machetes, carretilla, regadera o una manguera, estacas, piola de nylon.

Compostaje en montón, es la técnica más conocida y el más utilizado; se basa en la construcción de un montón formado por diferentes materias primas y en el que es importante realizar una mezcla correcta de los materiales, con la finalidad de homogenizarlos por lo que se recomienda una trituración previa de los restos de cosecha leñosos, ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica al proceso de compostaje.

Es importante que la relación C/N esté equilibrada, ya que una relación elevada retrasa la velocidad de humificación y un exceso de N ocasiona fermentaciones no deseables. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina (restos de poda, pajas y hojas muertas) y en azúcares (hierba verde, restos de hortalizas y pieles o cortezas de frutas).

El nitrógeno será aportado por el estiércol, el purín, leguminosas verdes y los restos de animales de mataderos. Mezclaremos de manera tan homogénea como sea posible,

materiales pobres y ricos en nitrógeno y materiales secos y húmedos.

La ubicación del montón dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento del año en que se elabore. En climas fríos y húmedos conviene situarlo al sol y al abrigo del viento, protegiéndolo de la lluvia con una lámina de plástico o similar que permita la oxigenación. En zonas más calurosas conviene situarlo a la sombra.

Se recomienda la construcción de montones alargados, de forma triangular, semicircular o trapezoidal, con altura de 1,5 m, ancho de base no superior a la altura. Es importante intercalar cada 20 - 30 cm de altura una fina capa de 2 - 3 cm de espesor de compost maduro o de estiércol para facilitar la colonización del montón con microorganismos.

Manejo adecuado del montón, una vez formado el montón es importante dar un manejo adecuado del mismo, ya que de él dependerá la calidad final del compost. El montón debe airearse frecuentemente para favorecer la actividad de la oxidasa por parte de los microorganismos descomponedores.

El volteo de la pila es la forma más rápida y económica de garantizar la presencia de oxígeno en el proceso de compostaje, además de homogenizar la mezcla e intentar que

todas las zonas de la pila tengan una temperatura uniforme. La humedad debe mantenerse entre el 40 y 60 %.

Si el montón está muy apelmazado, tienen demasiada agua o la mezcla no es la adecuada se pueden producir fermentaciones indeseables que dan lugar a sustancias tóxicas para las plantas. En general un mantillo bien elaborado tiene un olor característico.

El manejo del montón dependerá de la estación del año, el clima y de las condiciones del lugar. Normalmente se voltea cuando han transcurrido entre 4 y 8 semanas, repitiendo la operación dos o tres veces cada 15 días. Así transcurridos 2 - 3 meses, obtendremos un compost joven pero que puede emplearse semienterrado.

Compostaje en silos, se emplea en la fabricación de compost poco voluminosos. Los materiales se introducen en un silo vertical de 2 o 3 metros de altura, de forma rectangular, redondo o cuadrado, cuyos lados están calados para permitir la aireación. El silo se carga por la parte superior y el compost ya elaborado se descarga por una abertura que existe debajo del silo. Si la cantidad de material es pequeña, el silo puede funcionar de forma continua, se retira el compost maduro a la vez que se recarga el silo por la parte superior.

Compostaje en superficie, consiste en esparcir sobre el terreno una delgada capa de material orgánico finamente dividido, dejándolo descomponerse y penetrar poco a poco en el suelo, Este material sufre una descomposición aerobia y asegura la cobertura y protección del suelo; Sin embargo, las pérdidas de nitrógeno son mayores, pero son compensados por la fijación de nitrógeno atmosférico.

Tipos de compost: *Método Indore* (totalmente aeróbico), es uno de los métodos más conocidos para la elaboración de compost denominándose de esta manera por que se originó en el estado hindú de Indore Darbar. Para la elaboración de este método se procede de la siguiente manera:

Demarcación del terreno, para demarcar el área donde se implementará la compostera, se utilizarán 4 estacas y 1 piola.

Si la compostera se elabora en pequeñas fincas, las dimensiones recomendadas deben ser las siguientes: ancho 1.5 m, largo de 2 - 10 m y alto 1 a 1,5 m.

Si la compostera tiene el carácter de industrial, las dimensiones recomendadas deben ser las siguientes: ancho 1.50 m, largo 5 - 20 m, alto 1.20 a 1.50 m.

Construcción de la compostera, afloje el área demarcada a una profundidad de 0.20 m, utilizando una barra o

un azadón, con el fin de activar la biología del suelo que se encuentra en dicha área.

Coloque en la base una capa de caña de maíz, bagazo u otro material grueso para facilitar el drenaje y la aireación (2 – 5 cm de alto).

Coloque una capa de hierba tierna seca y fresca: malezas de la deshierba, leguminosas etc. (20 cm de alto) y aplique agua hasta el punto de saturación.

Coloque una capa de estiércol bovino, gallinaza o estiércol de granja (10 – 15 cm de alto).

Coloque una mezcla elaborada en partes iguales de tierra, cal o ceniza vegetal y roca fosfórica (2 – 5 cm de alto).

Repita la operación, hasta completar el 1,5 metro de altura.

Al concluir la fabricación de la compostera, para guardar humedad y temperatura, así como para evitar la volatilización del elemento nitrógeno o el lavado de otros elementos nutritivos, cubra el montón que se ha formado con cualquiera de estos materiales: paja, hoja de plátano, banano, sacos de yute o una lámina de plástico.

Al día siguiente de fabricada la compostera remueva los palos que colocó a fin de que por allí también circule el aire.

Manejo de la compostera, mantenga la compostera siempre húmeda y tapada para activar el proceso de descomposición de los materiales y evitar el lavado o volatilización de los elementos nutritivos presentes en los materiales órgano-minerales que se compostan.

Controle la temperatura para saber si el material está descompuesto, por lo general la temperatura inicial es de 20 – 25 grados centígrados, la que puede subir hasta 70 – 80 grados, para luego descender, volver a subir y bajar definitivamente a 20 ó 25 grados que fue la temperatura inicial, cuando ya se ha completado el proceso de descomposición de los materiales, lo cual ocurre entre 3 a 4 meses.

Remueva el montón 1 vez cada mes, procurando que los materiales que están en la parte externa del montón se pongan en cada movimiento hacia el centro para que la descomposición se realice de manera integral.

Con una regadera aplique 2 L/m² de purín cada 15 días, para activar el proceso de descomposición en la compostera.

Método Pfeifer (aeróbico), la elaboración de este método es similar al anterior

Manejo de la compostera, actúe como en el caso anterior, con la única diferencia de que solo debe efectuar un

solo movimiento del material. El material estará descompuesto a partir del 4 mes.

Método de Pain (aeróbico), la elaboración de este método, es idéntico a los anteriores.

Manejo de la compostera, mantenga el montón siempre húmedo, controle la temperatura

Este modelo no requiere que se le haga ningún movimiento, el material tarda entre 4 a 5.5 meses en descomponerse.

Características químicas del compost, dependen de la calidad y la cantidad de los materiales utilizados, como de las condiciones ambientales que se dieron durante el proceso de descomposición y el manejo dado a las composteras.

En la tabla 2 - 2, se observan los valores promedio de pH, relación C/N y nutrientes obtenidos en las composteras experimentadas por Cáceres J. (1985).

Tabla 2 - 2. Valores promedio de pH, relación C/N y nutrientes por tonelada de compost

Modelo	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	pH	Relación C/N
INDORE	14	30	5	40	7,3	16/1
PAIN	6	29	25	35	7,7	15/1
PFEIFER	4	30	30	42	7,6	8/1

Fuente: Manual de fertilizantes orgánicos. Cáceres R, Jorge H. 1985.

Tabla 3 - 2. Nivel de eficiencia de los materiales compostados

Modelo	Desechos compostados/Kg	Compost obtenido/Kg	Eficiencia x c/1000Kg (%)
INDORE	14.000	5.600	40
PAIN	13.000	3.900	30
PFEIFER	12.000	3.600	30

Fuente: Manual de fertilizantes orgánicos. Cáceres R, Jorge H. 1985.

Dosis de aplicación del compost, en cultivos hortícolas, se aplica entre 4 a 8 toneladas por hectárea. La aplicación puede hacerse antes de la siembra con la última rastrada o en el momento del aporque de las plantas.

En almácigos, se utiliza dosis de 1 Kg/m². Para frutales (café, cacao, banano), se aplica de 2 a 5 Kg de compost por planta, la primera aplicación se hace al momento de la siembra, colocando compost al fondo de cada hoyo, para luego aplicar a la planta. Posteriormente se aplica compost en dosis de 2 a 4 Kg/planta.

Factores que condicionan el proceso de compostaje, el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, son los responsables de la descomposición de la materia orgánica, Para que los microorganismos puedan vivir y desarrollar su actividad

descomponedora, necesitan condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuos a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

Temperatura, se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35 - 55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporulados.

Humedad, es importante que la humedad alcance niveles óptimos del 40 - 60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas, para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75 - 85 % mientras que, para material fresco, ésta oscila entre 50 - 60 %.

El pH, influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos. En general, los hongos toleran un margen de pH entre 5 - 8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH 6 - 7,5).

Oxígeno, el compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

Relación C/N equilibrada, el carbono y el nitrógeno son dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Teóricamente una relación C/N de 25 - 35 es la adecuada, pero esta varía en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica.

Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, heno seco, hojas, ramas, turba y aserrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, deyecciones de animales y residuos de matadero.

Población microbiana, el compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo una amplia gama de poblaciones de bacterias y hongos.

El proceso de compostaje, el proceso puede dividirse en cuatro períodos atendiendo a la evolución de la temperatura:

Mesolítico, la masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que bajan el pH.

Termofílico, cuando se alcanza una temperatura de 40 °C los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen bacterias y los actinomicetos, estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y la hemicelulosa.

De enfriamiento, cuando la temperatura es menor de 60 °C reaparecen los hongos termófilos que re invaden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

De maduración, es un período que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen

reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus.

Aplicaciones del compost, según la época en la que se aporta a la tierra y el cultivo, pueden encontrarse dos tipos de aplicación del compost:

Compost maduro, es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse par cualquier tipo de cultivo, pero para cantidades iguales tienen un valor fertilizante menos elevado que el compost joven. Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los semilleros.

Compost joven, está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (patata, maíz, tomate, pepino o calabaza)

La elaboración de mantillo o compost está indicada en los casos en que la transformación de restos de cosechas en el mismo lugar es complicada debido a que se trata muchas veces de residuos muy celulósicos, con una relación C/N alta, lo que se traduce en un bloqueo provisional del nitrógeno del suelo.

Manejo y mejoramiento, la humedad de la pila se controla mediante la “prueba de puño” que consiste en tomar un puñado de la mezcla de los residuos y comprimirla con la mano y observar si escurre agua gota a gota por entre los

dedos, cuando hay exceso, brotará gran cantidad de agua y se hace necesario reducirla permitiendo que la pila reciba aire, pero no los rayos del sol directamente; cuando no sale agua por entre los dedos y la mezcla se desmorona al abrir la mano el substrato está muy seco y es necesario humedecerlo.

Elaborada la pila y cuando esta tenga la humedad adecuada se procede a cubrirla con plástico negro (solarización) para evitar que los rayos solares afecten a los microorganismos inoculados por medio de los bio preparados y para evitar la deshidratación o sobre hidratación por agua lluvia y lavado de nutrientes.

Semanalmente se debe voltear y airear, evitar excesos de temperatura y acelerar el proceso de descomposición, asegurándose que los materiales que están sobre la superficie de la pila al volteo queden hacía adentro.

La duración del proceso de descomposición de la materia orgánica y la producción de abono, ocurre entre 60 a 90 días, dependiendo de la temperatura que se obtenga.

Cuando la temperatura de la pila desciende y aparecen cochinillas, lombrices y se observa una pasta de color café oscuro, con un agradable olor a tierra mojada, se considera que el proceso de descomposición y transformación ha terminado y se dispone de *abono orgánico* de buena calidad, se debe

extender en capas delgadas en la sombra protegido del agua lluvia, durante 2 a 3 días con el fin de bajar la humedad a 35 - 40 %.

Finalmente, el abono así obtenido se pasa por una zaranda o tamiz para mejorar la granulometría y facilitar la aplicación uniforme al suelo.

Durante el proceso de transformación de los residuos orgánicos en abono y dependiendo de su origen y condición se pierde en promedio una tercera parte del volumen inicial.

El abono orgánico es más eficiente entre más pronto se incorpore al suelo, así se evitan las pérdidas de nitrógeno por volatilización o de potasio por lixiviación entre otros.

El bocashi

Es un abono orgánico que resulta de la fermentación (*anaeróbica-aeróbica*) de desechos de carácter vegetal y animal al que se le agregan elementos de origen mineral para enriquecerlo (cal, roca fosfórica) y microorganismos para activar el proceso fermentativo.

Ventajas del bocashi, es un abono de producción rápida (no más de tres semanas), sus nutrientes se encuentran disueltos en el efluente que resulta del proceso fermentativo y son de fácil asimilación por las raíces de las plantas, siendo además un material de fácil manipulación.

Los secretos para producir un bocashi de buena calidad radican en los siguientes aspectos: Combinar algunos tipos de materiales orgánicos, controlar correctamente la temperatura y humedad, mantener un olor agradable de la fermentación.

Materiales para elaborar el bocashi, los ingredientes existen en gran variedad de desechos orgánicos y minerales a utilizarse como:

- Gallinaza, bovinaza, porquinaza, estiércol de oveja, caballos, cuyes.
- Desechos de camarón o de pescado
- Harina de huesos, harina de sangre, harina de higuierilla
- Carbón de leña quebrado en partículas pequeñas
- Cascarrillas de arroz carbonizado, polvillo de arroz
- Salvado de trigo o de cebada, granza de quinua, vainas de fréjol
- Raquis de banano picado, pulpa de café, cáscara de cacao o de coco picada
- Desechos de la producción hortícola y frutícola
- Agentes microbiológicos EM, levadura granulada o en barra
- Cal agrícola o ceniza vegetal, roca fosfórica
- Melaza, miel de caña o miel de panela, y

- Tierra de bosque o tierra negra y bastante agua limpia.

Herramientas como: Carretillas, azadones, palas, baldes, plásticos, termómetro, manguera para agua, mascarilla para protección contra el polvo, guantes y botas, etc.

Procedimiento para elaborar el bocashi, no corresponde a una rutina obligatoria, pues tanto las cantidades de los diversos ingredientes que se puedan conseguir, la forma de su preparación puede diferir de un lugar a otro respondiendo a la creatividad de los agricultores y la experiencia que se vaya obteniendo como resultado del error y el acierto.

A manera de sugerencia, se propone la siguiente mezcla para elaborar 1,0 tonelada de bocashi; se recomienda agregar y mezclar:

- 200 kg de tierra virgen (de bosque o tierra negra)
- 200 kg de desechos vegetales de granja (seco y verde)
- 200 kg de salvado de trigo, cebada o granza de quinua
- 250 kg de gallinaza o estiércol de cuyes o conejos
- 50 kg de polvillo de arroz (polidura)
- 50 kg de carbón molido
- 50 kilos de roca fosfórica
- 1 litro de malaza y 1 litro de microorganismos eficientes (EM) o 12 onzas de levadura.

- Agua de acuerdo a la prueba del puñado.

Obtención del bocashi, los ingredientes (orgánicos y minerales), se van apilando humedeciendo e inoculando con microorganismos eficientes EM o levadura + melaza conforme estos van llegando, para luego homogenizar la mezcla, agregando agua hasta obtener la humedad recomendada (50 – 60%), finalmente se extiende la mezcla formando eras de 1 – 1.50 m de ancho y una altura de 0.50 m.

Una vez extendido la mezcla es recomendable cubrirla con sacos de fibra durante los tres primeros días de la fermentación, con el objetivo de acelerarla. La temperatura de los ingredientes que están en proceso tiende a subir rápidamente a partir del segundo día, es necesario controlar todos los días, no es recomendable dejar que la temperatura sobre pase los 50 °C.

Los primeros días del proceso fermentativo del bocashi, la temperatura sube más de 70 °C, no debe permitirse pues los microorganismos benéficos mueren. Para controlar esta situación se debe voltear la mezcla dos veces diarias (en la mañana y por la tarde), con lo que se consigue airear y bajar la temperatura.

Para evitar que la temperatura suba en exceso es necesario rebajar gradualmente la altura del montón a partir del

tercer día hasta lograr más o menos unos 20 cm al octavo día, de aquí para adelante la temperatura del abono empieza a decrecer y luego a estabilizarse, siendo necesario revolverlo una vez al día.

Entre los 12 y 15 días el bocashi ha logrado su maduración y su temperatura es igual a la temperatura ambiente, su color es gris claro, tiene un olor agradable, con un aspecto de polvo arenoso y consistencia suelta. En estas condiciones, el abono está listo para ser aplicado o empacado en sacos de polipropileno y ser almacenado para su expendio.

Cuando se logra manejar adecuadamente el proceso de fermentación, la fabricación del bocashi puede llevarse a cabo entre 7 y 15 días y como máximo tres semanas.

Uso y manejo de bocashi, el abono fermentado se usa tanto en cultivos de ciclo corto (hortalizas, granos) como en cultivos bianuales y perennes (banano, café, cacao, frutales), en la elaboración para sustratos para almácigos, al momento del trasplante de plántulas, como en cultivos ya establecidos. Las cantidades a aplicarse están en función del análisis químico del suelo y a los requerimientos nutricionales de los cultivos.

Elaboración de sustratos, tanto para almácigos como para llenar macetas, se sugiere utilizar un bocashi bastante suelto y cernido, se puede mezclar con otros medios que varían

en términos porcentuales, por ejemplo: 90 % de tierra seleccionada + 10 % de bocashi; 60 % de tierra seleccionada + 40 % de bocashi.

Trasplante, si se trata de hortalizas a raíz desnuda o en pilón (pan de tierra), al momento del trasplante se hará un abonado directo en el hoyo donde se va a colocar la plántula, luego se cubre el abono con un poco de tierra para que la raíz no entre en contacto directo pues al tratarse de un fermento esta se puede quemar (Tabla 4 – 2).

Tabla 4 - 2. Recomendaciones de aplicación del bocashi en hortalizas.

Cultivos	Al trasplante (g/planta)	Primera aplicación (g/planta)	Segunda aplicación (g/planta)
Tomate	100	125 (a la floración)	150 (después de la cosecha)
Pimiento	80	100 (a la floración)	100 (después de la cosecha)
Cebolla	30	60 (a los 60 días)	
Lechuga	30	50 - 75 (al aporque)	
Coliflor	80	120 (al aporque)	

Fuente: Manual de fertilizantes orgánicos. Chávez. J.C. (1999).

El Biol (Fito estimulante de origen orgánico)

Concepto: Es fuente de fitoreguladores, producto de la descomposición anaeróbica (sin acción del aire), de los

desechos orgánicos que se obtienen por medio de la filtración o decantación del bioabono.

Funciones del bio: Promueve las actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de las plantas, sirve para las siguientes actividades agronómicas: Acción sobre la floración, acción sobre el follaje, enraizamiento, activador de semillas.

Te de estiércol

Es una preparación que convierte el estiércol sólido en abono líquido, mediante un proceso de fermentación aeróbica. Durante la elaboración del té, el estiércol suelta sus nutrimentos en el agua y así estos se hacen disponibles para las plantas.

Materiales para la elaboración, 1 caneca o tanque de plástico con capacidad para 200 litros. Si el tanque es de metal procure pintarlo por dentro con pintura anticorrosivo o ponerle una delgada capa de cemento para evitar la formación de óxidos.

- 1 costal o saquillo de yute o propileno.
- 11.36 kilos (25 libras) de estiércol fresco (vacuno, oveja, gallinaza, caballo, cuyes, conejos o una mezcla de estos).
- kilos de sulfato de potasio y magnesio (sulpomag)

- kilos de leguminosa fresca y picada
- 1 litro de leche, 1 litro de melaza o miel de caña
- 2 litros de EM (Agentes microbiológicos Eficientes o 454 gramos (1 libra) de levadura
- 1 piedra de 5 - 8 kilos de peso y 2 metros de cordel
- 1 pedazo de costal - saquillo - lienzo o material plástico para cerrar la boca de la caneca.

Elaboración del té de estiércol, su procedimiento consiste de la siguiente manera:

Coloque en el costal de 11.36 kilos (25 libras) de estiércol fresco, agregue los 4 kilos de leguminosa picada y los 4 kilos de Sulpomag, luego coloque dentro una piedra (para dar peso), amarre bien el costal con la cuerda dejando una de sus puntas de 1.5 m de largo (semejante a una bolsa de té).

Seguidamente meta el costal con el estiércol en un tanque con capacidad para 200 litros, agregue la leche, la melaza y los dos litros de EM (o la levadura) agitando vigorosamente para que estos materiales se diluyan.

Tape la boca de la caneca o tanque con un pedazo de costal, lienzo o plástico (procure que a la mezcla penetre oxígeno), y déjelo fermentar durante 2 semanas.

Concluido el período de fermentación, saque el costal de la caneca procurando exprimirlo. De esta manera, el té de estiércol esta listo para ser utilizado (Tabla 5 - 2).

Tabla 5 - 2. Composición del té de estiércol elaborado en base a gallinaza y alfalfa fresca

Composición	Unidades	Contenidos
Agua	%	43
Materia orgánica	g/kg	106
Nitrógeno	%	10.30
Fósforo (P_2O_5)	%	5.80
Potasio (K_2O)	%	3.10
Cobre	%	0.0003
Magnesio	%	0.026
Calcio	%	1.30
Magnesio	meq/100g	1.30
pH		6.8
Relación (C/N)		13.6/1

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Uso y manejo, para su aplicación se deben hacer diluciones, por ejemplo, para cultivos hortícolas y de ciclo corto se aplicará en diluciones entre 10 y 25 % y para frutales (banano, cítricos, de hoja caduca, etc.), cacao, café, palma africana, coco, palmito, de acuerdo a su estado se hacen aplicaciones que oscilen entre el 20 y 50 %.

Las aplicaciones se realizarán al follaje de los cultivos cada 8 a 15 días, mediante aspersiones con una bomba de

mochila manual o a motor, para pequeñas extensiones se pueden hacer aplicaciones con el auxilio de una regadera, dirigiendo el chorro en banda al cultivo o alrededor de las plantas frutales (hasta donde se extienden las ramas). Se puede aplicar este abono a través de la línea de riego por goteo (200 L/ha) cada 15 días, tanto en los cultivos hortícolas, florícolas, frutales de ciclo corto, café cacao, etc.

El abono de frutas

Es un abono orgánico de elaboración artesanal que resulta de la fermentación aeróbica o anaeróbica de frutas y melaza a cuyo material se le agrega también algunas hierbas conocidas por su riqueza en nutrimentos o principios activos capaces de alimentar a las plantas o protegerlas del ataque de plagas.

El abono de frutas en su composición química contiene algunos aminoácidos y elementos menores, que son proporcionados por la composición de las frutas, la melaza y las hierbas que se utilizan en su elaboración, ver en la Tabla 6 - 2.

Materiales para el abono de frutas, un recipiente de plástico o cerámica con capacidad para 10 L que tenga la boca ancha (tipo barril).

- 1 tapa de madera que calce dentro del recipiente (prensa)
- 1 piedra de 5 kilos de peso o dos ladrillos grandes (prensa)
- 5 kg de frutas maduras (banano, melón, manzana, guayaba, tuna, papaya, mango, etc.)
- kilos de melaza o miel de panela (chancaza).

Para su elaboración, seguir los siguientes pasos:

Lavar las frutas y cortarlas en pedacitos (no es necesario pelarlas) se recomienda no poner muchas frutas cítricas ya que se puede transmitir un carácter demasiado ácido al abono. Hay que procurar una mayor diversidad de frutas.

Colocar 1 kilo de frutas en el fondo del recipiente y luego agregar 1 litro de melaza o miel y así sucesivamente hasta completar los 9 kilos de material. Si hay hierbas como alfalfa, verdolaga, ortiga, cortarlas en pedacitos y colocarlas intercaladas entre la fruta.

Poner la tapa de madera sobre la última capa de fruta, colocando sobre ella una piedra o ladrillos para que el material se preñe y fermente durante un lapso de 8 a 10 días.

Una vez concluido el período de fermentación de la fruta/melaza/hierbas (presencia de burbujas), proceda a filtrar el material utilizado para el efecto un colador o cernidero. En el

proceso final se recomienda utilizar un pedazo de lienzo para obtener un abono líquido de mejor calidad en base a su composición química (Tabla 6 – 2).

Tabla 6 - 2. Composición química del abono de frutas

Componentes	Unidades	Contenidos
Nitrógeno	%	0.17
Cobre	µg/100 ml	6
Hierro	µg/100 ml	82
Manganeso	µg/100 ml	5
Zinc	µg/100 ml	3
Aminoácidos:		
Ácido aspártico	mg/100 ml	153
Treonina	mg/100 ml	19
Serina	mg/100 ml	27
Ácido glutámico	mg/100 ml	116
Alanina	mg/100 ml	122
Glicina	mg/100 ml	57
Valina	mg/100 ml	42
Metionina	mg/100 ml	7
Isoleucina	mg/100 ml	13
Leucina	mg/100 ml	17
Fenil alanina	mg/100 ml	70
Histidina	mg/100 ml	32
Lisina	mg/100 ml	18

Fuente: López, Salomé (2000).

Uso y manejo, se recomienda su utilización en la producción de frutas, hortalizas, granos, raíces, tubérculos y cultivos tales como café, cacao y ornamentales.

En la producción de hortalizas se recomienda aplicar las siguientes dosis: hortalizas de hoja 2.5 cm³/L; para hortalizas de cabeza y hortalizas de frutos 5.0 cm³/L.

No se deben utilizar dosis mayores que las indicadas, pues se corre el riesgo de taponar las estomas de las hojas en las plantas y asfixiarlas.

La orina

La orina es un abono líquido rico en nitrógeno. Se estima que 1 litro de orina equivale a 20 g de nitrógeno.

La orina de los animales se puede coleccionar en los establos, el piso debe estar cementado. Es necesario que la orina se guarde en un recipiente con tapa para evitar malos olores, moscas y que además se pierda su valor fertilizante.

Para aplicar la orina como abono debe procederse de la siguiente manera: diluir 1 litro de orina en 5 litros de agua fresca. A continuación, se rocía la dilución al follaje de las plantas. El resultado se verá a los pocos días y su acción en las plantas responde a la que produce la urea.

El purín

Está constituido por la orina fermentada de los animales domésticos, mezclada con partículas de excrementos, jugos que fluyen del estiércol y agua de lluvia.

Los purines se componen principalmente de agua y excrementos de animales. Es muy similar al estiércol, pero la diferencia es que el estiércol es una mezcla de excrementos de animales de granja combinados con otros vertidos como el agua de lavado, pérdida de alimento y paja o pienso. Cuando la mezcla de agua, excrementos y diversos vertidos incluye un 85 % de agua, se trata de un purín.

Los beneficios del purín, es un fertilizante natural que incluye los principales nutrientes que permiten a una planta crecer, es decir, nitrógeno, fósforo y potasio. Es utilizado por los agricultores para esparcirlo en sus tierras como fertilizante y para reemplazar el fertilizante químico. Además, favorece la actividad biológica del suelo. El purín líquido es, por tanto, una fuente renovable de nutrientes que es importante gestionar bien para limitar el uso de fertilizantes minerales como los fertilizantes nitrogenados.

Té de hierbas

Es un fertilizante foliar de origen orgánico, es producto de la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos y restos de plantas finamente picados como las leguminosas

alfalfa, arveja, haba, tarwi, u otros como la ortiga, manzanilla, romero, malva, entre otras.

Se pica 0.5 kg de alfalfa y 0.5 kg de ortiga, se pone a remojar estas hierbas en 1 galón de agua durante 5 días. Para aplicar a los cultivos se mezcla 125 cm³ de esta preparación por cada galón de agua. De manera que para una bomba de 20 litros se debe poner 625 cm³ de purín de hierbas. Se recomienda aplicar este preparado al follaje de los cultivos con un intervalo de 5 a 8 días.

Uso y aplicación, se aplica al follaje en todos los cultivos como papa, maíz y hortalizas. Se recomienda aplicar 3 L de purín en 15 L de agua. Se recomienda utilizar en época de crecimiento de las plantas, dado que en esta etapa las plantas tienen capacidad de absorber el 50% de las sustancias nutritivas del purín. También se lo puede mezclar con hierbas amargas (marco, ajo, ruda, ají, etc.) y usarlo al mismo tiempo para controlar plagas y enfermedades.

Composición química de los fertilizantes orgánicos procesados y naturales

Abonos orgánicos, la calidad de los estiércoles depende de la especie, alimentación y edad del animal, del manejo que se le da a los estiércoles antes de ser aplicados, El guano de isla, es uno de los abonos naturales de mejor calidad en el

mundo, por su alto contenido de nutrientes. Los excrementos de las aves son muy ricos en N. (Tabla 7 – 2).

Tabla 7 - 2. Composición química de fuentes orgánicas naturales

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Bovino	0.50	1.30	2.00	0.10	4.0
Ovino	0.60	2.10	1.80		3.0
Caballar	0.50	3.20	1.80		
Gallinaza	6.11	5.21	3.20	0.20	0.2
Cerdo	3.73	4.52	2.89		1.3
Chivo	2.00	0.04	2.50	9.60	3.4
Guano de isla	12	11	2.00		
Llama	3.93	1.32	1.34		
Vicuña	3.62	2.00	1.31		
Alpaca	3.60	1.12	1.29		

Fuente: Chávez. J.C. (1999).

Purines o estiércoles líquidos, la composición de los purines es muy variable en cada una de las especies animales, según su régimen de alimentación. En general los purines presentan un pH ácido, por la aportación de orina que tiene en su composición.

La orina es un abono líquido rico en nitrógeno. Se estima que 1 litro de orina equivale a 20 gr. de nitrógeno (Tabla 8 – 2).

Tabla 8 - 2. Contenido nutricional en materiales líquidos orgánicos

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	pH
Purín	0.28	0.045	0.45	---	Ácido
Bóvidos	0.25	0.10	0.45	---	Ácido
Cerdos	0.32	0.15	0.15	---	Ácido
Aves de corral	0.95	0.05	0.05	0.05	Ácido

Fuente: Chávez. J.C. (1999).

Turba y Cenizas, el pH está en función de su procedencia; la turba rubia es muy ácida, pH = 3.5; su aplicación en el suelo requiere de un estudio previo, para evitar problemas de acidez en el suelo.

Tabla 9 - 2. Contenido nutricional en materiales líquidos orgánicos

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	pH
Turba	0.6 - 2	---	3 - 5	6.4 - 9.6	4.3 - 6.1	11 - 15	3.2 - 4
Cenizas	---	---	10	---	---	---	---

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Subproductos de animales, estas fuentes no son fáciles de conseguir, pues no se producen en grandes cantidades, sus costos son elevados, pero presentan un ingreso para quienes obtienen estos subproductos como parte de su actividad

principal. Las lanas y plumas de animales son muy buenos nitrogenados.

Tabla 10 - 2. Contenido nutricional en diferentes subproductos de animales.

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cuernos y pezuñas	1.2 -1.5	1.3	
Plumas	1.2	1.1	0.08
Sangre desecada	13		
Cuerno tostado	0.15		
Residuos de lana	0.09		

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Abonos procesados, la composición química en los diversos abonos orgánicos procesados a obtener dependen de la cantidad y calidad de los materiales que se hayan utilizado para su elaboración, así como también del tiempo de duración del proceso de un determinado abono.

El humus, compost, bocashi, biol y té de frutas, de todos ellos, el humus es el mejor abono orgánico, posee contenidos muy altos en N, P, K, Ca y Mg asimilables, acompañado por gran cantidad de bacterias, hongos y enzimas que continúan el proceso de desintegrar y transformar la materia orgánica.

Tabla 11 - 2. Contenido nutricional en diferentes abonos procesados.

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
Humus	1.95	0.53	1.28	5.0	1.75	6.8 - 7.2
Compost	1.65	0.9	1.0	1.0		6.4 - 7.3
Bocashi	0.78	1.30	0.60	0.28	0.25	
Biol	2.7	0.3	2.1			
Te de frutas	0.17	0.24	3575 ppm	975 ppm	1371ppm	4.45
Te de estiércol	1.3	5.8	3.1	1.3		6.8

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Harinas de distintas fuentes, estas harinas son elaboradas con los desechos de restos de animales y vegetales, que tienen en su composición elementos que le benefician a la planta, tienen un alto costo para su aporte de nutrimentos también alto.

Abonos verdes, son cultivos que se siembran con la única finalidad de incorporarlos al suelo sin extraer de los mismos ninguna fracción con fines comerciales.

Se usan leguminosas para que aporten nitrógeno, altramuces para suelo ácido y en suelo calizo, veza, meliloto, guisante, habas, trébol y alfalfa.

Tabla 12 - 2. Contenido nutricional en diferentes materiales vegetativos.

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
Heno de alfalfa	2.5	5.0	2.1			
Pulpa de café	1.4	0.18	2.3			
Mezcla de rastrojos	1.04	1.50	1.3			
Avena negra	7.7	1.39	0.17	2.30	0.38	
Centeno	6.2	0.97	0.20	2.05	0.32	
Ray grass	4.8	1.01	0.13	2.61	0.52	
Fréjol	3.9	2.70	0.26	2.74	0.56	4.54
Arveja	3.6	3.00	0.31	2.51	1.08	4.10
Trébol dulce	7.5	1.52	0.11	2.49	0.70	

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Enmiendas orgánicas, la ceniza tiene altas concentraciones de sales alcalinas y térreas, sílice y óxidos metálicos, dependiendo de su procedencia, esta aportación puede ser alta, baja o media y de igual modo su efecto en el suelo.

Tabla 13 - 2. Contenido nutricional en diferentes productos orgánicos.

FUENTE	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	pH
Paja de leguminosas	0.5 - 0.8	0.1 - 0.2	1.7 - 2.0	0.3 - 0.7		4.10
Paja de cereales	0.4 - 0.9	0.08 - 0.13	0.3 - 0.7	0.24		4.80
Compost de basura	0.17- 0.21	0.09 - 0.22	0.5 - 0.7	7.7 - 15.7	0.0 - 1.1	
Cenizas de leña				20 - 45		10.5
Lodos cervecedores		0.011	0.018	0.08		

Fuente: Chávez. J.C. (1999)

Como aplicar el abono orgánico al suelo, se debe realizar antes o después de la siembra, el abono se debe colocar la siguiente cantidad:

En terrenos muy pobres, de 100 a 150 quintales por cuadra

En terrenos regulares, se aplicará de 75 a 80 quintales por cuadra.

En terrenos buenos, se aplicará 50 quintales por cuadra

2.3.2 Cálculo matemático para preparar abonos orgánicos procesados (relación C/N):

Formula: $X = (30 \text{ veces } N_n) - C_n / C_c - (30 \text{ veces } N_c)$

Donde:

X = Cantidad en peso del material rico en carbono, para cada parte de nitrógeno.

Nn = % de nitrógeno, en el material rico en N.

Cn = % de carbono, en el material rico en N.

Nc = % de nitrógeno, en el material rico en C.

Cc = % de carbono, en el material rico en C.

Desarrolle el siguiente ejercicio

Se necesita producir compost con una relación C/N de 25:1, y fertilizar al cultivo de brócoli; se recomienda aplicar 100 g/planta, en una superficie de 22500 m²; para su proceso se cuenta con: harina de sangre, estiércol de bovino y cuy, tamo de cebada, pasto verde.

Se pregunta:

- La cantidad de c/u de los compuestos orgánicos para realizar esta actividad,
- Las dimensiones y número de composteras de forma trapezoidal y
- Demostrar la R C/N solicitada.

Tabla 14 – 2. Composición química de abonos orgánicos

Contenido de:	% C	% N
Harina de sangre:	48	11.80
Estiércol de bovino	54	1.70

Estiércol de cuy	60	2.20
Tamo de cebada	47	0.85
Abono verde	52	1.25

Fuente: Chávez. J.C. (1999).

2.4 Biodigestores

2.4.1 *Importancia del biodigestor*

Constituyen una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, permiten disminuir la carga contaminante, eliminar los malos olores y generar un gas combustible denominado biogás el cual tiene diversos usos.

Que es el Bío – abono – gas, son productos que se obtienen por la fermentación del estiércol de animales y de los residuos vegetales solos o mezclados entre sí en diferentes proporciones, en presencia de agua.

Definición de biogás, término que se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos orgánicos, como las deyecciones o estiércol de animal, o la combinación con desechos de vegetales

El biogás es un combustible producido mediante la fermentación anaeróbica (en ausencia de aire) de desechos

orgánicos de origen animal y vegetal, dentro de determinados límites de temperatura, humedad y acidez

El biogás es un compuesto volátil que quema limpiamente sin producir humo, está formado por gas metano, que es la parte combustible del bio - gas (60 a 70%), dióxido de carbono (40 a 30%) y pequeñas cantidades de otros gases (hidrógeno y sulfuro de hidrógeno).

El biogás y el abono residual en el mundo, se ha convertido en una fuente ideal de energía para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional. Es así como ha tomado un gran impulso sobre todo en Asia, en países como China y la India, donde hay cerca de 500.000 plantas de tipo familiar instaladas y funcionando a pleno.

El bio abono, es el residuo de la fermentación que contiene nitrógeno, fósforo y potasio, así como otros nutrientes para las plantas y para colocar al suelo.

El proceso biológico, el biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno siendo estas:

Las Hidrolíticas, que producen ácido acético, compuestos monocarbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos poli – carbonados.

Las aceto - génicas, productoras de hidrógeno.

Las homoacetogénicas, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multi carbonados o monocarbonados en ácido acético.

Las metano-génicas, productoras de gas metano, principal componente del biogás.

Tabla 15 - 2. Composición química del biogás

Tipo de gas	Contenido en %
Metano	60 – 70
Bióxido de carbono	30 - 40
Hidrogeno	5 - 10
Nitrógeno	4 – 6
Oxígeno	2 - 4

Fuente: Varnero, M.T. 1991

El término descomposición se aplica al fenómeno de desintegración biológica o putrefacción causado por los microorganismos. La fermentación, por ejemplo, es causada por la acción de las enzimas. La descomposición también puede producirse por: Acción química, enzimas, catálisis y la luz.

Factores que influyen en la producción, el de mayor importancia en la producción de gas en el biodigestor, se menciona: A la temperatura entre 20 a 33 grados centígrados.

Agitación de la mezcla, con la agitación de la mezcla se busca, en primer lugar, favorecer el contacto directo con el sustrato y las bacterias, evitando la formación de bolsas aislantes en torno a las bacterias.

Tiempo de retención, es el número de días que una cantidad dada de desechos debe permanecer dentro del digestor.

Tabla 16 – 2. Correlación entre el tiempo con la temperatura.

Temperatura (°C)	Tiempo de retención en días
10	90
15	60
20	45
25	37
30	32
35	28

Fuente: Varnero, M.T. 1991

Tabla 17 - 2. Relación carbono/nitrógeno en materiales orgánicos

Sustrato	C/N
Estiércol de bovinos	25
Estiércol de porcinos	16
Estiércol de gallinas	23
Estiércol de equinos	50
Tallos de trigo	87
Aserrín	730
Rastrojos de maíz	53

Fuente: Varnero, M.T. 1991

El pH en el digestor, está en función del (CO₂) en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad o acidez de la materia prima.

Las bacterias involucradas en el proceso son altamente sensibles a cambios en el pH. La franja de operación esta entre 6 y 8 teniendo como punto óptimo un pH de 7.

Uso del biogás, consumo 0.42 m³/día/persona, el cuadro reúne módulos y aplicaciones.

Tabla 18 – 2. Usos del biogás y otras fuentes de energía.

Usos	Solar	Eólica	Biogás	Hidráulica
Alumbrado	x	x	x	x
Cocina	x		X	
Bombeo de agua		x	x	X
Industria mecánica		X	x	x
Industrias (eléctrica térmica) secado, agua caliente, etc.	x		x	

Fuente: Varnero, M.T. 1991

Tamaño del biodigestor, con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos

orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen.

Tabla 19 - 2. Tamaño biodigestor afín al número de vacas - cerdos/producción de biogás.

Vacas		Estación de 200 Lde boñiga al día		Tamaño en m ³		Producción de biogás en m ³	
12	22	½	1	10	15	4.44	8.14
22	40	1	2	15	30	8.14	14.8
40	75	2	3 ½	30	50	14.8	27.75
75	150	3 1/2	7	50	100	27.75	55.5
Cerdos		Estación de 200 Lde boñiga al día		Tamaño en m ³		Producción de biogás en m ³	
25	40	0.75	1	10	15	4.5	7.30
40	85	1	1.5	15	30	7.3	1.5
85	200	1.5	3.5	30	50	15	36
200	400	3.5	7	50	100	36	70

Fuente: Varnero, M.T. 1991

Ventajas, que los productos finales de la digestión no tienen olor desagradable. Que los extractos sólidos digeridos no atraen a los roedores o las moscas. Permite disminuir la tala de los bosques. Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos. Diversidad de usos. Produce biofertilizante. Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal.

Desventajas, necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor. La inversión inicial para el equipo es

elevada; Necesita alimentar la instalación de biogás con las debidas cantidades y concentraciones de materia orgánica; Supervisión y una manutención casi diaria para mantener el proceso y el equipo en continuo funcionamiento.

Tabla 20 - 2. Problemas imprevistos en el manejo del biodigestor

CAUSA	SOLUCIÓN
El estiércol está muy diluido en agua	Preparar la carga con la proporción correcta de agua y estiércol.
El estiércol proviene de animales en tratamiento con antibiótico u otros medicamentos.	Impedir la carga por algún tiempo, esperar que el poder del medicamento disminuya. En caso crítico, cambiar todo el sustrato del digestor.
Exceso de carga	Aumenta la acidez. Suspender la carga por algún tiempo y/o agregar agua con cal en pequeñas cantidades.
La carga entra muy fría al digestor	Preparar la carga con agua caliente.
La temperatura ambiente muy baja	Construir sobre el digestor un pequeño invernadero. La planta debe estar expuesta al sol.
La formación de costra sobre el sustrato por falta de agitación.	Agitar diariamente. Extraer la costra del digestor.
No hay desarrollo de bacterias	En una planta nueva, se recomienda cargar con sustrato de otra planta que funciona correctamente.

Fuente: Varnero, M.T. 1991

2.4.2 Tipos de Biodigestores

2.4.2.1 Biodigestor Hindú

Ventajas, fácil manejo y operación, la presión del gas es constante e independiente del volumen almacenado, se puede conocer la cantidad de gas almacenado a través del nivel de la campana.

Desventajas, alto costo de la campana, tanto por su elaboración como por su mantenimiento, A pesar de obtenerse presión constante, su magnitud es relativamente baja (entre 0.08 – 0.15 m. c. a).

Zona de recolección, en la planta debe estar bien definida, con un piso firme y limpio para evitar que el estiércol arrastre consigo materiales inertes (*construir un piso de concreto*).

Fuente de agua, se requiere de agua libre de contaminantes químicos, tales como jabones o detergentes y que el abastecimiento sea continuo.

Componentes para el proceso: Tanque de carga y mezcla, de forma rectangular, un volumen interno un poco mayor (19 a 20%) que el volumen de carga diario.

Componentes para el uso de productos: Tubería de alta presión y distribución de gas

Trampa de condensado, cuando el biogás sale del digestor, a través de la tubería de conducción, se somete a una disminución de la temperatura, ocasionando la condensación de la humedad, fenómeno que puede obstruir la tubería.

Trampa de ácido sulfhídrico (H₂S), este componente de biogás es un gas con un olor característico a huevo podrido que además de ser molesto, puede resultar peligroso para la persona que se expone continuamente (olfato), produce dolor de cabeza, ardor en los ojos y pérdida de la visión. Ejemplo: el aserrín.

Métodos de alimentación, existen tres métodos de carga o alimentación de una planta de biogás, a saber:

Carga continua, en aquellas plantas utilizadas para el aprovechamiento de los desechos de grandes explotaciones pecuarias.

El Icaiti, se recomienda efectuar la carga a la misma hora todos los días, ya que el digestor “se acostumbra” a este régimen y el proceso no sufre alteraciones.

Carga por tandas, la carga total se efectúa en una sola operación, luego de la cual se espera que se produzca todo el gas que puede producir, y retirándose todo el efluente de una sola vez.

2.4.2.2 Biodigestor chino

Los componentes del digestor chino son: Tubería de salida del gas; sello removible; tapa móvil; entrada; tanque de desplazamiento; tubería de salida; almacenamiento de gas y almacenamiento de materia orgánica.

En este tipo de planta, el gas generado es almacenado en un pequeño volumen libre en la parte superior del digestor, pero cuando se ocupa este volumen y continúa generándose biogás, el sustrato es desplazado a la cámara adyacente denominada tanque de compensación. Cuando el biogás es consumido, el sustrato retorna nuevamente al digestor.

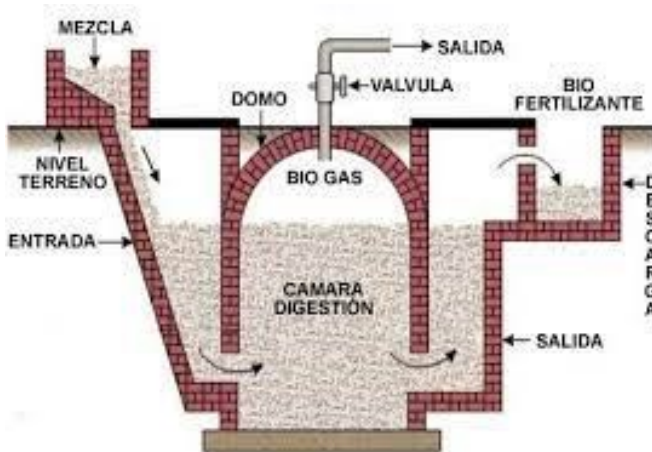


Fig. 1 - 2. Biodigestor Chino.

CAPÍTULO III

3 FERTILIZANTES INORGÁNICOS QUÍMICOS

3.1 Importancia

Son productos industriales que contienen en forma concentrada y fácilmente soluble, uno o varios de los elementos nutritivos que requieren las plantas.

Las propiedades físicas y químicas que presentan los fertilizantes *determinan su eficiencia* para condiciones específicas de suelo y cultivo.

En general, los fertilizantes se venden en sacos de 50 kg. La forma estandarizada de expresar el contenido de nutrimentos que tiene un fertilizante es porcentual.

Esta concentración de nutrimento útil o asimilable presente en un determinado tipo de fertilizante y que es expresado como % en peso de la cantidad total es lo que se conoce como grado, concentración o riqueza de un fertilizante.

El resto del producto que no son los nutrimentos señalados en la fórmula corresponde a:

La parte complementaria de los mismos como: cloruros, sulfatos, etc. Otras sustancias secundarias o balastre como Ca,

elementos menores o impurezas, y materiales inertes de relleno, como pueden ser: arena, arcilla y diatomita.

Las ventajas en el uso de los abonos de alta graduación, es que el costo por unidad de fertilizante resulta ser más bajo, el gasto por transporte, el espacio para almacenar y las necesidades de mano de obra para manipularlo son menores y puede efectuarse una distribución rápida.

3.2 Características de los fertilizantes

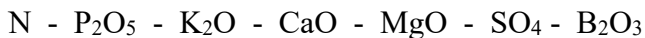
Hay fertilizantes que aportan, un solo nutrimento y se denominan: *simples o individuales*

Varios (2, 3 ó más) nutrimentos a la vez, denominados fórmulas completas, dentro de los cuales se distinguen: las *mezclas físicas* y las *combinaciones químicas o complejas*.

Más por tradición que por alguna razón científica, en las fórmulas de los fertilizantes, los elementos no son expresados como elementos puros, sino que se utilizan formas particulares como óxidos para referirse a cada uno de ellos.

Se debe tomar en cuenta las expresiones para realizar la conversión, pues en algunos casos como el P_2O_5 , la expresión convencional dobla la del elemento puro (P).

También, el orden de los nutrimentos expresado en una fórmula fertilizante sigue *normas convencionales* y corresponde a:



Cualquier otro nutrimento que se adicione a una fórmula completa debe indicarse en forma independiente.

Hay fertilizantes cuya *presentación* vienen en polvo, cristales y granulados.

La tasa de liberación de cualquier producto es inversamente proporcional al tamaño de la partícula, por lo tanto, tamaños mayores pueden asociarse con aprovechamientos más graduales, menor fijación y mayores facilidades de manejo.

La *distribución*, los fertilizantes en *polvo* tienen una ventaja ya que ofrecen una mayor superficie de reacción; los *granulados* no se apelmazan, son fáciles de manipular, no presenta dificultad para aplicar con la mano o con maquinaria.

La *solubilidad* en agua a 20°C de los fertilizantes es importante. La solubilidad de un fertilizante es la cantidad máxima del fertilizante que puede ser completamente disuelta en un volumen determinado de agua. La solubilidad de la mayoría de los fertilizantes aumenta con la temperatura del

agua. Los productos más solubles son a su vez los que más se humedecen al almacenarlos (ej. nitrato de amonio).

La compactación e higroscopicidad, son los problemas más frecuentes en la industria de los fertilizantes químicos, donde se desarrollan enlaces cristalinos entre las partículas durante el periodo de almacenamiento, como resultado de las reacciones químicas internas y por efectos térmicos producidos por la precipitación de los cristales y la adquisición de la humedad del ambiente, etc.

La incompatibilidad química de los materiales fertilizantes puede generarse por las siguientes causas: Desarrollo de calor en la mezcla y/o humedad y la producción de gas (Tabla 1 – 3).

Tabla 1 - 3. Compatibilidad química para mezclar fertilizantes en seco y estanque

NITRATO DE AMONIO																
E	NITRATO DE CALCIO															
I	I	AMONIACO ANHIDRO														
E	I	L	SULFATO DE MAGNESIO HEPTAHIDRATADO													
I	E	L	E	UREA												
C	I	L	E	E	SULFATO DE AMONIO											
C	I	I	E	L	C	FOSFATO MONOAMONICO										
C	I	I	E	L	C	L	FOSFATO DIAMONICO									
C	I	I	E	L	C	C	C	FOSFATO MONOPOTASICO								
C	L	I	E	L	C	C	C	C	NITRATO DE POTASIO							
C	I	I	E	L	C	C	C	C	C	SULFATO DE POTASIO						
C	I	I	E	L	C	C	I	C	C	C	SULFATO DE MAGNESIO ANHIDRO					
E	L	I	E	L	L	L	L	L	L	L	L	NITRATO DE MAGNESIO				
L	I	P	I	E	E	E	E	E	E	E	E	E	ACIDO FOSFORICO			
L	L	P	I	P	P	L	L	L	L	I	I	L	L	ACIDO NITRICO		
P	I	P	I	P	P	L	L	L	L	I	I	P	L	L	ACIDO SULFURICO	
S	S	P	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	P	P	P	AGUA

C	Mezcla 100% compatible en seco y en estanque
I	Mezcla incompatible en seco y en estanque, no realizar
E	Mezcla compatible solo en estanque al momento de inyectar
L	Mezcla de compatibilidad limitada en seco y también en agua, usar cantidad limitada
P	Mezcla que genera calor, peligro , siempre aplicar ácidos al agua y no al revés
S	Cantidad soluble en agua limitada por puntos saturación de la sal

Fuente: Román S. 2002. Libro Azul. Manual de fertirriego de SQM.

Los fertilizantes *por su composición* pueden acidificar o basificar o salinizar el medio.

Son de *reacción ácida*: sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato de amonio, urea.

Son de *reacción neutra*: fertilizantes potásicos, superfosfato triple

Son de *reacción básica*: nitrato de sodio, de calcio y de potasio y la roca fosfórica.

Son salinizantes: los fertilizantes como: cloruro de potasio, nitrato de amonio.

Los superfosfatos, en bajas cantidades pueden ponerse junto con la semilla porque no tienen sales. Características como la *consistencia del gránulo*, y la *densidad* son importantes en el almacenamiento y el transporte.

3.3 Clasificación de los fertilizantes inorgánicos

No existe una verdadera clasificación de los fertilizantes inorgánicos o químicos, pero, con fines de estudio se realiza la siguiente agrupación: Por su presentación, por su composición y por su concentración.

Por su presentación, los fertilizantes se agrupan en: sólidos, líquidos y gaseosos. A su vez, los sólidos se los puede encontrar en forma de polvo, granular y cristales. Mientras que los líquidos pueden venir en soluciones y suspensiones o concentrados.

Por su composición, los fertilizantes se agrupan en: simples, compuestos y complejos.

Los fertilizantes simples, son aquellos que aportan un solo nutrimento para el proceso vegetativo y así tenemos los nitrogenados como es el caso de la urea, nitrato de amonio; los fosforados como el superfosfato triple; los potásicos como el

cloruro y sulfato de potasio; los cálcicos, magnésico, sulfatados, etc., es decir, está en función del nutrimento que sobre sale en su formulación.

Los fertilizantes compuestos, son aquellos que resultan de la mezcla física entre los fertilizantes simples. Se debe considerar una particularidad que consiste en una gama o diversidad de colores. Estos pueden ser: binarios, si en su formulación se hacen presentes dos nutrimentos, ejemplo la mezcla entre urea + muriato de potasio. *Ternarios* si tiene 3 nutrimentos, cuaternarios o quinquenarios, etc.

Los fertilizantes complejos, son aquellos que resultan de la mezcla química, hecho en la industria o fábrica. La particularidad de estos fertilizantes es que presentan un solo color típico del formulado. También pueden ser binarios, terciarios, cuaternarios o quinquenarios ejemplo Nitrato de potasio (binario por que aporta N y K; fosfato monoamónico aporta N y P; el hidrocomplex (quinquenario por que aporta cinco elementos como: N, P, K, Ca y Mg, etc.

Por su concentración, riqueza o grado los fertilizantes se agrupan en: Nitrogenados, fosforados, potásicos, cálcicos, etc. Se fundamenta en la cantidad presente del nutrimento y su aportación; así, por ejemplo: Nitrato de amonio 34 % N; Urea 46 % de N; fosfato monopotásico 52 % de P_2O_5 y 34 % de

K_2O ; muriato de potasio 62 % de K_2O ; el nitrato de calcio 15 % N y 20 % de Ca; el ácido fosfórico 85 % de P; Nitrato de calcio amónico 34 % N y 28 % de CaO , etc.

En la tabla 2 - 3, se agrupan los fertilizantes inorgánicos, con mayor utilidad en el campo agrícola, para su aplicación en forma solida por medio del riego.

Tabla 2 - 3. Clasificación de los fertilizantes inorgánicos

FUENTES	FÓRMULA	CONCENTRACIÓN expresada en %
NITROGENADOS		
Sulfato de amonio	$(SO_4)_2NH_4$	20,5 N – 59 SO_4
Urea	$CO(NH_2)_2$	46 N
Nitrato de calcio	$(NO_3)_2 Ca$	15 N – 28 CaO
Nitrato de potasio	$NO_3 K$	13 N – 44 K_2O
Nitrato de amonio	$NO_3 NH_4$	34 N
Nitrato de sodio	$NO_3 Na$	16 N – 26 Na
Acido nítrico	HNO_3	69 N (densidad 1.42)
Cal nitro	$NH_4 NO_3 Ca$	20.5 N – 7 MgO – 7 Ca
FOSFÓRICOS		
Fosfato mono amónico	$NH_4 H_2 PO_4$	11 N – 62 $P_2 O_5$
Fosfato mono potásico	$KH_2 PO_4$	52 $P_2 O_5$ – 34 K_2O
Fosfato bi potásico	$K_2 H PO_4$	41 $P_2 O_5$ - 54 K_2O
Fosfato di amónico	$(NH_4)_2 HPO_4$	18 N – 46 $P_2 O_5$
Súper fosfato triple	$(PO_4)_2 H_4 Ca$	45 P_2O_5 – 12 CaO
Fosfato de amonio y sulfato		16 N – 20 P_2O_5 – 15 S
Superfosfato simple	$H_2 PO_4 Ca$	18 P_2O_5 – 18 CaO

Acido fosfórico	$H_3 PO_4$	55 P_2O_5
Roca fosfórica		28 – 32 P_2O_5
POTÁSICOS		
Muriato de potasio	KCl	60 K_2O – 46 Cl
Sulfato de potasio	SO_4K_2	50 K_2O – 17 SO_4
Sulphomag	$K_2 SO_4, 2 Mg SO_4$	22 K_2O – 11Mg – 22 S
Tío sulfato de potasio	$K_2 S_2 O_3$	25 K_2O – 17 S
Nitrato de sodio y potasio	$NO_3 Na K$	15 N – 14 K_2O – 18 Na.
CÁLCICOS		
Fosfatos bi cálcicos	$PO_4 H Ca$	38 P_2O_5 – 32 Ca
Nitrato de calcio amónico	$(NO_3NH_4)_2Ca$	34 N – 28 CaO
Carbonato de calcio	$CO_3 Ca$	65 CaO
Yeso	$SO_4 Ca.2H_2O$	23 CaO
OTROS		
Nitrato de magnesio	$(NO_3)_2 Mg$	
Sulfato de magnesio	$Mg SO_4$	27 MgO – 9 S.
10 - 30 - 10		
Nitrofoska azul		12 N – 12 P_2O_5 - 17 K_2O .
Hidrocomplex		12 N - 18 P_2O_5 - 12 K_2O - 5 Ca – 2.5 Mg.
Borax		15 – 16 B

Elaboración: Arcos T. F. 2021

Tarea 4. Determinar las propiedades físico – químicas en diferentes muestras de fertilizantes inorgánicos.

3.4 Épocas y métodos de aplicación de los fertilizantes

3.4.1 Época de aplicación

El nutrimento debe estar en el suelo, cuando la planta más lo necesite (*esencialidad*) y mejor lo use (*eficiencia*). Además, se considera lo siguiente:

Es importante conocer el ciclo de la vida de la planta (*etapas, número de días*)

Conocer los requisitos nutricionales a lo largo del ciclo, o por etapas

Seleccionar épocas críticas para cada elemento

El comportamiento de cada elemento en el suelo (*fijación, movilidad*) determina el momento oportuno de aplicación

Entre más se distribuya o fraccione la aplicación, mayor será su eficiencia agronómica

El fertilizante requiere de ciertas condiciones climáticas para actuar, siendo imprescindible que haya humedad (*capacidad de campo*)

En condiciones secas, los productos no actúan, los nitrogenados se pueden volatilizar y en suelos muy húmedos se pueden lixiviar.

Se deben evitar temperaturas muy altas y los momentos de fuerte evapotranspiración durante el día.

3.4.2 Métodos de aplicación

Según la naturaleza del sistema radical, la morfología de la raíz, forma y el funcionamiento fisiológico. El 80 % de raíces se encuentran en los 20 - 30 cm de profundidad.

El movimiento de los nutrientes en el suelo depende de algunos factores que son claves analizar como: transpiración, precipitación, evaporación, textura y humedad, en función de cada elemento.

Las características de las fuentes a usar, serán consideradas la mayor o menor grado de solubilidad, susceptibilidad a volatilizarse o fijarse.

El método de aplicación está en función del relieve, se deben evitar pérdidas por arrastre o erosión del suelo.

Además, dependerá de otras prácticas agronómicas como: el aporque, las podas, el raleo, los deshierbes, etc.

La dificultad o factibilidad, será de no usar métodos sofisticados que impidan realizar correctamente las labores de aplicación.

Existen tres métodos de aplicación básicos de los fertilizantes y estos son: de superficie, foliar e inyección al suelo. Todos contribuyen a la salud y la belleza de las plantas.

3.4.2.1 Aplicación de superficie

Estas aplicaciones se utilizan en áreas de suelo desnudo o cubierto de mulch, ya que acelera su proceso de descomposición. Este es el método más rápido y requiere de un buen esparcidor rotativo para que la distribución de los granos sea pareja en toda la superficie

3.4.2.2 *Aplicación foliar*

Se denomina alimentación foliar a la pulverización de plantas con un fertilizante líquido o soluble. La alimentación foliar es un suplemento de la alimentación primaria y la respuesta de las plantas a este tipo de aplicación es muy rápida, pero los efectos que produce son a corto plazo.

3.4.2.3 *Aplicación por inyección*

Consiste en la aplicación de fertilizantes líquidos o granulares directamente en el suelo, en la zona radicular.

Los principales métodos de aplicación, Está determinado por la forma de uso, el grado de solubilidad y el tipo de los fertilizantes, es decir, si son sólidos o líquidos (Tabla 25).

Tabla 3 - 3. Principales métodos para aplicar los fertilizantes

SUPERFICIALES	ENTERRADOS
No localizado: Voleo o a manta	No localizado: Incorporado o enterrado
Localizados: Banda lateral (1 o 2) A golpe	Localizados: Fondo del surco a chorro continuo; A golpe
En forma de círculo	Fondo del hoyo

Media luna	Espeque
Ferti-riego: Gravedad, aspersión foliar, goteo, micro y macro aspersión y nebulización	Ferti-riego: Drench, Chorro continuo-fondo del surco

Elaboración: Arcos T. Franklin. 2021.

Tarea 5. En diferentes cultivos, emplear los principales métodos de aplicación de los fertilizantes inorgánicos, grabar en fotografías y realizar una presentación en power point.

3.5 Cómo aplicar los fertilizantes

El método de aplicación de los fertilizantes (abono orgánico o fertilizantes minerales) es un componente esencial de las buenas prácticas agrícolas. La cantidad y la regulación de la absorción dependen de varios factores, tales como la variedad del cultivo, la fecha de siembra, la rotación de cultivos, las condiciones del suelo y del tiempo.

En las prácticas agrícolas eficientes, el agricultor escoge la cantidad y la oportunidad en el tiempo, de manera que las plantas usen los nutrientes tanto como sea posible. Para un aprovechamiento óptimo del cultivo y un potencial mínimo de contaminación del medio ambiente, el agricultor debe suministrar los nutrientes en el momento preciso que el cultivo los necesita. Esto es de gran relevancia para los nutrientes

móviles como el nitrógeno, que son fácilmente lixiviados del perfil del suelo, si no es absorbido por las raíces de las plantas.

En los casos de aplicación de urea y de fosfato diamónico, las pérdidas pueden darse a través de la emisión de amoníaco en el aire. Ambos fertilizantes deben ser incorporados en el suelo inmediatamente después de la aplicación, si no hay una lluvia inmediata o riego para incorporarlos en el suelo. Es de importancia particular en los suelos alcalinos (calcáreos).

Todos los nutrientes primarios y secundarios deberían ser incorporados inmediatamente después de la aplicación en las regiones en las que se esperan lluvias abundantes, para evitar pérdidas debidas al escurrimiento y a la erosión.

Cuando el fertilizante es aplicado a mano, debería tenerse un cuidado extremo para distribuir los nutrientes uniformemente y en las dosis exactas. Donde se usa equipo de aplicación de fertilizantes, éste debería ser ajustado a fin de asegurar un esparcimiento uniforme y en proporciones correctas. El equipo debe ser mantenido en buenas condiciones.

3.5.1 *Al voleo*

El esparcimiento a voleo del fertilizante (es decir aplicándolo a la superficie de un campo) es usado

principalmente en cultivos densos no sembrados en filas o en filas densas (pequeños granos) y en prados. Es también usado cuando los fertilizantes deberían ser incorporados en el suelo después que la aplicación sea efectiva (fertilizantes fosfatados), o para evitar las pérdidas por evaporación de nitrógeno (urea, fosfato diamónico).

La incorporación a través de la labranza o arada es también recomendada para aumentar el nivel de fertilidad de la capa arada entera. Si el fertilizante es esparcido a voleo a mano o con un equipo de distribución de fertilizante, el esparcimiento debería ser tan uniforme como sea posible.

3.5.2 Localización en bandas o hileras

Cuando la aplicación del fertilizante es localizada (poniendo el fertilizante sólo en lugares seleccionados en el campo), el fertilizante es concentrado en partes específicas del suelo durante la siembra, que puede ser ya sea en bandas o en una franja debajo de la superficie del suelo o al lado de, y debajo de, la semilla. Este proceso puede ser realizado a mano o por medio de equipos especiales de siembra y / o equipos para la aplicación del fertilizante (sembradora de semilla y fertilizante).

Es preferible usarlo para cultivos en hileras, que tienen relativamente grandes espacios entre las filas (maíz, algodón y caña de azúcar); o en suelos con una tendencia a la fijación de fosfato y potasio; o donde cantidades relativamente pequeñas de fertilizantes son usadas en suelos con un bajo nivel de fertilidad.

En los lugares en los cuales los cultivos son trabajados a mano y plantados en colinas, el número de gramos de fertilizantes recomendado es ubicado en la hilera o en el hoyo cavado (medido preferiblemente con un tarro o lata), debajo, o al lado de la semilla, y cubierto con tierra. Se debe tener mucho cuidado que ningún fertilizante sea ubicado demasiado cerca a la semilla o a la plántula para evitar la toxicidad, es decir daño por sal en el sembrado (quemando las raíces).

3.5.3 Aplicación en cobertera

El abono en cobertera (esparciendo el fertilizante a voleo sobre un cultivo en pie) es usado principalmente en cultivos de granos pequeños y grandes y en cultivos tales como forrajes.

La aplicación en cobertera es una práctica normal en suelos en los cuales hay necesidad de nitrógeno adicional y en cultivos en los cuales una aplicación simple de la cantidad total

de nitrógeno necesario en el momento de la siembra podría llevar a pérdidas a través de la lixiviación, o donde los cultivos muestran una necesidad especial de nitrógeno en ciertas etapas de desarrollo.

El nitrato móvil se mueve hacia abajo en el suelo y puede ser tomado por las raíces de las plantas.

El abono en cobertera de potasio, que no se mueve en el suelo al mismo grado del nitrógeno, podría ser recomendado en suelos ligeros, es decir aplicando la cantidad total dividida entre un abono de fondo y uno de cobertera.

El fosfato difícilmente se mueve en el suelo. De aquí que sea aplicado usualmente antes o en el momento de la siembra o de la plantación (aplicación de fondo), preferiblemente combinado con potasio y parte del nitrógeno. El nitrógeno restante debería ser aplicado como un abono en cobertera en una o más aplicaciones separadas.

3.5.4 *Aplicación entre líneas*

Esta modalidad de fertilización se puede realizar siguiendo diferentes métodos. Cuando se aplican abonos sólidos, se puede realizar de forma mecanizada o manual. En los dos casos, el fertilizante es distribuido homogéneamente por las líneas entre los cultivos. Además, este método permite

realizar en varias ocasiones, pudiendo modificar las dosis y el equilibrio en función de las condiciones meteorológicas, épocas del año y del estado de la planta.

Aplicar el fertilizante entre líneas es la práctica de ponerlo al lado de las plantas espaciadas ampliamente en hileras tales como maíz, algodón y caña de azúcar. Los árboles y otros cultivos perennes son también abonados de esta manera.

3.5.5 *Aplicación foliar*

La aplicación foliar es el método más eficiente de suministro de micronutrientes (pero también de N o N – P - K en una situación crítica para el cultivo) que son necesarios solamente en pequeñas cantidades y pueden llegar a ser indisponibles si son aplicados en el suelo.

Para minimizar el riesgo de quemado de las hojas, la concentración recomendada tiene que ser respetada y propagada preferiblemente en días nublados y en las primeras horas de la mañana o las últimas del atardecer (para evitar que las gotitas se sequen inmediatamente).

3.6 *Cómo determinar las necesidades de los fertilizantes*

Para determinar las necesidades de fertilizantes para los cultivos y suelos en su región, usted debe saber dos cosas:

¿Cuál o cuántos de los nutrientes son necesarios en el fertilizante?

¿Cuánto se necesita de cada nutriente para lograr el rendimiento mayor o el más beneficioso (el óptimo)?

Hay algunas técnicas para lograr las respuestas a estas preguntas. En una buena aproximación, se puede utilizar las cifras de absorción de los nutrientes a los respectivos niveles de rendimiento. Las recomendaciones de fertilizantes para cultivos seleccionados y,

otras técnicas son discutidas y se indican a continuación:

Signos de carencia de nutrientes en cultivos en desarrollo (síntomas de deficiencia).

Análisis de suelos para determinar los nutrientes de los fertilizantes y las cantidades que se necesitan.

Análisis de la planta y / o del tejido de la planta en el campo.

Ensayos de validación de fertilizantes en el campo

3.7 Rentabilidad por la fertilización

Para alcanzar mayor rentabilidad se debe invertir más tiempo evaluando distintas situaciones y buscando informaciones que ayude a tomar decisiones correctas en

cuanto a las mejores prácticas de manejo y uso de los fertilizantes. La investigación en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos se ha desarrollado durante mucho tiempo y ha establecido muchos principios básicos. Las mejores prácticas de manejo y uso de los fertilizantes se basan en la aplicación de la dosis correcta de cada nutriente deficiente, utilizando una fuente de fertilizante eficiente en el momento y forma adecuados.

Debe ser una opción racional y viable para el nivel económico con el que se manejó el sistema.

Usar una medida rápida que permita estimar la rentabilidad económica de una recomendación

Estimar en forma porcentual los costos en el uso (fuentes, mano de obra, transporte). Valores menores al 15 % resultan improductivos o muy poco rentables.

3.8 Cálculos sobre fertilización

Para su proceso se requiere conocer: El análisis físico – químico del suelo (*Laboratorio*); el requerimiento de la planta o cultivo y el tipo de fertilización.

Las formas de aplicar y dosificar los fertilizantes en base a la presentación, pueden ser:

Fertilización sólida (*orgánica e inorgánica*) con fuentes naturales o químicas.

Fertilización líquida (*orgánica e inorgánica*) utilizando métodos como fertirriego por goteo, aspersión, micro aspersión, gravedad, etc.

Fertilización mixta (*sólida - líquida; orgánica e inorgánica*)

La combinación de las anteriores, dependerá del tipo de cultivo, extensión y manejo del mismo.

Tabla 4 - 3. Factores frecuentes de conversión

A	B	de A a B	de B a A
Nitrógeno (N)	NO ₃	4.43*	0.23*
Nitrógeno (N)	NH ₄	1.30	0.78
Nitrógeno (N)	NH ₃	1.21	0.82
Nitratos (NO ₃)	NH ₄	3.40	0.29
Fósforo (P)	P ₂ O ₅	2.29	0.44
Fósforo (P)	PO ₄	3.06	0.33
Fosfato (PO ₄)	P ₂ O ₅	1.49	0.67
Potasio (K)	K ₂ O	1.20	0.83
Calcio (Ca)	CaO	1.40	0.71
Magnesio (Mg)	MgO	1.66	0.60

Azufre (S)	SO ₄	3.0	0.33
Manganeso (Mn)	MnO	1.30	0.77
Zinc (Zn)	ZnO	1.25	0.80
Molibdeno (Mo)	MoO ₃	1.50	0.66
Cobre (Cu)	CuO	1.25	0.80
Boro (B)	B ₂ O ₃	3.20	0.31
Hierro (Fe)	Fe ₂ O ₃	1.43	0.70
Sílice (Si)	SiO ₂	2.14	0.47
Aluminio (Al)	Al ₂ O ₃	1.90	0.53

* El factor de conversión, es a dimensional.

Tabla 5 - 3. Fórmulas para conversión de unidades

Convertir de:	%	ppm	meq/100g	Kg/ha
%	-----	$10^4 * n$	n / meq	$2n * 10^4$
ppm	$n / 10^4$	-----	$n/\text{Eq} * 10$	$2n$
meq/100g	$\text{meq} * n$	$10n * \text{Eq.}$	-----	$20n * \text{Eq.}$
Kg/ha	$n / 10^4$	$0.5 * n$	$n/20 * \text{Eq}$	-----

Elaboración: Arcos T. Franklin, 2021.

3.8.1 *Cálculo para aplicar fertilizantes por medio del fertirriego*

Preparar soluciones nutritivas, que su concentración se expresen en ppm y/o porcentaje (%). Se lo puede realizar, mediante la aplicación de las siguientes formulas:

3.8.1.1 *Calcular el factor de dilución:*

Caudal principal para el riego (Q)

$$DF = \frac{\text{Caudal principal para el riego (Q)}}{\text{Tasa del inyector}}$$

Tasa del inyector

3.8.1.2 *Cálculo para preparar la solución madre*

$$F * DF * n * 100$$

$$C = \frac{F * DF * n * 100}{a} \quad \text{donde:}$$

a

C = cantidad de fertilizantes en gramos en la solución madre.

F = concentración del nutriente en el agua de irrigación.

n = volumen de la solución madre.

a = % de pureza del nutriente en el fertilizante.

DF = factor de dilución.

3.8.2 *Procedimiento para el cálculo de los fertilizantes.*

Cálculo del potasio

$$F * DF * n * 100$$

$$C = \frac{F * DF * n * 100}{a}$$

a

Cálculo del nitrógeno existente en la fuente de potasio

$$C * a$$

$$F = \text{-----}$$

$$DF * n * 100$$

Cálculo del nitrógeno adicional.

Aplicar la fórmula del paso 3.8.2

Cálculo del fósforo (P) en el H_3PO_4 , densidad del ácido fosfórico 1.6 kg/L.

Concentración * peso atómico

$$P = \text{-----}$$

Peso molecular

Para calcular el fósforo en base a la recomendación, para preparar la solución madre:

Aplicar la fórmula del paso 1.

Esta solución madre calculada será suficiente para diluir 1.0 litro más 99.0 litros de agua de riego (FD) que viene a ser la solución nutritiva y que se aplicará directamente al cultivo, utilizando el sistema de riego presurizado.

3.8.3 El área a regar

será: $A = V/Lr$, donde:

A = área a regar

V = volumen de agua de riego fertilizado (solución nutritiva SN)

L = lámina de riego.

3.9 Desarrollo de ejercicios

Para el cultivo de tomate riñón, se requiere una lámina de riego de 3 mm/día. La recomendación para aplicar es de 100 ppm de N; 25 ppm de P y 40 ppm de K. Los fertilizantes disponibles son: NH_4NO_3 , NO_3K y H_3PO_4 al 55 %. El inyector hidráulico dispone las siguientes características: 20 golpes/min con $250 \text{ cm}^3/\text{golpe}$. El caudal principal para el riego: $Q = 15 \text{ m}^3$ y el tanque para preparar la solución madre es de 0.5 m^3 de capacidad. El tiempo de riego es de 0.5 h y la duración de la etapa es de 8 semanas, los riegos fertilizados serán de lunes a sábado. Se pregunta:

El volumen de agua que recibe/planta/cultivo durante la etapa?

Los Kg/ha de nutrimentos expresados como N, P, K, Ca, Mg y S que aprovecha el cultivo.

La cantidad de fertilizantes a utilizar para la etapa.

Los Kg de fertilizantes a utilizar para preparar la solución madre.

Para dar mantenimiento nutricional a 4 has de pastizales, se recomienda aplicar/riego/ha en mezcla los siguientes fertilizantes: Cosmocel 20 kg + Cosmo – R 30 Kg, con una lámina de riego de 4 mm, mediante el riego por aspersión.

Tabla 6 - 3. Composición química del cosmocel y cosmo-R.

Composición	Cosmocel	Cosmo - R
N	200	140
P ₂ O ₅	300	80
K ₂ O	100	190
CaO	60	40
MgO	15	20
SO ₄	40	20

Fuente: Almacenes Ecu-a-química, 2012.

La etapa de crecimiento tiene una duración de 35 días y los riegos fertilizados contemplan 3 veces/semana. *Se pregunta:*

Los ppm o mg/L de NO₃, PO₄, K, Ca, Mg y S, que se entrega al cultivo?

Los Kg/ha de nutrimentos expresados como N, P, K, Ca, Mg y S que aprovecha el cultivo.

La cantidad de fertilizantes a utilizar para la etapa.

Para 10000 plantas de pimienta bajo invernadero, puestas en fundas de 0,25m de diámetro y 0,40m de altura, que contiene sustrato de pomina + humus. La densidad de plantación es de 1,2m x 0,40m. Se aplica: nitrato de potasio 30 Kg, nitrato de calcio 20 Kg, sulfato de magnesio 25 Kg y 1,5 L de H_3PO_4 al 65% cuya densidad es de 1.6 g/cm³. El volumen de la solución madre a preparar es de 240 L, que abastece durante 3 días. El riego fertilizado para el cultivo está determinado 3 veces al día; cada riego con un tiempo de 20 minutos. El caudal para el riego es de 3 L/s. Los riegos fertilizados contemplan de lunes a sábado. La etapa de desarrollo dura 10 semanas. Se pregunta:

El volumen de agua que recibe/planta/cultivo durante la etapa?

Los mg/L de NO_3 y PO_4 ; y los Cmol/L de K, Ca y Mg que se entrega al cultivo?

El requerimiento del cultivo expresado como NH_4 , P_2O_5 , K_2O , Ca y Mg, durante la etapa

La cantidad de los fertilizantes

La lámina de riego/día/planta

El costo de la fertilización.

El requerimiento por planta de tomate riñón en N= 25, P= 15, K= 40 gramos de c/u; con una población de 10000

plantas, se recomienda aplicar mediante riego por goteo bajo las siguientes especificaciones:

Tabla 7 - 3. Distribución de los requerimientos según las etapas

Etapas	% N	% P	% K	Duración/etapa	LR mm/riego
Inicial	30	25	20	45	5
Desarrollo	35	40	30	40	8

Elaboración: Arcos T. Franklin, 2012.

Se dispone de las siguientes fuentes: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; Mg $(\text{NO}_3)_2$; SO_4K_2 . Los riegos fertilizados se realizarán cada 3 días para la etapa inicial y cada 2 días para la etapa de desarrollo. La densidad de plantación es de 0.3 x 0,80 m. Para la etapa de desarrollo, se verifica una pérdida del 10% de plantas. Se pregunta:

Los mmol/L de N, P, K, Mg y S que recibe la planta/riego?

Los Kg de N, P_2O_5 , K_2O y MgO y SO_4 que aprovecha el cultivo/etapa?

Los Kg de fertilizantes que se aplicará por riego/etapa?

La cantidad de agua expresados en litros que recibe/planta/etapa?

Una hacienda ganadera, dispone de pastizales en terrenos de textura franco limoso, cuenta con un reservorio que tiene las siguientes dimensiones: 20 x 10 x 4 m. El nivel del agua al momento de utilizar para dar riego por aspersión, alcanza una altura de 1,50 m (o el 37.5 % de su capacidad); para la fertilización se dispuso de 8 sacos de hidrocomplex (12 – 18 – 12 – 5 – 2.5). Se pregunta:

Los cmol/L de N, P, K, Ca y Mg que se encuentra enriquecida la solución nutritiva.

Los Kg/ha de NH_4 , PO_4 , K_2O , CaO y MgO que aprovecha el pastizal.

El volumen de agua expresado en litros a utilizar para preparar la solución madre.

La superficie a regar expresado en hectáreas, si se utiliza una Lr de 3 mm.

Se necesita preparar solución madre (SM) para aplicar al cultivo de melón mediante fertiriego por goteo, el área del invernadero es de 6000 m², la densidad de plantación es de 1.0 m x 1.5 m. Durante la fase de crecimiento la planta recibirá 0.5 L de SN/riego, se darán 2 veces/día; los riegos fertilizados serán los días lunes, miércoles y viernes, la etapa dura 10 semanas; el DF es 100:1; el volumen del tanque para la solución madre es de 240 L, el bulbo de mojadura alcanza un

diámetro de 0.5 m .El requerimiento del cultivo y las fuentes se especifican en el cuadro adjunto, además considerar que el 50% del requerimiento de magnesio será otorgado por el $(\text{NO}_3)_2 \text{Mg}$ y el otro 50% mediante el SO_4Mg . Se pregunta:

- Los Kg de los fertilizantes para nutrir al cultivo durante la etapa y su compatibilidad?
- El balance iónico (aniones/cationes) que presenta la solución nutritiva e interpretación?
- La lámina de riego/semana
- Comprobar y demostrar la relación NO_3/NH_4

Tabla 8 - 3. Requerimiento del cultivo y los fertilizantes a emplear

Requerimiento del cultivo	mg/L	Fuentes/Fertilizantes
N-NH ₄	20	1. $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
N-NO ₃	180	2. KH_2PO_4
PO ₄	75	3. KNO_3
K	250	4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Ca	150	5. K_2SO_4
Mg	50	6. MgSO_4
SO ₄	100	7. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

CAPÍTULO IV

4 FERTILIZACIÓN FOLIAR

4.1 Importancia de la fertilización foliar

La aplicación de nutrimentos por vía foliar es una práctica de gran importancia en la agricultura, de ahí la necesidad de conocer la estructura de la hojas, la técnica de fertilización foliar tiene como ventaja la economía, eficiencia y rapidez en la aplicación y además, esta práctica se puede asociar con los controles de plagas y enfermedades. Los nutrimentos aplicados por vía foliar son absorbidos rápidamente y trasladados a otras partes de la planta.

Por décadas, la fertilización foliar ha sido un método establecido de aplicación de nutrientes desde que se demostró, alrededor del año 1850, que las plantas pueden absorber nutrientes por las raíces y por las hojas. La fertilización foliar debe ser considerada únicamente como una *aplicación suplementaria* durante las etapas críticas de crecimiento de la planta y durante etapas con malas condiciones ambientales.

La fertilización foliar es una técnica para suministrar nutrientes a los cultivos, no reemplaza en absoluto la nutrición convencional o fertilización al suelo y asimilación de nutrientes por las raíces, las cantidades normalmente implicadas en la

producción de un cultivo son muy superiores a las que podrían absorberse por las hojas. La absorción es más eficaz cuando más joven es la hoja de la planta y cuando más humedecida está. Se debe evitar la fertilización foliar cuando hace mucho calor, cuando hay mucho viento o período de heladas. El momento ideal es con cielo cubierto y en calma.

La fertilización foliar está considerada como una técnica suplementaria o mejor aún complementaria en un programa de fertilización, utilizándola en períodos críticos de crecimiento, en momentos de demanda específica de algún nutriente, o en casos de situaciones adversas del suelo que comprometan la nutrición de las plantas. Su implementación es importante cuando se presentan limitantes para que los nutrientes del suelo entren a la raíz y se transloquen a los tejidos aéreos (hojas, frutos, etc.) en la cantidad y momento oportuno. Las situaciones más comunes de ello son:

Condiciones de estrés que reduzcan la actividad de la planta (sequía, inundación, aplicación de pesticidas al suelo, heladas, etc.)

Cuando en el suelo hay algún bloqueo químico o físico que reduce la disponibilidad de los elementos como: el pH, las sales o la competencia entre nutrientes, y cualquier condición que limite la actividad radicular como la sequía, compactación

del suelo, inundación patógena, elementos tóxicos, temperaturas extremas altas o bajas, etc., que reducen parcialmente en la toma de los nutrientes del suelo.

Si alguna(s) de estas situaciones se presentan cuando el cultivo tiene una necesidad específica, será más válida la suplementación nutricional por vía foliar. La utilización de la fertilización foliar ha sido demostrada como benéfica en casi todos los cultivos, y en particular cuando existen algunas de las condiciones citadas.

4.1.1 Qué es la fertilización foliar

La fertilización foliar, es una técnica de fertilización instantánea que nutre los cultivos mediante la pulverización con soluciones aplicadas directamente sobre las hojas.

4.1.2 Para qué sirve la fertilización foliar

La fertilización foliar soluciona los problemas de deficiencias de nutrientes en forma rápida y en los momentos críticos, donde los requerimientos del cultivo son superiores a su capacidad de absorción desde el suelo.

4.1.3 Reemplaza la fertilización foliar a la fertilización de base

No, la fertilización foliar es complementaria de la fertilización al suelo, utilizándose en cultivos de alta

producción en momentos críticos y en situaciones donde la absorción no supe los requerimientos del cultivo, o las condiciones climáticas no permiten la transformación o descomposición del fertilizante en el suelo a formas asimilables.

4.1.4 Cuáles son las ventajas de la fertilización foliar

Nutre al cultivo en momentos críticos, soluciona deficiencias de micronutrientes, nutre los cultivos en condiciones de inmovilización temporal de nutrientes en el suelo, se independiza de las condiciones ambientales de la disolución y transformación de los fertilizantes en suelo, alta eficiencia de absorción de nutrientes, no hay pérdidas por lixiviación y volatilización.

4.1.5 Cuáles son las desventajas de la fertilización

Escaso residual, por lo tanto, su aplicación debe ser estratégica, limitada a productos con cierta movilidad en la planta, o debe ser inducida, requiere de productos específicamente formulados, para no quemar y poder ingresar adecuadamente a la planta y requiere de aplicaciones extra, salvo el caso que se pueda incorporar en la dosificación de distintos agroquímicos.

4.2 Fisiología de la absorción foliar

La fertilización foliar, que es la nutrición a través de las hojas, se utiliza como un complemento a la fertilización al suelo, esta práctica es reportada en la literatura en 1844 aunque su uso se inicia desde la época Babilónica. Bajo este sistema de nutrición la hoja juega un papel importante en el aprovechamiento de los nutrimentos, algunos componentes de esta participación en la absorción de los iones.

Los factores que influyen en la fertilización foliar pueden clasificarse en tres grupos; aquellos que corresponden a la planta, al ambiente y la formulación foliar. Dentro de los aspectos de la planta, se analiza la función de la cutícula, los estomas y ectodesmos en la absorción foliar.

En el ambiente, la temperatura, la luz, humedad relativa y hora de aplicación. En la formulación foliar se analiza el pH de la solución, nutrimentos y el ión acompañante en la absorción, varios trabajos de fertilización foliar han demostrado su bondad en la respuesta positiva de los cultivos, sin embargo, los incrementos de rendimiento por el uso de esta práctica han sido muy variables, lo que sugiere se hagan más trabajos en busca de optimizar la capacidad productiva de las cosechas en diferentes cultivos, utilizando la fertilización foliar como un apoyo a la fertilización del suelo.

La fertilización foliar comparada con la fertilización al suelo, es la mejor técnica de fertilización, debido a la mayor utilización de los nutrientes y menor contaminación ambiental. Fácilmente se puede demostrar que éste no es el caso, debido a que la absorción y utilización de los nutrientes aplicados al follaje también tienen limitaciones, por ejemplo, en el caso de los nutrientes requeridos en dosis altas como potasio (K) y nitrógeno (N) o en el caso de nutrientes de baja movilidad en el floema como calcio (Ca), boro (B) y manganeso (Mn).

La fertilización foliar debe ser considerada únicamente como una aplicación suplementaria durante las etapas críticas de crecimiento de la planta y durante etapas con malas condiciones ambientales.

4.2.1 Principios de la absorción de nutrientes por las hojas

Para lograr rendimientos de calidad y rentables, se deben considerar los siguientes aspectos con relación a la aplicación foliar de fertilizantes:

Para un cultivo específico, ¿cuál es la mejor época de aplicación durante el ciclo de crecimiento? ¿Cuántas aplicaciones se requieren ejecutar para lograr el mayor rendimiento y calidad esperados? ¿Qué tipo de fertilizante o

fórmula se debe aplicar? ¿Qué aditivos o acondicionadores se deben utilizar?

Para que un nutriente cumpla una función en las hojas o para que sea translocados de la hoja hacia otros órganos, se requiere un proceso de absorción vía membrana del plasma del apoplasto hacia el simplasto. Se deben considerar los siguientes pasos.

4.2.1.1 Mojado de la superficie de la hoja con la solución de fertilizantes

La pared exterior de las células de la hoja está cubierta por la cutícula y una capa de cera, con una fuerte característica hidrófoba (*repelen el agua*). De allí el uso de humectantes (*detergentes*) que reducen la tensión superficial para facilitar la absorción de nutrientes.

4.2.1.2 Penetración a través de la pared celular epidermal exterior

La pared celular epidermal exterior de las hojas está cubierta por una cutícula y una capa epicuticular de cera para proteger las hojas de una pérdida excesiva de agua por transpiración, así como pérdidas de nutrientes y otros solutos por lixiviación con la lluvia.

Se han discutido varios caminos de penetración de los nutrientes a través de la pared celular. Un concepto generalmente aceptado es la penetración a través de poros

hidrofílicos en la cutícula. Estos poros son ricos en pectina hidrofílica. Además de los poros cuticulares, se ha sugerido que otro mecanismo sería la presencia de micro canales hidrofílicos, denominados ectodesmata, sin embargo, no existe suficiente evidencia experimental de la existencia de estas estructuras.

4.2.1.3 *Entrada de nutrientes en el apoplasto de la hoja*

El apoplasto de la hoja es un importante espacio ocupado por los nutrientes antes de la absorción a través de una membrana plasmática al simplasto de una célula individual.

Los nutrientes entran en el espacio apoplástico después de la penetración de las paredes de las células epidermales exteriores, pero también llegan desde las raíces vía xilema.

Las condiciones químicas del apoplasto (como pH) son decisivas para la posterior absorción en el simplasto y podrían ser manipuladas con adecuados aditivos (Gráfico 1).

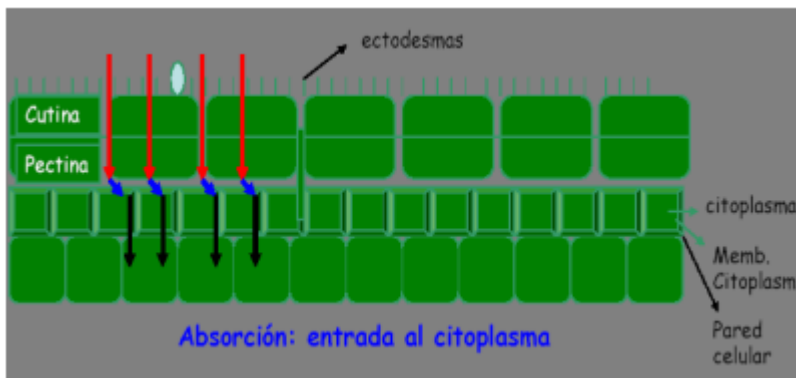


Figura 1 - 4. Esquema de la entrada del nutriente al interior de la planta.

4.2.1.4 Absorción de nutrientes dentro del simplasto de la hoja

Los principios fisiológicos de la absorción de nutrientes minerales desde el apoplasto hacia el interior de las células que constituye el simplasto son similares a los que participan en la absorción por las raíces.

Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con la absorción radicular, la absorción por las hojas es más dependiente de factores externos como humedad relativa y la temperatura ambiente. La luz afecta directamente, ya que en su transporte intervienen enzimas y fotosíntesis y respiración.

Se ha afirmado, que la aplicación foliar de fertilizantes promueve la absorción de nutrientes por las raíces.

No se puede hacer una afirmación tan general porque esto depende de la movilidad de los nutrientes aplicados dentro de la planta y el sitio de la aplicación de los nutrientes (hojas viejas u hojas jóvenes) como se ilustra en la figura 3

En el caso de los nutrientes móviles como el N, P o K y con una aplicación dirigida a las hojas viejas, la retranslocación del nutriente aplicado en las hojas hacía las raíces puede inhibir la absorción radicular inducida por la deficiencia del nutriente.

Por otro lado, si este nutriente móvil es aplicado principalmente a las hojas jóvenes que todavía no se han expandido totalmente, la mayoría del nutriente se incorpora en los tejidos de las hojas todavía en crecimiento, sin una marcada translocación y sin una subsecuente inhibición, sino más bien, un incremento de la absorción del nutriente del suelo por las raíces.

La aplicación de nutrientes inmóviles [calcio (Ca), azufre (S), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu), manganeso (Mn)] no inhiben y aún pueden incrementar la absorción del nutriente por las raíces.

4.2.1.5 Distribución de nutrientes dentro de la hoja y su translocación a otras partes de la planta.

La distribución de un nutriente dentro de la hoja y su translocación hacia fuera de la hoja depende de la movilidad del nutriente en el floema y xilema.

Los nutrientes móviles en el floema, tales como el K, P, N y Mg se distribuyen dentro de la hoja de manera acropetala por el (xilema) y basipetala por el (floema), y un alto porcentaje del nutriente absorbido puede transportarse fuera de la hoja hacia otras partes de la planta que tengan una alta demanda.

Al contrario, ocurre con nutrientes de movimiento limitado en el floema, tales como Cu, Fe, y Mn, que se

distribuyen principalmente en forma acropetala dentro de la hoja sin una translocación considerable fuera de la hoja.

4.3 Mecanismos de absorción de nutrientes a través de ectodesmos

Desde 1877, se demostró que las sales y otras sustancias pueden ser absorbidas a través de las hojas.

Franke y Johnson, 1986. asperjando sus piñas con una solución de sulfato de hierro, lograron enverdecer las plantas después de algunas semanas.

Esta experiencia tuvo repercusiones con los productores y se empezaron a utilizar sin medida, prácticas de aspersión foliar de algunos micros nutrientes. A pesar de ser una práctica común entre agricultores, todavía a finales de la década de los 40, no se sabía el mecanismo de absorción foliar de nutrientes. Aún hoy en día, la expresión “Fertilización foliar” pocas veces se menciona en los textos clásicos, y el mecanismo de absorción por este medio no está descrito de manera formal a pesar de que es una práctica importante en la actualidad.

Las hojas no son órganos especializados para la absorción de los nutrientes como lo son las raíces; sin embargo, los estudios han demostrado que los nutrientes en solución si son absorbidos, aunque no en toda la superficie de

la cutícula foliar, pero si, en áreas puntiformes las cuales coinciden con la posición de los ectodesmos que se proyectan radialmente en la pared celular.

Estas áreas puntiformes sirven para excretar soluciones acuosas de la hoja, como ha sido demostrado en varios estudios. Por lo tanto, también son apropiados para el proceso inverso, esto es, penetración de soluciones acuosas con nutrimentos hacia la hoja.

El proceso de absorción de nutrimentos comienza con la aspersión de gotas muy finas sobre la superficie de la hoja de una solución acuosa que lleva un nutrimento o nutrimentos en cantidades convenientes.

La hoja está cubierta por una capa de cutina que forma una película discontinua llamada cutícula, aparentemente impermeable y repelente al agua por su naturaleza lipofílica.

La pared externa de las células epidermales, debajo de la cutícula, consiste de una mezcla de pectina, hemicelulosa y cera, y tiene una estructura formada por fibras entrelazadas.

Dependiendo de la textura de éstas es el tamaño de espacios que quedan entre ellas, llamados espacios interfibrilares (100 A.C), caracterizados por ser permeables al agua y a sustancias disueltas en ella. Después de esta capa se tiene al

plasmalema o membrana plasmática, que es el límite más externo del citoplasma (García y Peña, 1995).

La plasmalema consiste de una película bi molecular de lipoides y está parcial o totalmente cubierto de una capa de proteína.

Las moléculas de lipoides, parcialmente fosfolipoides, tienen un polo lipofílico y un polo hidrofílico; se supone que a través de estos lipoides hidrofílicos penetran los nutrimentos.

Estos lipoides se pueden prolongar radialmente hacia la pared epidermal, y se conocen como ectodesmos o cordones lipoides que facilitan en gran medida la penetración de los nutrimentos.

Tal parece que, en una primera instancia, al ser aplicado el nutrimento por aspersión, éste se difunde por los espacios interfibrales en la pared de las células epidermales (difusión), o bien, vía intercambio iónico a través de ectodermos (ectoteichodes), hasta llegar a la plasmalema, lugar donde se lleva a cabo prácticamente una absorción activa como en el caso de la absorción de nutrimentos por las raíces.

En esta absorción activa participan los transportadores, que al incorporar el nutrimento al citoplasma de la célula, forman metabolitos que son posteriormente translocados a los

sitios de mayor demanda para el crecimiento y rendimiento de la planta.

Por lo tanto, la absorción foliar de nutrimentos se lleva cabo por las células epidermales de la hoja y no exclusivamente a través del estoma como se creyó inicialmente.

De aquí la importancia de hidratar la cutícula de la hoja con surfactantes para facilitar la penetración del nutrimento. Este proceso, descrito brevemente, ha sido cotejado actualmente mediante el uso de algunos trazadores isotópicos.

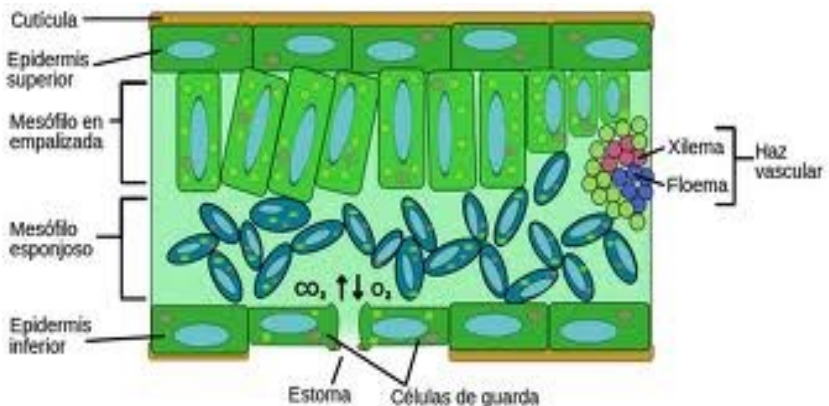


Figura 2 - 4. Corte transversal de una célula de la epidermis

4.4 Fertilización foliar como suplemento de la aplicación de fertilizantes al suelo.

La absorción de nutrientes por las raíces puede ser un factor limitante para lograr adecuado desarrollo y rendimientos

rentables. Esto puede suceder durante períodos críticos de desarrollo de la planta (ontogénesis) o durante ciertas condiciones ambientales como sequías, temperaturas extremas del suelo. Bajo estas condiciones la fertilización foliar es ventajosa como se discute a continuación:

4.4.1 Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el tiempo,

Durante etapas específicas del crecimiento de la planta existen requerimientos más altos de nutrientes o de nutrientes específicos. La aplicación a las hojas es una mejor técnica para entregar estos nutrientes en la etapa requerida.

Estas etapas de alta demanda se presentan generalmente durante el desarrollo floral y la polinización: Por ejemplo, en mango la inducción foliar es promovida por la aplicación de nitrato (NO_3) y la iniciación de brotes en manzana por amonio (NH_4).

En las condiciones mencionadas, la fertilización foliar como suplemento de aplicación de fertilizantes tiene efectos muy positivos en el crecimiento y rendimiento de los cultivos, sin embargo, no se debe descuidar el adecuado suplemento a las raíces.

4.4.2 *Eficacia rápida.*

La fertilización foliar es mejor que la fertilización al suelo cuando se presentan condiciones de severas deficiencias nutricionales con la presencia de agudos síntomas de deficiencia en los tejidos.

Esto se debe, a que se suplementa el nutriente requerido directamente a la zona de demanda en las hojas y que la absorción es relativamente rápida.

En la tabla 1 - 4, se presenta la velocidad de absorción de varios nutrientes por los tejidos.

Tabla 1 - 4. Tiempo de absorción de nutrientes en los tejidos

Nutriente	Tiempo para que se absorba 50%
Nitrógeno (como urea)	½ - 2 horas
Fósforo	5 – 10 días
Potasio	10 – 24 horas
Calcio	1 – 2 días
Magnesio	2 – 5 horas
Zinc	1 – 2 días
Manganeso	1 – 2 días

Fuente: García y Peña, 1995.

4.5 Fertilización foliar y la resistencia a enfermedades y plagas

En muchos casos la calidad de los productos cosechados está determinada por el contenido de nutrientes. Además, la estabilidad de pos cosecha depende del contenido de ciertos nutrientes en particular como el Ca. Por esta razón, se requiere de alta disponibilidad de nutrientes durante la formación del fruto. La fertilización foliar es particularmente eficiente para lograr este propósito.

Si se piensa en la presión para reducir el uso de pesticidas, es necesario considerar todas las medidas que incrementan la resistencia de la planta a las plagas y enfermedades.

Además del conocido efecto del K, los micronutrientes como Mn, Cu y Zn pueden incrementar esta resistencia. Esta mejoría en rendimiento está gobernada principalmente por la participación de los micronutrientes en las enzimas responsables del mecanismo de resistencia sistemática.

4.6 Secretos de la fertilización foliar

La fertilización foliar es la mejor técnica de aplicación para alcanzar la precisión requerida para un eficiente manejo de cultivos. Si el análisis de la hoja o el monitoreo en campo confirma cualquier escasez, el problema puede ser rápida y

eficientemente corregido con el fertilizante foliar apropiado. El 60% de saturación de bases con calcio se requiere para asegurar una máxima asimilación foliar en suelos con niveles de calcio bajo.

Los siete secretos de la fertilización foliar son los siguientes:

4.6.1 *Fina aspersión con neblina.*

Preferentemente por aire, se requiere para aplicar la gota más pequeña la cual es necesaria para entrar a través del envés de la hoja.

4.6.2 *Garantía en tiempos de aplicación para el desempeño óptimo.*

La hora, el día, el tiempo del mes y el año son relevantes como lo es el tiempo dentro del ciclo de los cultivos. Temprano por la mañana es cuando la planta absorbe el rocío, por lo que se recomienda la aplicación foliar por la tarde-noche o muy temprano coincidirán con este ciclo de alimentación natural para mejorar resultados. El viento no debe sobrepasar los 8 Km/h.

Nota: la planta no es capaz de absorber los nutrientes cuando la temperatura sobre pasa los 32° C.

Cualquiera de los seis días guiados por la luna llena, son los mejores para la fertilización foliar; mientras que los resultados serán pobres en los seis días guiados por una luna nueva.

La planta es 94 % de agua. El agua se mueve dentro de la planta con más vigor bajo la influencia de luna llena y los nutrientes foliares son más eficientes.

La fertilización foliar puede ser invaluable durante invierno, debido a que la raíz absorbe los nutrientes fosforados negativamente por el frío y las condiciones de humedad.

4.6.3 El follaje tierno es particularmente absorbente.

La floración y la formación de fruto son altamente dependientes de nutrientes. Los análisis y la corrección foliares deben ser adaptadas a esos dos períodos críticos, por ejemplo, la aplicación foliar en campo 30 días después de la germinación y de nueva cuenta antes de la floración.

La fertilización foliar en frutales antes de la floración y cuando una nueva aplicación prometa una buena absorción. Los fertilizantes foliares pueden utilizarse también para aumentar el tamaño del fruto.

4.6.4 Uso de mejoradores foliares con variedad de nutrientes.

Las cuatro categorías de mejoradores foliares incluyen: agentes quelatados, mejoradores de absorción, estimulantes con hormonas naturales y nutrientes de amplio espectro.

4.6.5 Monitoreo de conductividad y pH de la solución de aplicación.

La conductividad debe estar tan cerca de 2000 como sea posible. Si la conductividad de la dilución final es menor a 1200 habrá problemas. Si es mayor a 2000 quemará el follaje. El rango ideal de pH debe estar entre 6 y 7 con una solución más ácida produciendo una acción reproductiva y la alcalinidad estimulará el crecimiento.

4.6.6 Utilice un buen adherente en todas las aplicaciones foliares.

Esto ayuda a la protección contra las lluvias, mejora la penetración, reduce la evaporación e incrementa la respuesta sistemática.

4.6.7 No utilice nutrientes foliares para reemplazar la nutrición natural del suelo.

Mejores resultados siempre serán alcanzados con un planteamiento holístico, donde todo es considerado y manejado

eficientemente. La meta es darse cuenta del potencial genético del cultivo en particular.

4.7 Diferencias de la fertilización foliar y edáfica

Suministran nutrientes durante los períodos de máxima demanda, cuando se desea obtener una respuesta inmediata, no así la fertilización edáfica donde se liberan lentamente los nutrientes.

La fertilización foliar suministra ciertos nutrientes, como el zinc, cuando las condiciones del suelo o del cultivo no permitan la absorción de estos nutrientes por la raíz debido a la presencia de elementos antagónicos a este. Reducir la lixiviación del nitrato en ciertos sistemas del cultivo.

Proporcionan una fuente de nutrientes que satisfaga temporalmente las demandas del cultivo hasta que sea posible aplicar fertilizantes al suelo.

Cuando implica la aplicación de micronutrientes, la nutrición foliar es la forma más económica y confiable de corregir o prevenir los problemas de deficiencia.

4.7.1 *Independencia de la actividad radicular.*

Durante la etapa de llenado del gramo o fruto de los cultivos anuales y perennes de alto rendimiento se produce una alta competencia para obtener asimilados (producto de la

fotosíntesis) por parte de diversos sumideros (zonas de necesidad) en la planta.

En esta etapa las raíces no están adecuadamente suplidas con energía en forma de carbohidratos y por esta razón, la adquisición de nutrientes por las raíces (etapa de alto requerimiento) no es suficiente para satisfacer la demanda y la aplicación foliar suplementa esta necesidad.

La adquisición de nutrientes por las raíces puede inhibirse también por la presencia de factores externos que reducen la actividad radicular. Estos factores físicos y químicos pueden ser baja temperatura, compactación, falta de oxígeno, sequía, alta salinidad o pHs extremos.

4.7.2 Alta capacidad de fijación de nutrientes por el suelo.

En el caso de suelos con extrema capacidad de fijar o precipitar nutrientes la aplicación foliar puede ser una buena alternativa. En general, la fertilización foliar con micronutrientes en cultivos creciendo en zonas áridas o semiáridas produce una excelente respuesta en crecimiento y rendimiento.

4.7.3 Posibilidad de aplicación precisa de nutrientes en el tiempo.

Durante etapas específicas del crecimiento de las planta existen requerimientos más altos de nutrientes o de nutrientes

específicos. La aplicación a las hojas es una mejor técnica para entregar estos nutrientes en la etapa requerida. Estas etapas de alta demanda se presentan generalmente durante el desarrollo floral y la polinización.

4.8 Fertilizantes foliares

Los abonos utilizados en fertilización foliar sólidos como líquidos, proceden de productos básicos que son sales simples. Cuyas características se presentan en la tabla 30.

Los fertilizantes foliares son utilizados mediante soluciones, y se considera como un método por el cual se le aportan nutrientes a las plantas a través de las hojas, básicamente en disoluciones acuosas, con el fin de complementar la fertilización realizada al suelo, o bien, para corregir deficiencias específicas en el mismo período de desarrollo del cultivo.

Fisiológicamente todos los nutrientes pueden ser absorbidos vía foliar con mayor o menor velocidad, en diferentes oportunidades. Esto es de tal modo así, que teóricamente la nutrición completa de la planta podría ser satisfecha vía foliar. Esto en la práctica no es posible, por el alto costo del elevado número de aplicaciones que sería necesario realizar para satisfacer el total requerimientos.

No se trata de un método reciente, puesto que ya en 1676. Mariotte abordó el problema de la absorción de agua por las hojas y en 1844. Gris utilizó sulfato de hierro en aplicación foliar para corregir síntomas de clorosis, pero no fue hasta 1877 que otro investigador, Bohm, demostró que sales minerales de calcio podían ser absorbidas por las hojas y ser utilizadas posteriormente en el metabolismo.

4.8.1 Fuentes de fertilizantes foliares

Las características principales que debe tener una fuente para el abonamiento foliar es que sea muy soluble en agua y que no cause efecto fitotóxico al follaje. Las fuentes de fertilizantes foliares se pueden dividir en dos grandes categorías: sales minerales inorgánicas, quelatos naturales y sintéticos que incluye complejos naturales orgánicos. Estas fuentes se formulan en polvos o cristales finos de alta solubilidad en agua, y en presentaciones líquidas.

Tabla 2 - 4. Fuentes básicas

Producto	Composición		
1. Para N, P, K, y elementos secundarios.			
	(%) N	(%) P ₂ O ₅	(%) K ₂ O
Ácido Nítrico	13	0	0
Solución N – 20	20	0	0
Solución N – 32	32	0	0
Poli fosfato	10	34	0

Amónico			
Ácido fosfórico	0	68	0
Urea	46	0	0
Nitrato Potásico	13	0	44
Nitrato cálcico	15.5	0	27(CaO)
Sulfato Amónico	21	0	0
Fosfato mono amónico	12	62	0
Fosfato di amónico	18	46	0
Nitrato amónico	34	0	0
Fosfato mono potásico	0	52	34
Sulfato Potásico	0	0	50 – 18
Cloruro Potásico	0	0	60
Nitrato magnésico	11	0	0 - 9.5 MgO
Sulfato magnésico	0	0	16 MgO - 15
2. Para micro elementos			
Sulfato de Fe			20 Fe
Sulfato de Mn			32 Mn
Sulfato de Zn			22 Zn
Sulfato de Cu			25 Cu

Fuente: Franke y Johnson, 1986.

4.8.1.1 Sales minerales inorgánicas

Las principales fuentes inorgánicas son yacimientos o minas naturales de óxidos, carbonatos y sales metálicas como sulfatos, cloruros y nitratos. Las sales fueron los primeros

fertilizantes foliares que se utilizaron y están constituidos principalmente por cloruros, nitratos y sulfatos. En comparación con otras fuentes, las sales son de menor costo, pero deben tomarse precauciones para su aplicación por el riesgo de causar quema o fitotoxicidad al follaje.

Los óxidos como ZnO , CuO y MnO , pueden ser utilizados, sin embargo, su disponibilidad para las plantas es muy baja, son compuestos muy insolubles en agua lo cual dificulta su distribución en fertilización foliar, y en aplicaciones al suelo debe ser molidos finamente para ser efectivos.

Los sulfatos son las fuentes más utilizadas debido a su alta solubilidad en agua y su menor índice salino en comparación con los cloruros y nitratos, por lo que existe menos riesgo de quema del follaje, estos constituyen las principales fuentes inorgánicas y pueden ser mezclados con otros fertilizantes.

Los sulfatos también suministran pequeñas cantidades de S a las plantas, usualmente se presentan en cristales o polvos finos, pero pueden ser granulados para facilitar su manipulación. Los sulfatos de Fe, Cu, Zn, y Mn son ampliamente usados en aplicaciones al suelo y foliares.

Los cloruros y nitratos se absorben más rápido a través de la cutícula foliar que los sulfatos, de acuerdo con los resultados de varias investigaciones realizadas. Aparentemente el efecto se debe a una mayor capacidad de permeabilizar la cutícula foliar por parte de cloruros y nitratos y a su mayor poder higroscópico en comparación con los sulfatos.

La aplicación de elementos mayores como N, P y K también es una práctica frecuente. Las fuentes nitrogenadas más utilizadas son el nitrato de amonio y urea, que poseen alta solubilidad en agua.

La urea es más utilizada debido a su menor *índice salino* y mayor concentración de N. Se ha demostrado que la urea estimula la absorción de otros nutrientes debido a que aumenta la permeabilidad del tejido foliar, por lo que es muy apropiado mezclar este material junto con el fertilizante foliar.

Se ha comprobado que la urea aplicada al follaje puede ser absorbida, metabolizada y translocada muy rápidamente. Estudios realizados, demuestran que las aplicaciones foliares de urea en bajas cantidades resultan tan efectivas como las aplicaciones al suelo.

El nitrato de amonio también presenta una rápida absorción, y se ha observado que cuando es aplicado junto con la urea se favorece una mayor absorción de cationes por la

cutícula foliar. Otra ventaja adicional es que las gotas de las aspersiones foliares de urea y/o nitrato de amonio no se secan tan rápido en la superficie foliar debido a que son productos muy higroscópicos, lo cual favorece su absorción.

Para que la urea sea efectiva en aspersiones foliares debe ser baja en contenido de biureto ($< 0,8 \%$) para que no cause quema en el follaje, especialmente en cultivos muy sensibles como cucurbitáceas, cítricos, café, etc.

Ponce M. (2006) manifiesta que el biureto es un dímero formado por la descomposición térmica de la urea, que interfiere en la síntesis de proteínas, por lo que es fitotóxico para muchos cultivos como cítricos, piña, café, etc., principalmente si se utiliza en aplicaciones foliares.

Las fuentes de fósforo más usadas en aplicación foliar son fosfato mono amónico (MAP), fosfato di amónico (DAP), poli fosfatos y fosfato mono potásico. El triple superfosfato no es útil debido a su escasa solubilidad en agua.

Como fuentes de potasio se utilizan KCl, sulfato de potasio, y nitrato de potasio siendo éste último más común debido a su menor efecto fitotóxico y presencia de nitrógeno. También se utilizan carbonato de potasio y fosfato mono potásico.

Está comprobado el efecto positivo del KCl, sulfato de potasio y nitrato de potasio como coadyuvantes para mejorar la absorción de otros nutrimentos mezclados en la solución de aplicación, debido que se le atribuyen a ambas fuentes propiedades que favorecen la permeabilidad de la cutícula foliar facilitando la penetración de iones a través de ella.

Tabla 3 - 4. Características químicas de los fertilizantes solubles

Fertilizantes	%						Concent. (g/L)	pH	Conduc Eléctrica dS/m=mmhos/cm	Solubilidad (20C)g/L
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO				
Nitrato de Amonio	34	---	---	---	--	---	1	5,6	0,9	1950
Urea	46	---	---	---	--	---	1	5,8	0,07	1190
Sulfato de amonio	21	---	---	---	24	---	1	5,5	2,1	760
Fosfato mono amónico	12	61	---	---	--	---	1	4,9	0,8	380
Fosfato mono potásico	--	52	34	---	--	---	1	4,5	0,4	330
Urea-Fosfato	18	44	---	---	--	---	1	2,7	1,5	960
Acido fosfórico (85% pureza)		61	---	---	--	---	1	2,5	1,7	5480
Nitrato de potasio	13	---	44	---	--	---	1	7	1,3	316
Sulfato de potasio	--	---	50	---	18	---	1	3,2	1,4	110
Nitrato de calcio	15	---	---	---	--	28	1	6,5	1,2	220
Nitrato de magnesio	11	---	---	16	--	---	1	6,5	0,57	1500

Fuente: Ponce M. (2006)

Las fuentes de sales más comunes que suministran calcio y magnesio son: nitrato de calcio, nitrato de magnesio, y sulfato de magnesio. El sulfato de magnesio es quizás la fuente más tradicional para suplir Mg en aspersiones foliares.

Sin embargo, algunos estudios han mostrado que el cloruro de Mg y el nitrato de Mg son más eficientes que el sulfato debido a su mayor grado de higroscopicidad (Rosolem, 1991), si bien se le atribuye al sulfato de Mg menor riesgo de fito toxicidad al follaje.

Tabla 5 - 4. Fertilizantes foliares a base de sales minerales inorgánicas.

Fuente del elemento	Fórmula	Elemento (%)
Urea	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	46
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3=$	33,5
Fosfato Diamónico	(DAP) $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	46 ¹
Fosfato Mono amónico	NH_4PO_4	60 ¹
Fosfato Mono potásico	KH_2PO_4	52 ¹
Nitrato de potasio	KNO_3	44 ²
Cloruro de potasio	KCl	60 ²
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	50 ²
Carbonato de Potasio	K_2CO_3	68 ²

Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	19
Cloruro de calcio	CaCl_2	36
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	16
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9.8
Nitrato de Magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	9
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
Ácido bórico	H_3BO_3	17
Sulfato cúprico penta hidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25
Carbonato de manganeso	MnCO_3	31
Nitrato de Zinc	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	18

Fuente: Molina, E. (2003).

Nota: Expresado como P_2O_5 y como K_2O .

Molina, E. (2003) dice las sales son muy solubles por lo que tienen la desventaja de perderse fácilmente por lavado y su velocidad de absorción es más lenta que la de un quelato. Para lograr un efecto positivo. Las sales se aplican en dosis más altas que los quelatos.

Entre sus ventajas están su costo más económico comparado con los quelatos, y su mayor concentración de nutrimentos

4.9 Movilidad de los nutrimentos al interior de la planta

El desarrollo integral de los cultivos en general está limitado a que las plantas tengan las condiciones ambientales adecuadas y a que puedan nutrirse con oportunidad y suficiencia con los 16 elementos que son esenciales para iniciar y concluir con plenitud su ciclo de vida.

Los nutrientes constituyen la materia prima básica para cualquier actividad al interior de las plantas, así como para todas sus funciones y procesos durante la vida de las plantas.

Los nutrientes tienen que ser absorbidos, translocados y asimilados al metabolismo de la planta para poder cumplir con las acciones específicas que corresponden a cada uno de estos, en las funciones y procesos del metabolismo vegetal.

Los nutrientes C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S conforman el mayor porcentaje de todos los componentes químicos y estructurales de las plantas; mientras que, los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, y Cl se encuentran y se requieren en cantidades mucho menores, pero no por esto, son menos importantes en la nutrición y fisiología de los cultivos, ya que algunos de ellos participan en las funciones vitales de las plantas.

4.9.1 Los nutrientes en la planta

N (Suelo) < = = > N (Solución) < = = > N (Raíz) < = = > N (Parte aérea)

4.9.1.1 Absorción de nutrientes inorgánicos por la raíz

La absorción de iones inorgánicos tiene lugar a través de la epidermis de la raíz. El camino principal que siguen los iones desde la epidermis de la raíz a la endodermis es simplástico (vía intracelular).

El movimiento radial de los iones continúa en el simplasto cortical de protoplasto a protoplasto, vía plasmodesmos a través de la endodermis y se incorporan a las células del parénquima del cilindro vascular. Desde las células del parénquima cortical, los iones son secretados por a la xilema (vasos o traqueadas) por un mecanismo de transporte activo medado por transportadores. El transporte de iones también puede ser pasivo.

4.9.1.2 Transporte pasivo y activo a través de una membrana

En el apoplasto (partes no vivas de la planta) se forma un espacio libre aparente en donde los iones circulan de forma pasiva y libre, esta entrevista y salida dependen de la gradiente de difusión.

No en toda la extensión de apoplasto los iones ingresan libremente, dichos iones se dirigen siguiendo la gradiente de concentración a la banda de Caspary, donde por poder entrar

requieren gastar energía metabólicamente llamándose transporte activo.

La endodermis contiene una cinta de material impermeable conocida como la banda de Caspary, esta cinta (la capa más interna del córtex) funciona como una barrera impermeable que permite al endodermo absorber selectivamente los iones muy necesarios (K^+ , Ca^{++} , PO_4^- , NO_3^- , Cl^-) y bloquear los indeseables (Na^+ , Al^{3+}) para luego llevarlos a la xilema.

En el transporte activo de los iones intervienen unas sustancias llamadas “transportadores”, situados en las membranas de las células.

La membrana limita hacia afuera un espacio externo y un espacio interno hacia adentro. Un ión que haya entrado ya no podrá salir.

4.9.2 Transporte de nutrientes inorgánico

Cuando los iones inorgánicos son secretados en el interior de los vasos de xilema radical, son rápidamente conducidos hacia arriba y por toda la planta gracias a la corriente de transpiración. Algunos iones se mueven lateralmente desde la xilema hacia los tejidos circundantes de

las raíces y de los tallos, mientras que otros son transportados hacia las hojas.

Una vez alcanzadas las hojas los iones pueden seguir tres caminos: i) Son transportados con el agua en el apoplasto de la hoja, ii) Pueden permanecer en el agua de transpiración y llegar a los lugares principales de pérdida de agua, los estomas y células epidérmicas, iii) La mayoría de los iones entran en los protoplastos de las células de la hoja, probablemente por mecanismos en los que está implicado el transporte activo y moverse vía simplástica a otras partes de la hoja, incluyendo el floema.

4.10 Movilidad en la planta

La movilidad de los iones (aniones y cationes) es ascendente por el xilema (los provenientes de la absorción) y en menor medida por el floema (los provenientes de las hojas viejas); descienden por el floema (iones que salen de las hojas), y su movimiento lateral (entre xilema y floema) a través del cambium.

Algunos iones como el fósforo, el azufre y el nitrógeno pueden combinarse en la raíz con sustancias orgánicas ingresando directamente a los conductos floemáticos.

Una vez transportado a un determinado órgano, el nutriente será metabolizado e incorporado a alguna molécula biológica, o bien permanecerá disuelto en el citosol. A partir de este proceso, el comportamiento del nutrimento variará en cuanto a su movilidad, es decir, a la capacidad de ser extraídos de ese destino metabólico y ser transportados a otros órganos.

El N, P, K y Mg son típicamente móviles y pueden ser transportados con relativa facilidad a otros órganos, mientras que el Ca, S y Fe más o menos inmóviles y tienden a permanecer en el primer destino alcanzado hasta la muerte de ese órgano.

Tabla 6 - 4. Movilidad de los elementos nutritivos

Muy móvil	Móvil	Semi móvil	Inmóvil
Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Zinc (Zn)	Boro (B)
Potasio (K)	Cloro (Cl)	Cobre (Cu)	Manganeso (Mn)
Sodio (Na)	Azufre (S)	Magnesio (Mg)	Calcio (Ca)
		Hierro (Fe)	
		Molibdeno (Molibdeno)	

Fuente: Domínguez, V. A. (1997).

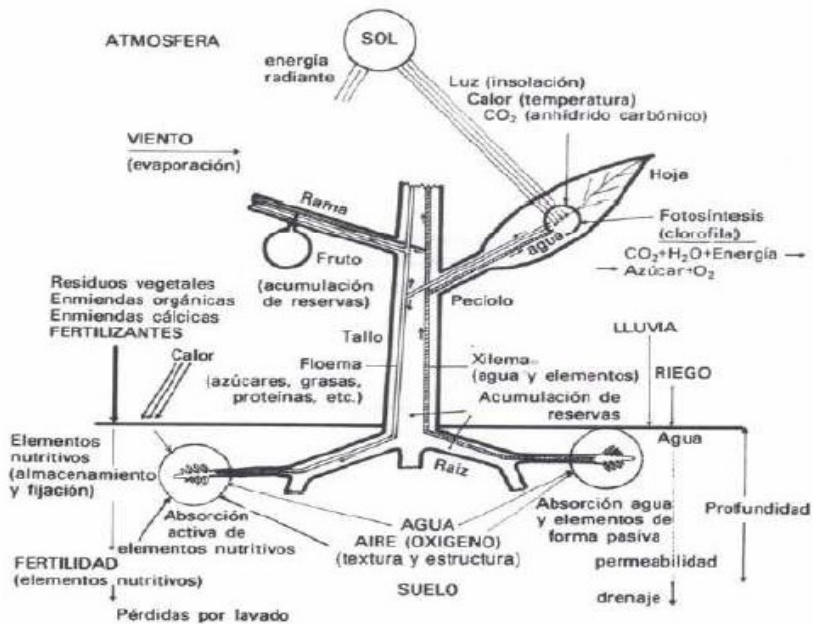


Figura 3 - 4. Factores que intervienen en la nutrición de las plantas (Domínguez, 1997)

4.10.1 Factores que afectan la movilidad

4.10.1.1 Internos

Potencial Genético, el proceso de absorción iónica, como en casi toda la vida de la planta, está controlada genéticamente, y la *salinidad presente dentro de la planta*.

4.10.1.2 Externos

Temperatura, en presencia de una alta temperatura aumenta la movilidad de la planta, eso hasta los 40 °C, en climas fríos la movilidad disminuye.

La luz, al haber más luz hay mayor fotosíntesis para la fabricación de substratos orgánicos, utilizados para la respiración, por lo tanto, mayor movilidad.

4.11 Importancia de los nutrientes

Nutriente esencial: aquel que tiene una influencia directa sobre el metabolismo de la planta. Su presencia es determinante para la consecución de un ciclo biológico. No debe ser reemplazado por otro en su acción.

Puede haber en las plantas otros elementos que solo sean esenciales para algunas especies, o bien que sin ser esenciales pueden reemplazar a algún elemento esencial. También pueden encontrarse otros elementos sin función conocida que la planta los acumula, por su abundancia en el medio (Tabla 34).

Tabla 7 - 4. Resumen de funciones más importantes de los nutrientes en las plantas

Elemento	Forma como el elemento es absorbido	Concentración en las plantas (% peso seco)	Funciones principales
Macronutrientes			
Carbono	CO ₂	44	Componentes orgánicos compuestos
Oxígeno	H ₂ O u O ₂	44	
Hidrógeno	H ₂ O	5	
			Aminoácidos, proteínas

El suelo y los abonos en la nutrición vegetal

Nitrógeno	NO_3^- o NH_4^+	1 - 4	nucleótidos, ácidos nucleicos, clorofila y coenzimas
Potasio	K^+	0.5 – 6	Enzimas aminoácidos y síntesis de proteínas. Activador de enzimas. Apertura y cierre de estomas
Calcio	Ca^{2+}	0,2 - 3,5	Calcio en paredes celulares. Co-factor enzimático, Permeabilidad celular, componente de calmodulina un regulador de la membrana y de las actividades enzimáticas
Fósforo	H_2PO_4^- o HPO_4^{2-}	0,1 - 0,8	Formación de compuestos fosfatados de “alta energía” (ATP y ADP). Ácidos nucleicos, fosforilación de azúcares. Coenzimas esenciales, Fosfolípidos.
Magnesio	Mg^{2+}	0,1 - 0,8	Parte de la molécula de clorofila. Activador de muchas enzimas.
Azufre	SO_4^{2-}	0,05 – 1,0	Algunos Aminoácidos y proteínas. Coenzima A.
Micronutrientes expresados en ppm			
Hierro	Fe^{2+} o Fe^{3+}	25 - 3000	Síntesis de clorofila, citocromos y nitrogenasa
Cloro	Cl^-	100 -10.000	Ósmosis y equilibrio iónico, esencial en reacciones fotosintéticas que producen oxígeno
Cobre	Cu^{2+}	4 - 30	Activadores de ciertas enzimas
Manganeso	Mn^{2+}	15 - 800	
Zinc	Zn^{2+}	15 -100	

Molibdeno	MoO_4^{2-}	0,1 - 5,9	Fijación del nitrógeno. Reducción del nitrato
Boro	BO_3^{3-} o B_4O_7	5 - 75	Influye en la utilización del calcio.
Elementos esenciales para algunas plantas u organismos			
Cobalto	Co^{2+}	Trazas	Requerido por microorganismos que fijan el nitrógeno
Sodio	Na^+	Trazas	Equilibrio osmótico e iónico no es esencial para muchas plantas. Requerido por algunas especies desérticas y las de fotosíntesis C4.

Fuente: TAIZ (1998)

Se podría considerar que el N, K, y P son suficientemente móviles; y contrariamente el Zn, Mn, Fe, B, Mg y Ca, cuando son aplicados foliarmente, deben ser focalizados a los tejidos que los requieren, debido a su mala redistribución interna.

Tabla 8 - 4. Movilidad relativa de los elementos minerales en el interior de una planta.

MUY MÓVIL	MÓVIL	SEMIMÓVIL	INMÓVIL
N	P	Zn	B
K	Cl	Cu	Mn
Na	S	Mg	Ca
---	---	Fe	---
---	---	Mo	---

Fuente: RONEN, E. 2004

4.12 Absorción de los nutrientes por la raíz

El contacto de los nutrientes con la superficie de la raíz, es un requisito importante para que se produzca la absorción. Los mismos que se pueden producir de dos formas: *i)* En forma directa por el crecimiento de las raíces y *ii)* Por el movimiento de los nutrientes por difusión o flujo masal desde el suelo hasta la superficie de las raíces.

4.12.1 Intercepción directa por la raíz

A medida que la raíz crece, se ubica en estratos del suelo en los que encuentra nutrientes disponibles para la planta. La cantidad de nutrientes que intercepta en forma directa la raíz se encuentra relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, (Tabla 36).

Tabla 9 - 4. Mecanismos de llegada de los nutrientes hasta la cercanía de las raíces en el cultivo de maíz con un rendimiento de 9,5 Tn. ha⁻¹. Valores en kg/ha para cada nutriente.

Nutriente	Cantidad absorbida	Intercepción directa	Flujo masal	Difusión
Nitrógeno	190	<u>2</u>	150	38
Fósforo	40	1	2	37
Potasio	195	4	35	156
Calcio	40	60	150	0
Magnesio	45	15	100	0

Azufre	22	1	65	0
--------	----	---	----	---

Fuente: (www.fisicanet.com)

La absorción de nutrientes por las raíces puede ser un factor limitante para lograr adecuado desarrollo y rendimientos rentables. Esto puede suceder durante períodos críticos de desarrollo de la planta (ontogénesis) o durante ciertas condiciones ambientales como sequía o temperatura extremas del suelo.

La fertilización foliar es mejor que la fertilización al suelo cuando se presentan condiciones de severas deficiencias nutricionales con la presencia de agudos síntomas de deficiencia en los tejidos.

Esto se debe a que se suplementa el nutriente requerido directamente a la zona de demanda en las hojas y a que la absorción es relativamente rápida, En la tabla 37, se presenta la velocidad de absorción de varios nutrientes por los tejidos.

4.12.2 Movimiento por difusión y flujo masa de los nutrientes

El Mayor porcentaje de los nutrientes se mueve desde el suelo antes de ser absorbido por las raíces. Los mecanismos de transporte involucrados en el movimiento de los nutrientes en el suelo hasta su llegada a la superficie de las raíces son la difusión y el flujo masa.

Difusión: Cuando las raíces absorben nutrientes se crea un gradiente de concentración de nutrientes entre el suelo y la raíz. El resultado de este gradiente es un movimiento de nutrientes hacia las cercanías de las raíces por la difusión.

La cantidad de nutrientes transportadas por este mecanismo va a estar relacionado con el gradiente de concentración y con el coeficiente de difusión del nutriente el mismo que varía con el tipo de suelo y la movilidad del nutriente en el suelo.

El porcentaje (%) de nutrimentos (respecto del total absorbido) que llegan hasta la superficie de la raíz por este mecanismo varía con el nutriente en cuestión (Tabla 38).

Flujo masa: Es el movimiento de agua y los nutrientes que se encuentra disuelto en la masa líquida que llega hasta las raíces como resultado del proceso de transpiración de la planta.

La cantidad de nutrientes que llega por este movimiento está relacionada con la concentración del mismo en la solución del suelo y con el volumen de agua que absorbe la planta. En la tabla 36, se observa la cantidad de cada nutriente que llega a la superficie de la raíz por este mecanismo.

4.13 Velocidad de absorción foliar

4.13.1 Factores que influyen en la velocidad de absorción foliar

Para el buen éxito de la fertilización foliar, es necesario tomar en cuenta tres factores, los relacionados con la planta, el ambiente y la formulación foliar.

4.13.2 Relacionados con la planta

De la planta se toma muy en cuenta la especie del cultivo, estado nutricional, etapa de desarrollo, condiciones de sanidad y la edad de las hojas (Kovacs, 1986).

Edad de la planta y hoja. La aplicación foliar de nutrimentos también está afectada por el estado de desarrollo de la planta. Se indica, aunque existen pocos datos, que las plantas y hojas jóvenes son las que tienen mayor capacidad de absorción de nutrimentos vía aspersión foliar y desde luego deben de tener un déficit de esos nutrimentos en su desarrollo (FREGONI, 1986).

Entre especies también hay diferencias, y posiblemente esta diferencia esté fundamentalmente influenciada por el grado de cutinización, lignificación y presencia de ceras en la hoja, habrá menor facilidad de absorción del nutrimento (FREGONI, 1986).

4.13.3 *Relacionados con el ambiente*

Del ambiente se debe considerar la temperatura del aire, el viento, la luz, humedad relativa y la hora de aplicación.

Temperatura y humedad relativa. Con alta temperatura y baja humedad relativa, hay mayor evaporación de la solución, provocando una concentración de sales que puede llegar a niveles tóxicos y causar daños por quema de follaje.

Aunque también la esta última favorece la penetración de los nutrimentos al mantener húmeda la hoja. De esta manera siendo la temperatura adecuada de aplicación de 18 – 25°C y la humedad relativa alrededor de un 70% (SWIETLIK y FAUST, 1984).

Luz y hora de aplicación. La luz es un factor importante en la fotosíntesis y para que una planta pueda incorporar nutrimentos en los metabolitos se requiere de un proceso fotosintéticamente activo en la planta.

Este último factor debe de practicarse o muy temprano o en las tardes, según las condiciones de la región, lo recomendable es menor a las 09H00 o mayor a las 17H00 (5 pm) (SWIETLIK y FAUST, 1984).

4.13.4 *Relacionados con la formulación foliar*

De la formulación foliar se toma en cuenta la concentración de la sal portadora del nutrimento, el pH de la

solución, la adición de coadyuvantes y el tamaño de la gota del fertilizante líquido, del nutrimento por asperjar se cita su valencia y el ión acompañante, la velocidad de penetración y la translocabilidad del nutrimento dentro de la planta. A continuación, se desglosa la importancia de algunos de ellos.

El pH de la solución. La característica de la solución por asperjar es de primordial importancia en una práctica de fertilización foliar. El pH de la solución y el ión acompañante del nutrimento por aplicar influyen en la absorción de éste en la hoja.

Presencia de sustancias activadoras. Actualmente se están haciendo estudios activadores y la urea desempeña la misma función en la absorción de fósforo. Parece que la urea dilata la cutícula y destruye las ceras sobre la superficie de la hoja, facilitando la penetración del nutrimento.

Nutrimento y el ión acompañante en la aspersion. La absorción de nutrimentos está relacionada con la capacidad de intercambio catiónico en la hoja, y la K^+ y NH_4^+ requieren sólo de un H^+ en el intercambio; mientras que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} y el Mg^+ requieren de dos H^+ ; por lo tanto, los iones monovalentes penetran con mayor facilidad que los iones con mayor número de valencias.

Los iones más pequeños en su diámetro penetran más rápidamente que los iones de mayor tamaño (Fregona, 1986). En el caso del fósforo, el amonio lo estimula en su absorción más que el Na^+ o K^+ , en la tabla 38, indica la velocidad de absorción de los nutrimentos que podrían dar una idea de la facilidad con que penetran estos elementos en la hoja.

Tabla 10 - 4. Tiempo de absorción de nutrientes en los tejidos.

Nutriente	Tiempo para que se absorba 50 %
Nitrógeno como urea	$\frac{1}{2}$ - 2 horas
Fósforo	5 – 10 días
Potasio	10 – 24 horas
Calcio	1 – 2 días
Magnesio	2 – 5 horas
Zinc	1 – 2 día
Manganeso	1 - 2 días

Fuente: SWIETLIK y FAUST, 1984.

Tabla 11 - 4. Velocidad de absorción de diferentes nutrimentos en la hoja de frijol

	Absorbidos después de				
Elemento	6H	24H	48H	96H	192H
R	55	80	90	95	98
K	50	70	80	90	95
Na	48	65	70	80	90
Cl	31	40	50	60	80
Zn	30	50	60	65	70
Ca	7	28	35	50	70
S	7	22	30	45	60
P	5	15	25	35	50

Mn	11	20	22	30	40
Ba	6	21	30	40	65
Sr	2	10	18	30	34
Fe	3	6	8	12	15

Fuente: Freghoni, (1986).

El Ambiente. Como la humedad relativa, la hora de aplicación, la temperatura del aire, el viento, la luz.

Tabla 12 - 4. Efecto de la temperatura sobre la absorción de P^{32} en hojas de frijol a diferentes horas después de la aplicación.

Horas después de la aplicación	14° C	Absorción de P^{32} 21° C	25° C
3	0.015	$\mu \text{ g}^{P^{32}} \cdot (100\text{g})^{-1}$ 0.307	0.243
6	0.433	1.04	0.56
12	1.23	1.675	0.738

Fuente: Jyung.et.al, 1964.

El fósforo en las hojas de frijol se absorbe en mayor cantidad a 21° C que a 14 °C.

La humedad relativa. La humedad relativa influye en la velocidad de evaporación del agua que se aplica, una alta humedad relativa del medio limitara la penetración de los nutrimentos en la región.

4.14 Fitohormonas y reguladores de crecimiento

Las plantas tienen cinco clases de hormonas (los animales, especialmente los cordados tienen un número mayor). Las hormonas y las enzimas cumplen funciones de control químico en los organismos multicelulares. Las plantas no sólo necesitan para crecer el agua y nutrientes del suelo, luz solar y bióxido de carbono atmosférico.

Ellas, como otros seres vivos, necesitan hormonas para lograr un crecimiento armónico, esto es, pequeñas cantidades de sustancias que se desplazan a través de sus fluidos regulando su crecimiento, adecuándolos a las circunstancias.

Se entiende por hormonas vegetales aquellas sustancias que son sintetizadas en un determinado lugar de la planta y se translocan a otro, donde actúan a muy bajas concentraciones, regulando el crecimiento, desarrollo o metabolismo del vegetal.

El término “sustancias reguladoras del crecimiento, es más general y abarca a las sustancias tanto de orígenes naturales como sintetizados en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo o desarrollo en la planta.

Las fitohormonas pertenecen a cinco grupos conocidos de compuestos que ocurren en forma natural, cada uno de los

cuales exhibe propiedades fuertes de regulación del crecimiento en plantas, y cada uno con su estructura particular y activos a muy bajas concentraciones dentro de la planta, ellas son: Auxinas, Citoquininas, Giberelinas, Etileno y Ácido abscísico.

Mientras que cada fitohormona ha sido implicada en un arreglo relativamente diverso de papeles fisiológicos dentro de las plantas y secciones cortadas de éstas, el mecanismo preciso a través del cual su función no es aún conocida.

4.14.1 Auxinas

Las auxinas son sustancias naturales, pertenecientes al grupo de las hormonas vegetales que se producen en las partes de las plantas en fase de crecimiento activo y regulan aspectos del desarrollo vegetal; favorecen el crecimiento del tallo, hojas, raíces, al desarrollo de ramas laterales y frutos.

Características, Aunque la auxina se encuentra en toda la planta, la más alta concentración se localiza en las regiones meristemáticas en crecimiento activo.

La concentración de auxina libre en plantas varía de 1.0 a 100 mg/kg peso fresco. En contraste, la concentración de auxina conjugada ha sido demostrada en ocasiones que es sustancialmente más elevada.

La auxina es transportada por medio de un mecanismo dependiente de energía, alojándose en forma basipétala (desde el punto apical de la planta hacia su base). Este flujo de auxina reprime el desarrollo de brotes axilares laterales a lo largo del tallo, manteniendo de esta forma la dominancia apical. El movimiento de la auxina fuera de la lámina foliar hacia la base del pecíolo parece también prevenir la abscisión.

Biosíntesis, existe información suficiente para demostrar que el AIA se sintetiza a partir de triptófano.

Las vías de síntesis del AIA se basan en la evidencia obtenida a partir de la presencia de intermediarios y su actividad biológica y el aislamiento de enzimas capaces de convertir en vivo estos intermediarios en AIA.

Transporte, desde las regiones meristemáticas es transportada en forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base. Por difusión a través de las células en plántulas al principio de su desarrollo o por el floema en plantas desarrolladas. El movimiento por el floema se hace con los productos de la fotosíntesis.

El transporte de auxinas ha sido estudiado en diferentes tipos de tejidos y de estos estudios ha podido llegarse a la conclusión de que la velocidad de transporte es: Independiente de la longitud del tejido.

Independiente de la concentración de auxina en el bloque donador, lo que a su vez nos indica que no se trata de un proceso de difusión, está influido por la temperatura.

Receptores de la auxina, los receptores son proteínas que se unen de forma específica y reversible a la señal química; tras realizarse la unión experimentan un cambio conformacional, pasando de una forma inactiva a una forma activa, poniendo en marcha un ‘programa molecular que conduce a la respuesta característica.

Acción fundamental de la auxina, actúa sobre los ácidos nucleicos; al despojarse la cadena de ADN de su envoltura de cromatina, el descubrimiento no es total, sino que quedan fragmentos de ADN envueltos por un complejo ADN-Histona. Es obvio que los genes presentes en estas partes cubiertas no pueden transcribirse al ARN por lo que quedan reprimidos. La acción de la auxina sería la de disociar el complejo de la historia desreprimiendo dichos genes.

Para que el ADN se despoje de su cubierta de historias y transcriba sus mensajes se necesita que esté presente una cierta concentración de IAA (auxinas). Si la concentración se aumenta ligeramente hay mayor desreprimiendo de genes se tiene, en general, efectos estimulantes, aunque puede haber ciertas anormalidades metabólicas en el desarrollo.

Pero si la concentración aumenta mucho, se inhiben quizá contradictorios, o fuera de tiempo y el efecto es una baja brusca en el metabolismo y disturbios en el desarrollo, tan serios que pueden causar la muerte de la planta.

4.14.1.1 Función de la auxina

Se consideran a las siguientes: Promueve el crecimiento y diferenciación celular y por lo tanto el crecimiento en longitud de la planta, estimulan el crecimiento y maduración de frutas, actúan en la mitosis, partenocarpia que es la formación de frutos sin necesidad de que se produzca la fecundación, floración, senectud o envejecimiento, retardan la caída de hojas, flores y frutos jóvenes, dormancia apical que es el predominio en el crecimiento de la yema que se encuentra en la porción superior de la planta, por sobre el crecimiento de las ubicadas en las axilas de las hojas inferiores, etc.

Usos en la agricultura, la aplicación de diversas auxinas como método para estimular el enraizamiento de estacas.

Las raíces que se originan en las estacas reciben el nombre de raíces adventicias. Estas raíces pueden originarse de primordios radicales existentes en el tallo y cuyo desarrollo requiere condiciones favorables; o bien, a partir de primordios radicales adventicios cuyo desarrollo se induce artificialmente.

Las auxinas sintéticas, el ácido 2-benzofuranacético, el ácido 3-benzofuranacético, el ácido naftalenacético y una serie de compuestos.

4.14.2 Giberelinas

Las giberelinas (GAs) son compuestos naturales estables y de rápida distribución por el floema que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y desarrollo en los vegetales superiores.

Son compuestos isoprenoides que proceden del ácido mevalónico y forman parte de las hormonas reguladoras del crecimiento. Existen varios tipos de giberelinas, siendo los más comunes: GA₁, GA₃, GA₄, GA₇ Y GA₉, Se encuentran en todos los órganos de las plantas superiores, siendo más abundantes en tejidos de rápido crecimiento y desarrollo como los meristemos apicales.

Biosíntesis. Todas son ácidos carboxílicos diterpenoides tetra cíclicos, se las denomina ácidos giberélicos y se las representa como GAs, distinguiéndose una de otra por un subíndice GA₁₃, GA₂₀, GA₅₂ etc.

Podemos decir, que los primeros pasos en la ruta de síntesis de GAs son comunes al resto de compuestos terpenoides.

Un terpenoide es una sustancia compuesta por bloques o unidas a cinco átomos de carbono denominados Isoprenos, los compuestos terpenoides atendiendo al número de isoprenos, se dividen en monoterpenos (C_{10}), sesquiterpenos (C_{15}), diterpenos (C_{20}) como las GAS, triterpenos (C_{30}) como los esteroides y tetraterpenos (C_{40}) como los carotenoides.

Los primeros pasos incluyen la transformación del primer compuesto de la ruta de síntesis de los terpenoides, el ácido mevalónico (AMV), en una serie de pasos consecutivos a geranil pirofosfato (GGPP), el precursor de los diterpenos y por lo tanto, de las giberelinas.

Efectos fisiológicos, eliminación de la dormancia que presentan las yemas y semillas de numerosas especies, estimulan la producción de α -amilasa durante la germinación de los granos de cereales, retrasa la maduración de los frutos, en cítricos se rocían con GAS para mantener en estado verde el fruto, induce masculinidad en flores de plantas monoicas, retrasan la senescencia en hojas e inducen la germinación en las semillas.

4.14.2.1 Funciones de las giberelinas desde el punto de vista agronómico

Incrementan el crecimiento en los tallos, interrumpen el período de latencia en las semillas haciéndolas germinar y movilizan las reservas en azúcares, inducen la brotación de

yemas, promueven el desarrollo de los frutos, estimulan la síntesis de RNA (RNA mensajero).

Aplicaciones, en el mercado se encuentran diversos preparados a bases de giberelinas con fines diversos. Destacan por su difusión las siguientes giberelinas:

El ácido giberilico rompe también la dormancia de los tubérculos de papa recién cosechados y consiguiendo así, una brotación rápida y uniforme.

GA₃ Peral. Que se debe utilizar en un período máximo de 48 horas, desde que se produce la helada. Los daños de la helada quedan anulados en gran parte, aunque los frutos que se desarrollan, con la aplicación de las giberelinas, son partenocárpicos, es decir carecen de pepitas.

Las giberelinas pueden ser utilizadas para producir semillas tempranas en flores bienales. Tratando coles con ácido giberélico pueden obtenerse semillas después de sólo una estación de crecimiento.

Cuando se aplican en el momento adecuado y con la concentración más apropiada, las giberelinas hacen que los racimos de uvas se elonguen de tal manera que éstas se encuentran menos apretadas y sean menos susceptibles a infecciones de hongos.

4.14.3 *Citoquininas*

Las citoquininas son hormonas vegetales naturales que estimulan la división celular en tejidos no meristemáticos. Inicialmente fueron llamadas quininas, sin embargo, debido al uso anterior del nombre para un grupo de compuestos de la fisiología animal, se adaptó al término citocinina (citocinesis o división celular) Son producidas en las zonas de crecimiento, como los meristemos en la punta de la raíz.

Los diferentes tipos de citocininas son: Zeatina, Kinetina y Benziladenina (BAP)

La zeatina, es una hormona de esta clase y se encuentra en el maíz (*Zea*). Las mayores concentraciones de citoquininas se encuentran en embriones y frutas jóvenes en desarrollo, ambos sufriendo una rápida división celular.

La presencia de altos niveles de citoquinina puede facilitar su habilidad de actuar como una fuente demandante de nutrientes. Las citoquininas también se forman en las raíces y son translocadas a través del xilema hasta el brote. Sin embargo, cuando los compuestos se encuentran en las hojas son relativamente inmóviles.

Síntesis y transporte. Las citoquininas se sintetizan en los meristemos apicales de las raíces, aunque también se producen en los tejidos embrionarios y en las frutas. Transporte

en la planta por vía acropétala, desde el ápice de la raíz hasta los tallos, moviéndose a través de la savia en los vasos correspondientes al xilema.

4.14.3.1 Funciones. Estimulan la división celular y el crecimiento

Inhiben el desarrollo de raíces laterales, rompen la latencia de las yemas axilares, promueven la organogénesis en los callos celulares en cotiledones y hojas, promueven el desarrollo de los cloroplastos.

En el mercado, se encuentran algunas formulaciones de Citocininas. Tal es el caso de la Benziladenina al 1.9 % en combinación con Giberelinas (A₄ y A₇) al 1.9 %. Su función estriba en estimular la ramificación y alargamiento de los brotes en plántones de manzano)

Otros efectos generales de las citocininas en plantas incluyen: Estimulación de la germinación de semillas, estimulación de la formación de frutas sin semillas, ruptura del letargo de semillas, Inducción de la formación de brotes, mejora de la floración, alteración en el crecimiento de frutos y ruptura de la dormancia apical.

4.14.4 Etileno

El etileno es un hidrocarburo no saturado, es muy diferente a otras hormonas vegetales naturales. Aunque se ha

sabido desde principios de siglo que el etileno provoca respuestas tales como geotropismo y abscisión.

El etileno es una hormona natural de las plantas. Afecta el crecimiento, desarrollo, maduración y envejecimiento de todas las plantas, normalmente es producido en cantidades pequeñas por la mayoría de las frutas y vegetales. El etileno no es dañino o tóxico para los humanos en las concentraciones que se encuentran en los cuartos de maduración.

De hecho, el etileno era usado en el medio médico como un anestésico en concentraciones significativamente más alta del que se encuentran en un cuarto de maduración.

El etileno parece ser producido esencialmente por todas las partes vivas de las plantas superiores, y la tasa varía con el órgano y tejidos específicos y su estado de crecimiento y desarrollo.

Las tasas de síntesis. Varían desde rangos muy bajos (0.04 – 9.05 $\mu\text{l/kg-hr}$) en flores desvanecientes de orquídeas Vanda. Se han encontrado que las alteraciones en la tasa sintética de etileno están asociadas cercanamente al desarrollo de ciertas respuestas fisiológicas en plantas y sus secciones, por ejemplo, la maduración de frutas climatéricas y la senectud de flores

Ya que el etileno está siendo producido continuamente por las células vegetales, debe existir algún mecanismo que prevenga la acumulación de la hormona dentro del tejido.

A diferencia de otras hormonas, el etileno gaseoso se difunde fácilmente fuera de la planta.

Esta emanación pasiva del etileno fuera de la planta parece ser la principal forma de eliminar la hormona, técnicas como la ventilación y las condiciones hipobáricas ayudan a facilitar este fenómeno durante el período pos cosecha al mantener una gradiente de difusión elevada entre el interior del producto y el medio que lo rodea. Un sistema de emanación pasivo de esta naturaleza implicaría

Que la concentración interna de etileno se controla principalmente por la tasa de síntesis en lugar de la tasa de remoción de la hormona.

Funciones. Las principales del etileno se pueden resumir en los siguientes puntos: Promueve la maduración de los frutos, promueve la senescencia (envejecimiento), caída de las hojas, geotropismo en las raíces.

4.14.5 Ácido Abscísico

El ácido abscísico es un potente inhibidor del crecimiento que ha sido propuesto para jugar un papel

regulador en respuestas fisiológicas tan diversas como el letargo, abscisión de hojas y frutos y estrés hídrico, y por lo tanto por lo tanto tiene efectos contrarios a los de las hormonas de crecimiento (auxinas, giberelinas y citocininas)

La concentración en las plantas está entre 0.01 y 1.0 ppm, sin embargo, en plantas marchitas la concentración puede incrementarse hasta 40 veces. El ácido abscísico se encuentra en todas las partes de la planta, sin embargo, las concentraciones más elevadas parecen estar localizadas en semillas y frutos jóvenes y la base del ovario. La síntesis tiene lugar en las yemas.

Funciones, promueve la latencia en yemas y semillas, inhibe la división celular, causa el cierre de estomas, antagonico de las giberelinas e Inhibe el crecimiento.

Tabla 13 - 4. Resumen de las principales funciones de las fitohormonas

Efecto Fisiológico	Auxinas	Giberelinas	Citoquininas	Acido Abscísico	Etileno
Respuestas trópicas	Si	Si	No	Si	Si
Aumento tamaño celular en cultivo de tejidos	Si en algunas	Si en algunas	Si	No	No
Estimula enraizamiento	Si	No	No	No	Si

to de estacas					
Inhíbe desarrollo radicular	Si	No	Se desconoce	Si	Si
Abscisión de hojas y frutos	Si	No, forma directa	Si	Si	Si
Activa crecimiento de frutos.	Si	Si	Si, algunos casos	No	No
Afecta crecimiento tallo	No	Si	No	Lo inhibe	Lo inhibe
Interrompe el reposo de yemas vegetativas	No	Si	Si	No, induce	Si a veces
Favorece germinación de algunas semillas	No	Si	No	No, inhibe	Si a veces
Favorece síntesis de amilasa en semillas cereal	No	Si	Si	No, inhibe	No
Mantenimiento de dormancia apical	Si	Si	No	Desconoce	Si
Inhíbe degradación de proteínas y clorofilas en la	Si a veces	Si	Si a veces	No, acelera	No. acelera

senescencia					
Aumenta respiración del fruto en la maduración	Desconoce	No	No	No	Si

Fuente: Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2004

4.9.1 Fitohormonas sintéticas

Tabla 14 – 4. Fitohormonas sintéticas: momento de aplicación y sus efectos

APLICACIÓN	PRODUCTO	EFEECTO
Retardos del crecimiento	Cycocel (CCC) y Phosphon-D	Reducción del nivel de giberelinas y crecimiento lento de los órganos vegetales
Enraizamiento de estacas	IBA Y NAA	Estimula la formación de raíces
Eliminación de la dormancia de yemas y semillas	Ácido giberélico CA3	Rompe la dormancia de las yemas
Control de brotación de yemas	NAA y Hidracina Malpica (MH)	Inhibe la brotación de yemas
Control de floración	NAA, etephón, pospon-D	Induce floración de algunas especies de frutales
Desarrollo de frutos partenocarpios	IAA y giberelinas	Partenocarpia de algunos frutos
Control madurez de frutos	ETEPHÓN	Acelera la maduración de algunas especies hortícolas

Retraso de senescencia	BAP, retardantes del crecimiento CCC	2,4-D del	Prolonga vida en flores cortadas
Herbicidas	2,4-D; 2,5,5 -T		Control químico d malas hierbas

Fuente: Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2004

4.15 Los quelatos

4.15.1 Los quelatos en la fertilización foliar

El nombre quelato en (inglés “Chelate”) se deriva de la palabra griega “Chela” que significa pinza, porque el anillo que se forma entre el quelato y el metal es similar en apariencia a los brazos de un cangrejo con el metal en sus pinzas.

Un quelato puede ser definido como un compuesto donde un nutriente metálico es ligado a un agente quelantes orgánico, que tiene la propiedad de estar disponible para la planta bajo condiciones adversas (por ejemplo pH, presencia de fósforo, aceites, etc.), en las cuales los nutrientes metálicos normalmente formarían compuestos insolubles.

Los metales con valencia igual o superior a +2 forman quelatos. Los iones metálicos con valencia +1 no forman quelatos sino sales.

Los agentes ligados más conocidos son: el ácido cítrico, ácido málico, ácido tartárico, ácido glucónico, ácido láctico acético, ácido nitrilo – tri - acético (NTA), ácido, ácido etilen –

Diamino – tetra - acético (EDTA) y el ácido tri – poli - fosfórico (TPPA).

Muchos otros compuestos químicos como los ácidos húmicos, los ácidos lignosulfonatos polialcoholes tienen propiedades quelantes.

4.15.2 Clasificación de los agentes quelantes por su poder acomplejante

- *Fuertes:* EDTA, HEEDTA, DPTA, EDDHA, NTA.
- *Medios:* Poliflavonoides, Sulfonatos, Ácidos Húmicos y fulvicos, Aminoácidos, Ácido Glutámico, Poli fosfatos.
- *Débiles:* Ácido Cítrico, Ácido Ascórbico, Acido Tartárico.

Entre más fuerte sea un quelante, más estable es la unión, por lo que se puede esperar mayor solubilidad del producto, más eficiencia de aplicación u mejor absorción a través de la cutícula.

La fortaleza de los quelantes se puede clasificar de acuerdo a sus constantes de disociación. Los ligandos listados a continuación están en orden descendente de sus constantes de disociación.

Tabla 15 - 4. Clasificación de los quelantes según su constante de disociación

EDTA	Muy fuerte
DTPA	Muy Fuerte
NTA	Fuerte
TPPA	Medio
Glucónico	Medio
Cítrico	Medio
Tartárico	Medio
Málico	Débil
Láctico	Débil
Acético	Débil

Fuente: Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2004.

4.15.3 *Clasificación de los agentes quelantes por su proceso de fabricación y estabilidad*

- *Quelatos químicos totales.* El metal está 100% quelatado y protegido contra reacciones adversas. Entre ellos están quelatos en EDTA, DTPA y HEDÍA. Cuando se observa la etiqueta, no contienen Azufre(S), Son los quelatos más eficientes y estables.
- *Quelatos débiles.* En este caso el metal no esté totalmente protegido contra reacciones adversas. Es

decir, la mezcla se puede “cortar” fácilmente. Algunos ejemplos son: quelatos en NTA, HEIDA, Ácido Cítrico o gluconatos.

- *Quelatos parciales o físicos.* En este caso, el metal no está totalmente quelatado. Prácticamente es una mezcla física de una sal inorgánica (por ejemplo, sulfato) con un agente quelatizante como EDTA. En este caso, el metal solo llega a quelatarse entre un 10 – 50 %.

Se puede diferenciar de un quelato químico, porque en la etiqueta se puede observar que tienen contenido de azufre (S) proveniente de la sal inorgánica de sulfato.

Complejos orgánicos. El metal está atado a cadenas largas de aminoácidos, lignosulfonatos, poliflavonoides y ácidos fenólicos. Los complejos resultantes son tan grandes que difícilmente pueden ser absorbidos por los microporos de las paredes celulares de las hojas, su eficiencia se regula al desdoblamiento de los complejos, lo cual puede ser un impedimento para su absorción rápida. Además, la cantidad de micro elementos suplido por esta vía puede ser muy baja.

La principal diferencia entre los quelatos químicos y los otros quelatos, es la estabilidad de la estructura molecular. Esto presenta muchas ventajas:

En primer lugar, esta estabilidad hace que las mezclas del quelato químico con casi todos los agroquímicos sean compatibles.

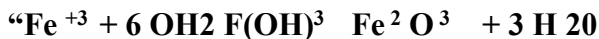
Además, el micronutriente estará disponible para la planta muy rápidamente y en cantidades adecuadas.

Se encuentra a un precio muy competitivo.

Los quelatos parciales, también conocidos como físicos, contienen fuentes de acomplejantes sintéticos o naturales para solubilizar el metal, Sin embargo, no trabajan igual que los quelatos químicos o, totales, ya que la cantidad de acomplejante es significativamente menor; particularmente, gran parte del catión estará presente como sal inorgánica (sulfato). De ahí de que se incurra en mayores riesgos de precipitación, reacción adversa con agroquímicos, etc.

La estabilidad del enlace entre el quelato y el metal depende del agente quelatante, del metal quelado y de las condiciones fisicoquímicas del suelo (sobre todo pH). Los más utilizados son los quelatos de hierro y manganeso.

Esta insolubilidad es más pronunciada cuando el pH del suelo es mayor de 5, debido a que los cationes reaccionan con los iones hidroxilos y son precipitados. Uno de tal ejemplo, es la reacción del ión férrico con los iones hidrófilos como se indica a continuación:



Debido a este tipo de reacción, los metales quelatado se convierten en un importante medio de abastecimiento de micronutrientes para las plantas. En el ejemplo anterior, si en lugar de una sal inorgánica de hierro, se utilizara un quelato de hierro, el ión férrico se encontraría protegido de precipitaciones y por lo tanto existiría un incremento de hierro disponible para las plantas.

4.15.4 Características que debe tener un quelato

El quelato debe ser estable frente a problemas de hidrólisis, no debe ser descompuesto por los microorganismos del suelo, debe ser soluble en agua, debe estar disponible tanto por las raíces como por cualquier parte de la planta, no debe ser tóxico a la planta en las cantidades requeridas, estar en una forma que sea fácilmente aplicado al suelo o a la planta, no debe ser muy caro.

El quelato férrico es mucho estable que cualquier otro quelato metálico. Por esta razón, en solución, el ión férrico puede reemplazar igual concentración de cualquier otro metal del anillo quelatante.

4.15.4.1 Funciones de los quelatos

Protección del nutriente, manteniendo al mismo en una situación de solubilidad, disponibilidad para la planta y facilitando la absorción.

Aprovechamiento del nutriente, con una eficiencia hasta 10 veces superior en comparación con sales inorgánicas. Esto resulta que formulaciones con bajas concentraciones sean eficientes.

Modificación del pH de la solución, es una característica diferencial de los quelatos. Es una característica deseable que un quelato sea también un agente dispersante de la solución.

4.15.5 Tipos de quelatos sintéticos comerciales

A continuación, se enlistan compuestos quelatados más importantes para la agricultura:

Tabla 16 - 4. Agentes quelatantes sintéticos comerciales y su concentración en micronutrientes.

Agente quelatante	Contenido de micronutrientes, % de elemento			
	Cu	Fe	Mn	Zn
EDTA	7 - 13	5 - 14	5 - 12	6 -14
EDTA	4 - 9	5 - 9	5 - 9	9
NTA	---	8	---	13
DTPA	---	10	---	---
EDDHA	---	6	---	---

Fuente: Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2004.

Donde hay un intervalo de valores, la cifra menor indica el análisis de formas líquidas comunes, y la cifra mayor el análisis de formas sólidas comunes.

Las constantes de formación y la estabilidad del complejo quelato - metal a lo largo de intervalos de pH son criterios importantes para evaluar los distintos agentes quelatantes.

En general la estabilidad de los quelatos metálicos es mayor cerca de un pH neutro que un pH alto o bajo. Según Domínguez, A. (1989), explica el contenido en porcentaje de algunos de los quelatos que son utilizados en la agricultura.

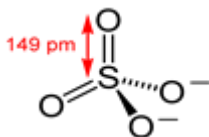
Tabla 17 - 4. Concentración en micro nutriente en los quelatos

a) Hierro	DPTA- Fe	10 % Fe (para suelos con pH < o =7,5)
	EDTA- Fe	9 - 12 % Fe (para suelos con pH < o = 6,3)
	EDDHA - Fe	6 % Fe (muy estable)
	EDTA - Fe	5 – 9 % Fe
b) Zinc	EDTA-Zn	9 – 14 %
c) Manganeseo	EDTA-Mn	12 % Mn
d) Cobre	EDTA-Cu	13 %
	EDTA H Cu	9 %

Fuente: Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento, 2004

4.16 Sulfatos

Los sulfatos son sales o ésteres del ácido sulfúrico. Contienen como unidad común un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por cuatro átomos de oxígeno.



Los sulfatos son las fuentes más utilizadas en la agricultura debido a su alta solubilidad en agua y su menor Índice Salino en comparación con los cloruros y nitratos, por lo que existe menos riesgo de quema del follaje, estos constituyen las principales fuentes inorgánicas y pueden ser mezclados con otros fertilizantes.

Su velocidad de absorción es más lenta que la de un quelato. Para lograr un efecto positivo, las sales se aplican en dosis más altas que los quelatos.

Entre sus ventajas están su costo más económico comparado con los quelatos, y su mayor concentración de nutrientes. La utilización de los sulfatos para disminuir el pH de suelos alcalinos o de suelos excesivamente encalados.

Por la importancia que tienen los sulfatos y también el azufre como micro elemento y que cumple un papel fundamental en algunos procesos de metabolismo en los

vegetales como es la síntesis de proteínas, la formación de ácidos grasos, como parte de las proteínas y de la mayor parte de tejidos en las plantas, es importante en el proceso de fotosíntesis, de manera que debemos recordar esta temática.

Ciclo del azufre

El azufre, como sulfato, es aprovechado e incorporado por los vegetales para realizar sus funciones vitales. Los consumidores primarios adquieren el azufre cuando se alimentan de estas plantas.

El azufre puede llegar a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno (H_2S) o dióxido de azufre (SO_2), ambos gases provenientes de volcanes activos y por la descomposición de la materia orgánica.

Cuando en la atmósfera se combinan compuestos del azufre con el agua, se forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) y al precipitarse lo hace como lluvia ácida.

4.16.1 Características de los sulfatos

Los sulfatos son las principales fuentes inorgánicas y pueden ser mezclados con otros fertilizantes. Los sulfatos también suministran pequeñas cantidades de S a las plantas.

Los sulfatos usualmente son cristales, pero pueden ser granulados para facilitar su manipulación. Los sulfatos de Fe,

Cu, Zn y Mn son ampliamente usados en aplicaciones al suelo y foliares.

Los cloruros y nitratos se absorben más rápido a través de la cutícula foliar que los sulfatos.

Formas de sulfatos

Los sulfatos pueden encontrarse: En formas solubles (sulfatos de Mg; Na; K); en formas relativamente solubles (sulfatos de Ca); en formas insolubles (sulfatos de bario y estroncio); adsorbidos al complejo de cambio (como fuentes de reserva); los sulfatos de Fe, Mn, Cu y Zn, tienen carácter ácido, y se suelen neutralizar hasta pH 6.5 para su aplicación foliar.

Disponibilidad de nutrientes

Por estar en forma de sulfato, el azufre presenta disponibilidad inmediata.

Los sulfatos liberados por el fertilizante, pueden ser absorbidos por las plantas.

4.16.2 Atributos específicos

Disponibilidad balanceada de potasio, magnesio y azufre; Ideal para suelos con baja capacidad de intercambio catiónico; No genera fitotoxicidad, pero sí efecto salino como todo fertilizante en aplicaciones conjuntas con semillas; Muy buen comportamiento en mezclas físicas.

Interesante para suelos de texturas gruesas, por el menor riesgo de lixiviación inmediatamente luego de la aplicación.

Resulta cara si se utiliza como fuente de nitrógeno, pero interesante como fuente de azufre en las mezclas.

En suelos calcáreos o con pH elevados (salino-sódicos) resulta una fuente de azufre adecuada por su reacción ácida.

Se descompone en calor (a temperatura elevada) con pérdida de NH_3 . Se descompone fácilmente a temperatura normal con los productos alcalinos y con desprendimiento de amoniaco.

Compatibilidad de mezclas

Evitar mezclar el sulfato amónico, salvo en el momento del empleo, con los productos alcalinos como la cal. Igualmente evitar la adición de herbicidas a base de clorato, debido al peligro de la explosión.

Tabla 18 - 4. Características físico-químico de los sulfatos

FERTILIZANTES	Formula	Forma	Tamaño	Color
Sulfato de amonio	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	Cristal	< 2 mm	blanco
Sulfato de cobre	$\text{Cu}(\text{SO}_3)$	Polvo	micro partícula	azul
Sulfato de potasio	K_2SO_4	Cristal	< 2 mm	blanco
Sulpomag	22- 22 -18S – K_2O - MgO	Granular	< 2 mm	blanco, naranja
Sulfato de Magnesio	$\text{Mg}(\text{SO}_4)$	Granular	< 2 mm	blanco

FERTILIZANTES	C.E (mmho)	Solubilidad (tiempo)	Impureza	% H	pH
Sulfato de amonio	15	0:01:10	no hay	0,3	5
Sulfato de cobre	4,3	0:01:10	no hay	9,8	4,16
Sulfato de potasio	12,8	0:05:41	5,4	0,9	6,65
Sulpomag	1,8	0:15:00	0,90	0,3	7,32
Sulfato de Magnesio	5	0:00:58	no hay	11	4,4

Fuente: Laboratorios de suelos – ESPOCH, 2015

Tabla 19 - 4. Ventajas y desventajas de los sulfatos

Producto	N-P-K-S + Ca + Mg	Ventajas y desventajas
Azufre elemental	0 - 0 - 0 - 80/98	No disponible inmediatamente. Mayor residualidad. Alta concentración
Sulfato de amonio	21- 0 - 0 - 24	Alta solubilidad. Aporta N. Granular apto para mezclas físicas
Tío sulfato de amonio	12 - 0 - 0 - 26	Aporta N. Líquido apto para uso directo.
Sulfo nitrato de amonio	26 - 0 - 0 - 12	Alta solubilidad. Aporta N parte de inmediata disponibilidad Granular apto para mezclas físicas
Sulfato de potasio y magnesio (Sulpomag)	0 - 0 - 22 - 22 + 11Mg	Aporta potasio y magnesio. No incluye N no necesario para leguminosas. S de alta disponibilidad.
Sulfato de potasio	0 - 0 - 50 - 18	Aporta potasio sin Cl. S de alta disponibilidad
Sulfato de calcio (Yeso)	0 - 0 - 0 - 13 + 22 Ca	Baja solubilidad, baja concentración. Granular apto para mezclas físicas.
Sulfato de magnesio	0 - 0 - 0 - 13 + 16 Mg	Aporta magnesio. S de alta disponibilidad. No incluye N

(Kieserita)		innecesario para leguminosas.
Superfosfato simple	0 – 20 – 0 - 12	Aporta fósforo. No incluye N, innecesario para leguminosas. S de alta disponibilidad
Urea-Azufre	40 – 0 – 0 - 5	Alta concentración de N. S no disponible inmediatamente.

Fuente: Laboratorio de suelos – ESPOCH, 2015

4.16.3 *Formas de sulfatos*

Sulfato amónico 21%N y 58% SO₃: abono empleado en situaciones de potencial carencia de azufre, es acidificante y su uso en hidroponía está muy limitado. Su empleo con aguas de riego salinas es poco aconsejable, sobre todo si son ricas en sulfatos. Son los fertilizantes de cobertera o trasplante

Sulfato potásico 46 - 50% K₂O y 18% S: es el segundo abono potásico más ampliamente utilizado. Su empleo viene motivado principalmente por situaciones de carencia potencial de azufre o por necesidades de abonado potásico sin incrementos en el aporte de nitrógeno. Su empleo en aguas de alta salinidad, sobre todo si en ellas predomina el ion sulfato. Recomendado para cultivos sensibles como frutales tomates, patatas.

Sulfato de magnesio 16% MgO y 31.7% SO₃: es generalmente la fuente de magnesio empleada en fertirrigación ante situaciones potenciales de carencia magnésica, ya que se

aporta el magnesio adicional necesario sin modificar el equilibrio N, P, K.

Sulfato de potasio y magnesio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$): Sulpomag, contiene 22% de K_2O , 11% de magnesio y 22 % de Azufre. Cristales finos o en gránulos de color amarillo, utilizado para suelos pobres en magnesio y azufre.

Sulfato ferroso y férrico $Fe (SO_4) \cdot 7H_2O$: $Fe_2 (SO_4)_3 \cdot 4H_2O$ su uso agrícola”, esta sustancia aporta al cultivo gran cantidad de nutrientes (azufre, hierro, manganeso...) y ayuda a la reducción del pH, tanto de la materia orgánica como del suelo, lo cual permite mejorar la estructura de los suelos favoreciendo de ese modo la producción agrícola.

El sulfato sódico: es frecuente en los suelos salinos. Su solubilidad se ve afectada fuertemente por la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo, Mucho menos tóxica que el sulfato magnésico.

4.16.4 Enmiendas

Las enmiendas, cuya acción es más bien correctora según las condiciones generales del suelo, entre las acidificantes se encuentran el azufre, sobre todo, los sulfatos de hierro y aluminio, aunque dicho sulfato se emplea, más como medio de suministrar hierro a las plantas, especialmente

mezclándolo con materia orgánica aplicada al suelo, o por aspersión sobre las hojas.

4.16.4.1 *Beneficios de la fertilización con sulfatos*

Son múltiples las ventajas que se recibe como fruto de su utilización, entre los más importantes citaremos a los siguientes:

- Incremento en la concentración de proteína cruda en forrajes;
- Disminución en el valor del cociente N:S, así como en la concentración de nitrato libre en los forrajes;
- Mejoramiento de la calidad harinera de los cereales;
- Incremento en el contenido de aceite en oleaginosas;
- Mayor uniformidad y calidad de hortalizas;
- Mayor vida útil de parcelas de leguminosas forrajeras; Incremento en la resistencia al frío; Incremento en la tolerancia a la sequía;
- Control de ciertos patógenos del suelo;
- Aumento en la tasa de descomposición de los residuos vegetales y abono verde, etc.

CAPITULO V

5 FERTIRRIEGO

5.1 Importancia en la agricultura

El método de “fertirriego” combina la aplicación de agua de riego con los fertilizantes. Esta práctica incrementa notablemente la eficiencia de la aplicación de los nutrientes, obteniéndose mayores rendimientos y mejor calidad, con una mínima polución del medio ambiente.

El fertirriego, permite aplicar los nutrientes de manera precisa y uniforme solamente al volumen radicular humedecido, donde están concentradas las raíces activas. Para programar correctamente el fertirriego, se deben conocer la demanda de nutrientes en las diferentes etapas fenológicas del ciclo del cultivo. La curva óptima de consumo de nutrientes define la tasa de su aplicación, evitando así posibles deficiencias o consumo de lujo.

5.2 Calidad del agua de riego

El uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de salinizar el suelo, provocando en numerosos casos disminución en la producción del cultivo, ocasionando, además, otros problemas como puede ser toxicidad, problemas de infiltración

del agua en el suelo, y obstrucciones en los sistemas de riego localizado.¹

Mediante un análisis fiable del agua de riego se pueden determinar las estrategias de riego que deben llevarse a cabo, según la salinidad del agua y la tolerancia de los cultivos a esta salinidad.

Siempre lleva el agua en disolución, o en suspensión, diversas sustancias que actúan, con respecto al riego, bien beneficiosamente si son útiles o en perjuicio de la vegetación si son tóxicas o si su dosificación supera a lo conveniente.

El conjunto de las sustancias disueltas constituye el residuo sólido o extracto seco, que en el agua potable varía desde 40 a 400 mg/L y no debe superar de los 500 miligramos; si este extracto seco es inferior a los 2 g/L el agua se denomina dulce, que puede ser o no potable y cuando excede de dicha cantidad recibe el nombre de agua salobre.

El tipo de agua que se utilice como agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto 'plazo influye en la producción, calidad y tipo de cultivo; a largo plazo ciertas aguas pueden perjudicar al suelo hasta hacerlo totalmente inservible para la agricultura.

Sea cual sea el origen del agua debe de cumplir la calidad que se exige a un agua de riego y únicamente en ciertas

situaciones o para ciertas producciones pueden variarse los márgenes establecidos, siempre que no afecte las propiedades del suelo.

La calidad de agua abarca una serie de aspectos o características físicas y químicas, que condicionan el que el agua sea apta o cree problemas para el riego o al suelo.

5.2.1 Características físicas del agua para riego

Se incluyen las sustancias o sólidos que llevan en suspensión, como:

Tierra, Arena, limo y arcilla

Materia orgánica muerta, restos de plantas, cañas, raíces, hojas, plásticos, etc.

Materia orgánica viva, insectos, plantas acuáticas, algas y bacterias.

Aguas residuales, jabones, detergentes, grasa y aceites minerales, y otras impurezas.

Además, hay otros factores que pueden hacer prohibitivo su uso, como son la presencia de sales tóxicas, temperatura, tipo de suelo donde se va a regar, etc.

5.2.1 *Características químicas del agua para riego*

Se incluyen las sustancias que lleva en disolución, así como las proporciones de las diversas sales, de donde se

deducen una serie de índices, para la clasificación de la bondad del agua de riego, con relación al tipo de suelo. Los análisis más importantes e índices a sacar, son:

El pH, indica la acidez o alcalinidad. El 7 refiere a un agua neutra. Por debajo de 7 es ácida y por arriba de 7 es básica o alcalina. Por encima de 8 ya no se considera buena.

Salinidad, el agua de riego contiene determinadas sales que se añaden a las ya existentes en el suelo. Las sales que nos interesan son aquellas que, además de ser solubles, se descomponen en iones:

Tabla 1 - 5. Cationes y Aniones

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Sodio (Na^+)	Sulfato (SO_4^{2-})
Magnesio (Mg^{2+})	Bicarbonato (CO_3H^-)
Potasio (K^+)	Carbonato (CO_3^{2-})

Fuente: www.AgroInformación.com, 2004.

Medida de sales, la salinidad del agua de riego se puede determinar por dos procedimientos:

Se realiza en laboratorio, evaporando en una estufa una muestra de agua y pesando el residuo, sólido. Se suele expresar en miligramos por litro (mg/L) o en mili equivalentes por litro (meq/L).

Medida de la conductividad eléctrica, la concentración o el contenido total de sales se puede determinar midiendo la conductividad eléctrica. Esta se expresa en milimho por centímetro (mmhos/cm) o en deci Siemens por metro (dS/m); ambos tienen el mismo valor.

El contenido de sales y la conductividad eléctrica están relacionados mediante la fórmula:

$$C = 0,64 \times CE$$

C= Contenido salino (g/L)

CE= Conductividad eléctrica (dS/m)

Existen varios criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas en ella. La FAO indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los siguientes límites en contenido de sales:

Tabla 2 - 5. Límites en contenido de sales en la calidad del agua

C (g/litro)	CE (dS/m)	Riesgo
< 0,45	< 0,7	Ninguno
$0,45 < C < 2$	$0,7 < CE < 3$	Ligero a moderado
> 2	> 3	Alto, severo

Fuente: www AgroInformación.com, 2004.

Riesgo de salinización por la conductividad eléctrica (CE) del agua, se calcula el riesgo de salinización del suelo, según el cuadro siguiente:

Tabla 3 - 5. Riesgo de salinización en el agua

CE (micromhos/cm)	Riesgo de salinidad
Menos de 750	Bajo
750 a 1500	Medio
1500 a 30000	Alto
Más de 30000	Muy alto

Fuente: Moya Talen, J. A, 2005

Relación de absorción del sodio (RAS), el (SAR) es un parámetro que indica la proporción en que se encuentran los cationes de sodio con los de calcio y magnesio, que tienen una acción contraria en la buena estructura del suelo.

El limite tolerancia es 10. Se basa en una fórmula empírica:

$$SAR = Na / ((Ca + Mg) / 2)^{1/2}$$

Índice que denota la proporción relativa en que se encuentra el sodio respecto al calcio y magnesio, cationes divalentes que compiten con el sodio por los lugares de intercambio en el suelo.

Si en el agua predomina el ión sodio, inducirá cambios de calcio y magnesio por sodio en el suelo, lo que podría llevar

la degradación de éste con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad.

Dureza, se refiere al contenido de calcio y magnesio y se mide por grados Fahrenheit.

En suelos sódicos está muy indicado el empleo de aguas duras o calizas. En el riego de pie no representa ningún inconveniente, incluso puede servir como fertilizantes, pero en el riego por goteo, no es conveniente pasar los 50 grados Fahrenheit se pueden producir obturaciones en las tuberías y emisores.

Por tanto, las aguas con superior grado, se tiene que acificar o bien emplear abonos ácidos.

5.2.2 Parámetros de calidad del agua

El conjunto de parámetros a considerar en la evaluación de la calidad del agua de riego han de contemplar características físicas, químicas y biológicas que definen su adecuación. Habitualmente las determinaciones que se realizan al agua de riego son:

Tabla 4 - 5. Parámetros de calidad del agua de riego, valores normales de análisis

Parámetros	Rango	mg/L
Conductividad eléctrica	0 - 3 dS/m	----
RAS	0 - 15	----
pH	6 - 8.5	----

Sólidos en disolución	meq/litro	0 - 2000
Calcio	0 - 20	0 - 400
Magnesio	0 - 50	0 - 60
Sodio	0 - 40	0 - 920
Carbonatos	0 - 0.1	0 - 3
Bicarbonatos	0 - 0,1	0 - 600
Cloruro	0 - 30	0 - 1100
Sulfatos	0 - 20	0 - 960
Potasio	----	0 - 2
Boro	----	0 - 2
Hierro	----	0 - 0,5
Dureza	0 - 40 F°	-----

Fuente: www.AgroInformación.com, 2004.

Para evaluar la idoneidad del agua de riego y tener en cuenta los posibles problemas que esta agua pueda causar al suelo o a las plantas, pero en algunos casos, cuando se sospecha de una anomalía en el agua es importante la determinación de otros parámetros como:

- Contenido en metales pesados y boro (por su incidencia en la cadena trófica y su alta toxicidad),
- Los sólidos en suspensión (pueden condicionar el tipo de riego),
- Presencia de los detergentes (evitar problemas en las conducciones y en la superficie activa del suelo);
- Si se prepara soluciones nutritivas, para la fertirrigación, se han de analizar; además, de los iones habituales otros como hierro, manganeso, cobre,

nitratos y fosfatos, a fin de tener en cuenta sus concentraciones en el agua de riego y su incidencia sobre la nutrición de los cultivos.

5.2.3 *Recomendaciones del régimen de fertirriego*

Para los diferentes cultivos están basadas en: La etapa fisiológica, tipo de suelo, clima, variedades y otros factores agrotécnicos.

Especial atención debe prestarse al pH, la relación NO_3/NH_4 , la movilidad de los nutrientes en el suelo y la acumulación de sales.

5.2.4 *Alternativas en los sistemas de fertirriego*

Sofisticados y automatizados, la producción de hortaliza y flores en invernaderos con sustratos artificiales requiere un especial y preciso control de estos sistemas de fertirriego.

Esto se debe a que, por un lado, se trata de cultivos delicados, con corto e intenso período de crecimiento, muy sensibles al manejo nutricional y con un sistema radicular poco desarrollado.

Por otro, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de estos medios de cultivo es muy baja y no contribuyen nutrientes, siendo la única fuente de nutrientes a través del sistema de fertirriego. Esta situación se potencia aún más

cuando se cultiva en contenedores o macetas donde las raíces están confinadas en un volumen muy limitado.

La baja capacidad de retención de agua y la pequeña reserva de nutrientes existente en estos sistemas hacen que estos sean muy sensibles y con poca capacidad de recuperación frente a cualquier error o desajuste en el fertirriego.

Esto implica que los ciclos de fertirriego deben ser frecuentes, homogéneos y precisos. El aporte de nutrientes debe ser completo (N, P, K, Ca, Mg y micronutrientes) y el pH debe ser mantenido, constantemente dentro de los valores adecuados. El monitoreo del agua de riego y de drenaje debe ser exhaustivo.

Sencillos manuales, las condiciones de cultivo de cítricos, las plantaciones frutales y otros cultivos a campo abierto difieren mucho de los cultivos en invernaderos, lo cual determina grandes diferencias en cuanto al manejo de riego y a los equipos de fertirriego.

Estos cultivos no requieren el control exhaustivo y cuidadoso del fertirriego como en los cultivos bajo cubierta. Esto se debe a que las plantas crecen sobre el suelo, y las raíces no están confinadas a un volumen reducido de agua y nutrientes. Los suelos naturales poseen una considerable CIC,

lo que implica una reserva de nutriente y una apreciable capacidad de reacción química y poder buffer.

En cuanto al régimen hídrico, los suelos naturales tienen una mayor capacidad de retención hídrica y mayor disponibilidad de agua, lo que permite a intervalos entre riegos mucho más largos. En cítricos por ej., se fertirriego una o dos veces por semana.

La entrega directa de fertilizantes a través del sistema de riego exige el uso de fertilizantes solubles y sistemas de bombas e inyectores para introducir la solución nutritiva en el sistema de riego. Un pre-requisito esencial para el uso de fertilizantes sólidos en fertirriego es su completa disolución en agua.

Ejemplos de fertilizantes altamente solubles apropiados para su uso en fertirriego son: nitrato de amonio, sulfato de potasio, nitrato de potasio, urea, monofosfato de amonio, monofosfato de potasio, etc.

Las ventajas de la fertirrigación, dosificación racional de los fertilizantes, ahorro considerable de agua, utilización de aguas incluso de mala calidad, nutrición del cultivo optimizada y aumento en rendimientos y calidad de frutos, control de la contaminación, mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes, adaptación de los fertilizantes a un cultivo,

sustrato, agua de riego y condiciones climáticas determinadas, durante todos y cada uno de los días del ciclo.

Los inconvenientes del fertirriego, coste inicial de las infraestructuras, no obstante, la duración del cabezal de riego puede amortizarlo totalmente, obturación de los goteros y la necesidad del manejo por personal especializado.

5.2.5 *Acción sobre las plantas*

Algunas sustancias sean altamente tóxicas, como el boro del que basta la presencia de 0.5 mg/L para que sea perjudicial, quedando el agua inservible a la dosis de 2 mg/L; la acción sobre la planta de las sales disueltas, principalmente el cloruro sódico, es debida a que cuanto mayor sea la concentración aumenta más rápido la presión osmótica de la disolución y, por tanto, disminuye la cantidad de agua que penetra en la planta por ósmosis, a través de los pelos radicales; esta resistencia del agua a penetrar es vencida por la fuerza de succión de las raíces, que varía de 5 a 35 atmósferas en las plantas cultivadas, pero a medida que crece la salinidad del suelo disminuye el agua absorbida y la planta se marchita, es decir, que el efecto de la sal en el suelo, con respecto a la planta, es el de disminuir el agua útil y aumentar el agua inerte.

La fuerza de succión de las raíces no es la misma para las diferentes especies vegetales, ni todas se comportan de igual modo respecto a las aguas salinas, de aquí que haya plantas más resistentes que otras a la salinidad; las más resistentes se denomina halófitas y mesófilas las menos resistentes, que son la mayoría de las plantas herbáceas, y leñosas las plantas halófitas pueden resistir hasta 5 g/L de cloruro de sodio y las mesófilas hasta 2 y aún menos; dentro de estos límites y solo en términos generales, puede establecerse la siguiente escala:

Hasta 5 g/L puede resistir la palmera datilera y algunos tamarindos entre las plantas leñosas y entre las herbáceas la remolacha azucarera, la remolacha forrajera, el algodón, los nabos, etc. Entre las plantas espontáneas, las del grupo de las solanáceas.

Hasta 3 g/L resiste, con dificultad, la higuera, la vid y entre los cultivos herbáceos, la col, la alcachofa, la patata, el tomate, la zanahoria, el pimiento, la cebolla, la cebada, el maíz.

Hasta 2 g/L puede resistir los cultivos mesófilos y entre ellos los agrios en general o los frutales de hueso y la mayor parte de las plantas herbáceas.

5.2.6 *Acción sobre el suelo*

La acción de las aguas salinas sobre el suelo reviste aún mayor gravedad que la que ejerce sobre las plantas; sobre esta puede ciertamente, destruir la cosecha, pero la acción continuada sobre el suelo puede llegar a hacerlo totalmente improductivo.

Suponiendo que se emplee en el riego un volumen anual de agua salina de 6.000 m^3 , aunque no contenga más de 2 g/L de NaCl , que resiste en general las plantas mesófilas, implicaría una aportación anual de 12 tn/ha de sal y se comprende que si continua el riego con esta agua, en breve plazo quedaría el suelo tan cargado de sales que imposibilitaría todo el cultivo.

Rara vez, coincide la concentración de sales en el suelo con la del agua utilizada para el riego, pudiendo exceder la primera de la segunda de dos a cien veces sin que en ningún caso sea menor.

Estos suelos salinos presentan en la superficie eflorescencias blanquecinas de sales solubles, principalmente cloruro y sulfato sódico, de donde se deriva en el nombre vulgar de álcali blanco con que se conoce.

Como puede observarse, si el contenido de sales es mayor de 2 g/L o la conductividad eléctrica mayor de 3 (dS/m) ,

los problemas de salinidad pueden ser muy grave a menos que se establezcan una serie de tratamientos como lavado de sales frecuentemente o cambio de cultivo por otros que resistan mejor las condiciones de salinidad.

Las aguas duras, sin embargo, pueden ser útiles para el riego, si bien su calidad está en relación con las tierras que hayan de regarse, las aguas dulces provistas de bicarbonato cálcico son excelentes en terrenos ácidos; y aguas duras, ricas en sales cálcicas, son un buen correctivo de las tierras arcillosas.

Las *aguas salobres*, se denominan salinas cuando llevan en disolución predominante cloruro y sulfato sódico, de una gran solubilidad y que cuando pasan de cierto límite las hace perjudiciales y hasta inapropiadas para el riego y se conocen con el nombre de *aguas alcalinas*, cuando el sodio se presenta en forma de carbonato, mucho más perjudicial.

Las sales sódicas no suelen encontrarse aisladas, sino que van acompañadas generalmente de otras sales, principalmente magnésicas o cálcicas, en proporciones variables.

En cuanto a las materias que el agua puede llevar en suspensión, son de muy diversa naturaleza; con frecuencia

arrastran las aguas; arcillas, limos, y arena, caliza, oxido de hierro, materiales orgánicos, etc.

5.2.7 Toxicidad

La presencia de determinadas sales en el suelo, incluso a bajas concentraciones, puede provocar efectos tóxicos en las plantas. El sodio, boro y cloruro son las que, en general, ocasionan más problemas para los cultivos: Un exceso de sodio produce sequedad o quemaduras en los bordes exteriores de las hojas.

El exceso de cloruro suele manifestarse con quemaduras en la punta de las hojas y avanzar por los bordes.

Los síntomas de toxicidad por boro suelen manifestarse por un amarillamiento de la punta de las hojas más antiguas que va desplazándose hasta el centro de las hojas entre los nervios y sequedad en algunas otras zonas de la planta.

Para solventar los problemas de toxicidad se recurre a tratamientos similares a los indicados para la salinidad, lavado de sales, enmiendas de calcio si la toxicidad es debida al sodio, utilizar cultivos más tolerantes.

De aquí que para utilizar el riego de aguas salinas sea preciso: Emplear agua en exceso para que laven el espesor de tierra ocupado por las raíces, ha de estudiarse el modo de dar

salida a esta agua cargada de sales, con lo que el problema se convierte en un estudio de drenaje.

Cuando el pH de los suelos está comprendido entre 7.5 y 8 suele indicar la existencia de carbonatos de calcio y cuando es superior a 8 se debe generalmente al sodio. En los suelos salinos de que nos ocupamos, en que el sodio está en forma de cloruro y sulfato, rara vez pasa el pH de 8.5

5.2.8 Problemas de infiltración

Cuando la velocidad de infiltración es muy baja, puede ocurrir que el agua infiltrada no baste para cubrir las necesidades del cultivo. Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura: los agregados del suelo se dispersan en partículas pequeñas que tapan o sellan los poros y evitan que el agua pueda circular e infiltrarse con facilidad.

El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio, por lo que para evaluar realmente el problema que puede generar un exceso de sodio hay que saber también la cantidad de calcio y magnesio que hay en el suelo.

Por eso, para evaluar los problemas de infiltración se ha establecido el índice RAS (*Relación de absorción de sodio*),

expresado en meq/L. Así a partir del RAS del agua de riego y de la salinidad podemos estimar la reducción de infiltración.

Riesgos de obstrucciones, los sólidos en suspensión, las sustancias disueltas o los microorganismos contenidos en el agua de riego pueden producir obstrucciones en los emisores de riego localizado. En la siguiente tabla se recoge el riesgo de obstrucción en función de diversas concentraciones.

Tabla 5 - 5. Riesgo de obstrucción en función de diversas concentraciones

Elementos en mg/L	Riesgo de obstrucciones		
	Ninguno	Moderado	Grave
Sólidos en suspensión	< 50	50 - 100	> 100
Sólidos solubles	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganeso	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Hierro	< 0.1	0.1 - 1.5	> 1.5
Ácido Sulfhídrico	< 0.5	0.5 - 2	> 2
pH	< 7	6 - 8	> 8

Fuente: CALDERÓN Felipe, 1986.

Análisis del agua, a partir de los datos de C.E y RAS se establece una clasificación del agua, según las normas de Riverside, que es un método fundamental para evaluar la calidad del agua de riego.

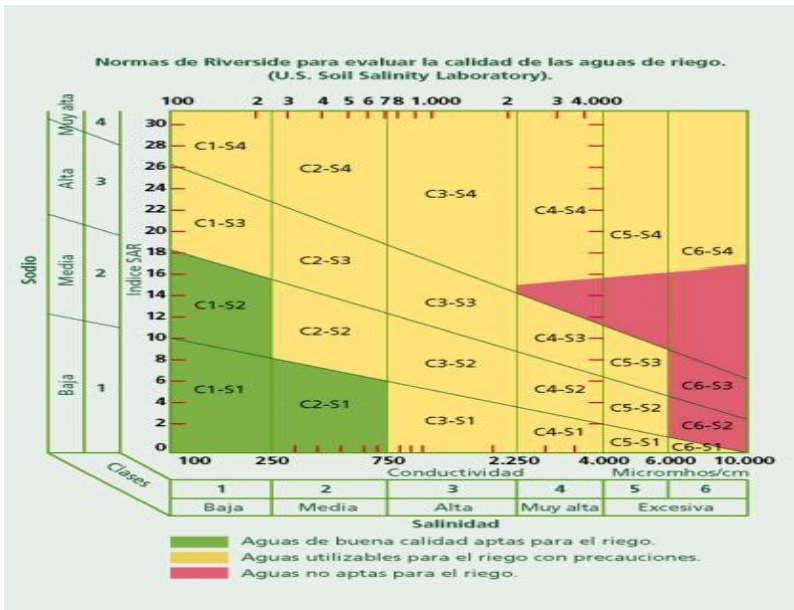


Figura 1 - 5. Normas para evaluar la calidad del agua de riego.

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

Tabla 6 - 5. Clasificación del agua para riego, según Normas Riverside

Tipos	Calidad y Normas de Uso
C1	<i>Agua de baja salinidad</i> , apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad
C2	<i>Agua de salinidad media</i> , apta para el riego. En cierto caso puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad
C3	<i>Agua de salinidad alta</i> que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando

	cultivos totalmente tolerantes a la salinidad
C4	<i>Agua de salinidad muy alta</i> en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizar cultivos muy tolerantes a la salinidad
C5	<i>Agua de salinidad excesiva</i> , sólo debe emplearse en caso muy contados.
C6	<i>Agua de salinidad excesiva</i> , no aconsejable para riego.
S1	<i>Agua con bajo contenido en sodio</i> , apta para el riego en la mayoría de los casos. Pueden presentar problemas en cultivos muy sensibles al sodio
S2	<i>Agua con contenido medio de sodio</i> , y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo, corregir en caso necesario
S3	<i>Agua con alto contenido de sodio</i> y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego,
S4	<i>Agua con contenido muy alto de sodio</i> . No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomar todas las precauciones.

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

5.3 Soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas resultan de una combinación precisa de diferentes sales minerales que contienen todos los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo diluidas en agua, la cual se aplica directamente a las raíces de diferente forma, según el método de cultivo que se adopte:

Humedeciendo el sustrato en el que están ubicadas;

Colocando las raíces directamente en el líquido de la solución;

Aplicando en forma directa la solución sobre las raíces a manera de espray, con un pulverizador, y

Mediante los sistemas de riego como: goteo, aspersiones, inundaciones o gravedad denominado ferti-riego.

5.3.1 *Formulación de los nutrientes*

Las soluciones deberán contener todos los elementos necesarios para las plantas, en las debidas condiciones y en las dosis convenientes, debiendo cumplir junto a la misión de los elementos nutritivos, lo que efectúan en el suelo los microorganismos y los coloides, por tal razón, en una solución nutritiva deben estar presentes:

Por lo menos tres elementos macronutrientes principales en el medio nutritivo en forma de cationes, ellos son: potasio, calcio y magnesio.

Los tres aniones principales macronutrientes son: nitratos, fosfatos y sulfatos. Todos los elementos macronutrientes deben por lo tanto ser suministrados por tres sales, por ejemplo nitrato de potasio, fosfato de calcio y sulfato de magnesio.

En adición a los elementos principales mayores o macronutrientes, una concentración apropiada de elementos menores debe ser suministrada a la solución a bajos pero adecuados niveles, y el pH debe ser mantenido en unos rangos deseables y permitidos.

Es necesario destacar, que en toda formulación es imposible lograr una solución nutricional óptima o adecuada, es decir, que cubran exactamente todos los requerimientos nutricionales de la planta, en las diversas condiciones ambientales y en los diferentes estados de desarrollo o ciclos fenológicos, puesto que, dependerá además de una serie de variables imposibles de controlar por el hombre, tales como:

- Temperatura y humedad,
- Duración del día e intensidad de la luz,
- Especie de planta y las variedades,

- Estado fenológico o de desarrollo y edad de la planta, etc.

5.3.2 *Requerimientos nutrimentales para preparar soluciones nutritivas.*

En el cuadro 7 - 5, se indican los requerimientos nutrimentales, para preparar soluciones nutritivas para diferentes cultivos, en los que se considera los valores mínimos y máximos.

Tabla 7 - 5. Nutrimientos recomendados para una solución nutritiva, en ppm.

Elemento	Rango (mín. - máx)	Óptimo
Nitrógeno	150 - 1000	250
Calcio	100 - 500	250
Magnesio	50 - 100	75
Fósforo	50 - 100	35
Potasio	100 - 400	300
Azufre	200 - 1000	400
Cobre	0.1 - 0.5	0.5
Boro	2 - 10	1.0
Fierro	2 - 10	5.0
Manganeso	0.5 - 5.0	2.0
Molibdeno	0.01 - 0.05	0.02
Zinc	0.5 - 1.0	0.5

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

5.3.3 Preparación de la solución nutritiva

El procedimiento empleado en una solución nutritiva es el siguiente:

Elegir o establecer las fuentes.

Conocer el grado o concentración de las fuentes

Establecer la concentración deseada o el requerimiento del cultivo o planta.

Dosificar primero los elementos limitantes

Repetir el procedimiento anterior, hasta ir hallando la concentración deseada

5.3.4 Control de la solución nutritiva

Como resultado de las diferencias de absorción de los diversos elementos, la composición de la solución de nutrientes cambiará continuamente siendo necesario ejercer un control sobre ella. Así:

Temperatura, si la solución es muy fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también. Esto tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado. También existen problemas cuando la temperatura es muy alta y esto afecta la absorción mineral. El mejor rango de temperatura está entre 18 y 25°C para la mayoría de cultivos.

Solubilidad, capacidad de las sales para disolverse en agua en un determinado tiempo; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de ésta se disolverá en el agua. En la preparación de fertilizantes líquidos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas.

pH, la planta se comporta mejor si la solución es ligeramente ácida, esto significa un pH entre 5 y 7. Fuera de este rango algunos minerales, aunque estén presentes en la solución, no estarán disponibles para ser absorbidos por las raíces. Si es necesario, se corrige usando soluciones acidificantes o alcalinizantes. (NaOH para aumentar el pH, o HCl para disminuirlo)

Conductividad eléctrica, la concentración de la solución puede deducirse midiendo la conductividad eléctrica de la misma. Las sales nutritivas conducen la corriente eléctrica y así a mayor cantidad de sales nutritivas habrá mayor conductividad eléctrica.

Cuando el clima es seco, soleado y con viento la planta consume más agua que cuando el clima es húmedo y sombrío. Así pues, la concentración de la solución deberá estar acorde con las condiciones del clima.

Dureza, el agua dura presenta problemas cuando se le utiliza para preparar soluciones nutritivas; para empezar, los niveles de calcio y magnesio son muy elevados para la planta.

Si se utiliza una concentración normal de nutrientes con agua dura, los niveles de calcio y magnesio serán tan altos que el nutriente estará des balanceado. Otro problema adicional con el bicarbonato es que es alcalino y cuando se encuentra en la solución nutritiva, el pH se incrementará por encima del rango recomendado.

5.3.5 Solución nutritiva preparada a partir de líquidos concentrados

Nutriponic, se trata de una formulación de solución completa a base de elementos mayores y menores, empleada en cultivos hidropónicos y en fertirrigación (tabla 53).

Sus fuentes a base de sales minerales de nitratos y elementos menores quelatados la hace idónea para riego de plantas de producción de esquejes (*plantas madres*) y en bancos de enraizamiento al igual que plantas de producción. Dosis recomendadas 5 L/m³.

Tabla 8 - 5. Composición Nutriponic.

Composición garantizada	Concentración
Macro-nutrientes	g/L
Nitrógeno Nítrico (N-NO ₃)	40.3
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₄)	4.0

Fósforo (P_2O_5)	20.4
Potasio (K_2O)	50.6
Calcio (Ca)	28.8
Magnesio (Mg)	11.4
Azufre (S)	1.0
Micro-nutrientes	mg/L
Hierro (Fe)	1120
Manganeso (Mn)	112
Cobre (Cu)	12.0
Zinc (Zn)	26.4
Boro (B)	106
Molibdeno (Mo)	1.2
Cobalto (Co)	0.36

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

Ventajas de los cultivos que reciben soluciones nutritivas, la solución nutritiva es aquella solución acuosa con una concentración conocida de nutrientes disueltos y se utiliza en la mayoría de los sistemas de producción agrícola, estas no ocasionan estrés hídrico (punto de marchitez) en la planta, disponen de humedad constante y controlada.

La cantidad de nutrientes que requieren las plantas depende de la especie, variedad, de la fenología y condiciones ambientales. En sistemas de producción sobre el suelo u otro material sólido, la solución nutritiva debe disponer los nutrientes faltantes que requiere el cultivo para su óptimo desarrollo. Los fertilizantes no se desperdician y no quedan en

el ambiente, además de que se pueden utilizar cantidades muy pequeñas.

Se controla muy bien la concentración de los nutrientes, el pH, la conductividad eléctrica de acuerdo al tipo de planta que se cultive. Un defecto en la concentración de nutrientes, se corrige de una manera rápida o sencilla.

Tabla 9 - 5. Fuentes utilizadas

Elemento	Fuente	Formula	Composición %	Observación
Nitrógeno	Amoniaco, Nitrato de Calcio Ácido Nítrico Nitrato de Amonio Nitrato de Potasio Urea	NH. OH Ca (NO) ₁ HNO ₃ NH ₄ NO ₃ KNO ₃ CO(NH ₂) ₂	N-NO ₁ : 85 N-NO ₁ 12, Ca:20 N-NH.: 13 - 15 N-NO ₃ : 34 N-NO ₃ : 13, K: 36.6 N Org: 46, C-CO ₁ 20	Urea, sal altamente soluble y pura Altamente soluble muy pura
Fósforo	Fosfato mono Amoniaco; Fosfato di Amoniaco	NH.H ₃ PO. (PH)HPO	N 11, P ₂ O ₅ 62 NH ₄ 21, P ₂ O ₅ 53	
	Fosfato Mono potásico Ácido Fosfórico	KH ₃ PO ₄ H ₃ PO ₄	P ₂ O ₅ 55, K ₂ O 34 P ₂ O ₅ 1040 g/L 2	Muy bueno para corregir deficiencias de P y K
Potasio	Cloruro de Potasio Nitrato de Potasio	KCl KNO ₃	K ₂ O 60, Cl 48 N-NO ₃ 13, K ₂ O 44	Solubilidad muy baja, disolver en agua caliente

El suelo y los abonos en la nutrición vegetal

	Sulfato de Potasio Potasa Cáustica	K_2SO_4 . K.O.H	K_2O 50, SO_4 51 K: 60	
Calcio	Sulfato de Calcio Nitrato de Calcio	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ $Ca(NO_3)_2$	17 - 28	Insoluble no útil en soluciones nutritivas
Magnesio	Nitrato de Magnesio Sulfato de Magnesio	$Mg(NO_3)_2$ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Mg 53 g/L N Mg 9, SO_4 12	Excelente, sal pura, barato, altamente soluble.
Azufre	Sulfato de Amonio	$(NH_4)_2SO_4$		
Hierro	Quelato de Hierro	Terasol Fe	Fe: 20	Lo mejor en hierro
Manganeso	Sulfato de Manganeso	$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	Mn 28	
Cobre	Sulfato de Cobre Nitrato de Cobre	$CoSO_4 \cdot 5H_2O$ $Cu(NO_3)_2$	Cu: 25 Cu: 300 gr/L	
Zinc	Sulfato de Zinc	$ZnSO_4$	Zn: 22	
Boro	Ácido Bórico	H_3BO_3	B: 16.4	Lo mejor en boro, disolver/agua caliente.
Molibdeno	Molibdato de Amonio	$(NH_4)_2MoO_4$	Mo: 67	
Cobalto	Sulfato de Cobalto	$CoSO_4 \cdot 5H_2O$	20	
Sílice	Silicato de Sodio	Na_2SiO_3	Si: 30, Na: 25	

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

5.4 Hidroponía

La hidroponía se origina con la necesidad de producir alimentos por parte de poblaciones que habitan en regiones sin tierras fértiles para cultivar, pero que contaban con fuentes de agua suficientes, de tal manera que la hidroponía es muy antigua.

Hubo civilizaciones enteras que la usaron como medio de subsistencia y existen datos históricos que sustentan la afirmación de que los cultivos hidropónicos se conocían en diversas localizaciones geográficas.

La hidroponía se refiere al cultivo de plantas sin usar tierra, nutridas por soluciones de agua y sales minerales en lugar de utilizar los métodos tradicionales de cultivo.

También se dice, que es el cultivo de las plantas manteniendo sus raíces continua o intermitentemente inmersas en una solución acuosa o sustrato que contienen los elementos minerales esenciales.

5.4.1 *Proceso hidropónico*

De los cinco requisitos esenciales para que la planta pueda crecer bien, el proceso hidropónico provee normalmente tres que son el agua, luz y aire; pero las sales minerales y el sostén para las raíces, deben proporcionarse como suplemento.

Por otro lado, en los cultivos hidropónicos la adición de elementos nutritivos forma parte de un procedimiento de control y balance, que se lo hace a través de formulas cuidadosamente preparadas que tendrían un efecto inmediato porque del sustrato a la solución acuosa serían absorbidos sin demora por los pelos radiculares.

5.4.1.1 Métodos de la hidroponía

De sustrato sólido, se llama así porque usa sustratos para sembrar o trasplante de las plantas. Este funciona para todas las especies de verduras y vegetales.

De raíz flotante, se llama así porque las plantas al ser trasplantadas del semillero a este método, la raíz queda flotando en el agua. Sirve para sembrar lechugas, apios, albahaca, acelga y berro.

5.4.1.2 Elementos básicos en el proceso hidropónico

El sustrato, entendemos por sustrato un medio sólido inerte, que tiene una doble función; La primera anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración.

La segunda contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva, es la base del cultivo hidropónico.

5.4.2 Propiedades de los sustratos

5.4.2.1 Propiedades físicas,

Un sustrato hidropónico, debe reunir ciertas características, obviamente algunas derivan de otras, pero a manera de ilustración se colocan por separado.

Ser liviano, el peso del sustrato determina, obviamente, la calidad del montaje hidropónico, los tipos de camas o canales, los soportes para manejar columnas, y en general el valor de la infraestructura al afectar el tipo de construcción.

Retener buena humedad, la retención de agua por el sustrato (20 – 30 % en volumen), en cantidades adecuadas y de forma homogénea, determina la posibilidad a la planta, de utilizarla como vehículo para sus funciones metabólicas, la retención es función de la y granulometría del sustrato y de la porosidad de las partículas que lo componen.

No debe encharcarse, es una complementación del anterior. La homogenización de la humedad, debe hacerse sin que se presenten encharcamiento que limiten el crecimiento radicular. Es un factor relacionado directamente con la granulometría del sustrato, haciéndose necesaria una gradación adecuada, para facilitar la evacuación de excesos.

Permitir buena aireación, en hidroponía se evidencia la importancia de la absorción de oxígeno a través de las raíces,

siendo necesario un correcto suministro a través del sustrato; al parecer la oxigenación y el adecuado espacio para el desarrollo radicular, son elementos muy importantes como factores de producción de primer orden dentro de la hidroponía.

Estabilidad física, la estabilidad física será la que determine si se mantiene con el tiempo una porosidad correcta, dependiendo de la velocidad de disgregación y descomposición del material. Esta deberá ser lo más lenta posible.

Alta porosidad, esta debe ser superior al 60%.

La granulación, la dimensión de las pequeñas partículas de las que está compuesto el sustrato, ha de ser de tal manera que permita la circulación de la solución nutritiva y del aire.

Un sustrato excesivamente fino se vuelve compacto, en especial cuando está húmedo, e impide el paso del aire. En general la experiencia señala como mejores aquellos sustratos que permiten la presencia del 15 al 35 % de aire y del 20 al 60 % de agua en relación con el volumen total.

5.4.2.2 *Propiedades químicas y biológicas*

Baja conductividad eléctrica, marca claramente la mayor o menor salinidad del sustrato por lo que debe ser lo más bajo posible.

pH, los valores adecuados oscilan entre 5.0 - 5.5 y 6.0 y los requeridos para cada tipo de cultivo. Valores bajos

requieren de un encalado para subirlo, en el caso contrario puede utilizarse sulfato ferroso para bajarlo.

Capacidad de intercambio catiónico, nula o muy baja, debido a que el sustrato puede absorber o suministrar elementos nutritivos que alteraran la solución nutritiva.

Ser inerte biológicamente, el sustrato hidropónico es a diferencia del suelo, un medio ausente de toda actividad biológica, en este sentido, cualquier presencia de insectos o patógenos, tienen un carácter explosivo, ante la total ausencia de controles naturales.

5.4.2.3 *Propiedades deseables*

Debe estar disponible, esta es una condición lógica, pero a veces no tomada en cuenta, generalmente el sustrato ideal, no está disponible y olvidamos recursos de la región que eventualmente puedan reemplazarlo.

De bajo costo, generalmente, este factor determina, antes que otras condiciones, el sustrato a utilizar y usualmente el principal factor de costos es el transporte, lo cual nos lleva a analizar, dentro de las posibilidades y las condiciones del sitio de cultivo hidropónico, cuál es la escala de costos que implica uno u otro sustrato.

5.4.3 *Clasificación de los sustratos*

Tabla 10 - 5. Clasificación de los sustratos.

Sustrato orgánico	Sustrato inorgánico
Cascarilla de arroz	Pumita o pomina
Cortezas de madera	Arena de río
Fibra de coco	Cascajo
Aserrín	Espuma de poliuretano
	Cenizas

Fuente. Manual de Cultivos Hidropónicos, 1997

5.4.4 *El agua de riego en el cultivo hidropónico*

La calidad del agua de riego es uno de los factores que más nos puede condicionar un cultivo hidropónico. El sistema de riego más extendido, riego por goteo, permite la utilización de aguas de mala calidad que serían inutilizables bajo otros sistemas de riego como aspersión o inundación.

Ahora bien, la frecuente presencia de elementos tóxicos para las plantas como sodio, cloruros o boro en cantidades muy altas nos condicionan el tipo de cultivo y el manejo, del mismo en cuanto a nutrición, riego y volumen de drenaje.

La cantidad de agua a adicionar al cultivo dependerá de los requerimientos de este y se debe procurar mantener el sustrato húmedo por lo que en algunos casos se recomienda regar todos los días.

5.4.5 *Soluciones nutritivas*

Las plantas sanas requieren un gran suministro de alimentos y cuando éstos son deficientes o no balanceados, no crecen o lo hacen muy lentamente.

Lo esencial en el trabajo hidropónico es asegurarse de que los cultivos reciban la cantidad óptima de nutrientes en las proporciones justas durante su vida útil.

Las sales, minerales o fertilizantes son las que proveerán los elementos nutritivos esenciales para la alimentación de las plantas.

Cuando una mezcla o fórmula, de productos químicos está correctamente balanceada y se disuelve en la cantidad de agua que le corresponde, dará una fórmula nutritiva o solución capaz de alimentar y mantener en crecimiento continuo todo un cultivo.

Por supuesto deberá tenerse cuidado de no incluir en una fórmula elementos incompatibles o que pudieren producir efectos; nocivos en las plantas ya que en la hidroponía a diferencia de los cultivos en el suelo, este tipo de respuestas es inmediata.

Tabla 11 - 5. Solución nutritiva primaria de uso común.

Sal	Lb /50 galones	Gramos/10 L
Nitrato de Potasio (KNO ₃)	21	503

Fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4)	12	288
Sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	21	503
Concentrado de micronutrientes	5 galones	1000 ml

Fuente: Manual de fertilizantes para horticultura, 2003

Tabla 12 - 5. Concentrado de micro nutrientes de uso común.

Sal	Gramos/50 galones	Gramos/10 L
Ácido bórico (H_3BO)	54	2,8
Sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	28	1,5
Sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	4	0,2
Sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	1	0.05
Ácido molibdico ($\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	0.05	0.03

Fuente: Manual de fertilizantes para horticultura, 2003

5.4.6 *Ventajas de la hidroponía,*

Son consideradas en los campos productivos, por lo que:

- No dependen de las estaciones de forma estricta debido a que se puede hacer en invernaderos; no dependen de la calidad de los suelos del área geográfica en cuestión;
- Se puede controlar la calidad y cantidad de los nutrientes de forma más objetiva;
- Permite el control de plagas, parásitos, bacterias, hongos y virus;
- Permite el mejor uso del agua porque se recicla;
- Permite la disminución de agentes tóxicos; no usa maquinarias pesadas;
- Se controla el pH de la solución nutritiva, según los requerimientos óptimos del cultivo;
- Puede ser altamente automatizada, reduciendo el trabajo;
- Puede protegerse de los efectos del clima;
- Las frutas y vegetales tienden a crecer de forma regular (todos con el mismo promedio de tamaño) sin que haya parches de tierra de mejor o peor calidad porque no dependen de la tierra sino de las soluciones y del sustrato;

- Permite implementar cultivos en zonas urbanas y suburbanas (incluso en patios); no requieren grandes extensiones de tierra.

5.4.7 *Desventajas de la hidroponía*

- La principal es que son de inversiones altas y requieren de mayor conocimiento técnico,
- Riesgo de infecciones, demandan mayor frecuencia de riego,
- Dependencia de sustratos que en ocasiones no son locales sino importados,
- No debemos olvidar que el suelo tiene capacidad amortiguadora, pero con los sustratos un error se paga muy caro.



Figura 1 - 6. Cultivos hidropónicos

BIBLIOGRAFÍA

Textos

- BIDWELL, R, G, S (1976); Fisiología Vegetal. A: G: T Editor, México. DAVIES.P. J (1995).
- BRECHLT, A. (2004). Manejo ecológico del suelo. República Dominicana: Red de plaguicidas y sus alternativas para América Latina.
- CALDERÓN Felipe, 1986. El cultivo hidropónico, Manual Práctico Coljap S.A Editores Bogotá - Colombia Pág. 34 – 35
- DOMÍNGUEZ A. Tratado de fertilización, 2da Edición Ediciones mundo prensa. Madrid (1989).
- DOMINGUEZ, V.A. (1977) Tratado de Fertilización. 3ra Edición Mundi Prensa Madrid.
- DOUGLAS, James 1972 Hidroponía como cultivar sin tierra. Segunda Edición Editorial El Ateneo Buenos Aires Argentina Pág. 1 – 13 - 37.
- Goyes Campos, S., & Monserrate Gómez, P. (2018). EL IMPACTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA. IMPORTANCIA PARA EL ESTUDIANTE DE AGRONOMÍA. Opuntia Brava, 9(2), 104-111. Recuperado a partir de <http://200.14.53.83/index.php/opuntiabrava/article/view/152>
- INIAP (2009). Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino. Boletín técnico No. 127. Quito – Ecuador.
- INTAGRI. 2017. Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105. Artículos Técnicos de

- INTAGRI. México. 5 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura> - Esta información es propiedad intelectual de INTAGRI S.C., Intagri se reserva el derecho de su publicación y reproducción total o parcial.
- LUDWICK, ALBERT E. 2003. Manual de fertilizantes para horticultura. Editor Limusa. México. 297 pág.
- Madrid Tamayo, A. (2013). La agricultura orgánica y la agricultura tradicional: una alternativa intercultural. Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales, (4), 24-26. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.4.2009.844>
- MALAVOLTA. E., G.C. Vittie S.A. De Oliveira (1989) Avalicáo do Estado Nutricional das Plantas. Principios y Aplicacões. Potafos. SP.
- MANUAL DE FERTILIZANTES para cultivos de alto rendimiento. Limusa Noriega editores. México. Primera edición. Pág. 37, 135.
- MOLINA E (2003) “Fertilizantes; Características Y manejo Curso de Capacitación” convenio conjunto entre las Asociaciones de Suelos de Costa Rica y Canadá. Auspiciado por AIC (Agricultural Institute of Canada) pp. 89 - 95.
- MOYA, j. Localizado y Fertirrigación. Segunda Edición Mundi Prensa, Madrid Barcelona 1998, Pág. (85 - 89) (315 - 322).
- ORTEGA, P. 2012 Producción de bokashi sólido y líquido. Monografía. Cuenca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca.

- PENNINGSFELD, f. KURZMANN, P. “Cultivos Hidropónicos y en Turba” Edición mundi prensa.
- PONCE M. (2006) “Características Y Uso De Los Fertilizantes “CORPORACIÓN MISTI S.A. Pág. 26 - 31.
- SALISBURY, B.F. y C.W. Ross (1992) Fisiología Vegetal Editorial Iberoamericana México.
- SHUBERT, M. “Manual Práctico de hidrocultivo” Ediciones Omega. Barcelona.
- SOIL IMPROVEMENT COMMITTEE CALIFORNIA FERTILIZER ASSOCIATION, 2003 Manual de Fertilizantes para Horticultura. Limusa Noriega México. México DF Pág. 211 - 217.
- SUQUILANDA MANUEL. 2017. Manejo agroecológico de suelos. Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP). Medios Públicos EP. Primera edición. Quito – Ecuador.
- SUQUILANDA, M. 1996. Agricultura Orgánica. Alternativa tecnológica del futuro. Quito: Fundagro / Abya-Yala.
- TAIZ, L. and ZEIGER, E., 1998 “Plant Physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Inc Publishers)
- TISDALE, S.L. W., NELSON, J.D. Beaton and J.L. Havlin (1993). Soil Fertility and Fertilizers, <fifth Edition. Ed. Mc Millán. Ontario.
- VARNERO, M.T. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.

2. **Internet**

1. <http://www.drcalderonlabs.com/Hidropónicos/Soluciones1.html>

2. http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buen_aires/hidroponia/variables_y_soluciones_nutritivas.htm.
3. <http://www.infojardin.Com/>
4. [http://www.2004 AgroInformación.com](http://www.2004AgroInformación.com). All Rights Reserved
5. http://www.elmejorguia.com/hidroponía/Que_es_hidroponía.htm.
6. http://www.elmejorguis.com/hidroponía/Que_es_hidroponía.htm 2001 Felipe Calderón Sáenz y Francisco Cevallos.
7. www.infoagro.com 2005 Antonio L. Alarcón Vera.
8. http://www.tecnociencia.es/especiales/cultivos_hidroponicos/3.htm 2003
9. [www.,infoAgro.com/fertilizaciónenhortalizas//.com](http://www.infoAgro.com/fertilizaciónenhortalizas//.com)
10. <http://www.andoycia.com.ar/archivo/fftrigo/>
11. http://es.wikipedia.org/wiki/Fertilizantes_foliar
12. <http://www.fertilizandocom/articulos/Aplicación%20Foliar%20de%20>
13. <http://www.fertilizando.com/artículos/Aplicación%20Foliar%20de%20>
14. [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/C0C776C4ADCF69AA00768F6A/\\$file/Aplicaci%20B3n+foliar+de+nutrientes.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/C0C776C4ADCF69AA00768F6A/$file/Aplicaci%20B3n+foliar+de+nutrientes.pdf)
15. <http://www.phcmexico.com.mx/phccultivos.html>
16. <http://www.technidea.com.ar/fertilización-foliar/fertilización-foliar.html>
17. www.chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art247-255.pdf

18. [www.ipni.net/,,/\\$webindex/C0C776C4ADCF69AA86256CAA00768F6A/\\$file/Aplicación+foliar+de+nutrientes, pdf.](http://www.ipni.net/,,/$webindex/C0C776C4ADCF69AA86256CAA00768F6A/$file/Aplicación+foliar+de+nutrientes.pdf)

SIMBOLOGÍA

Ca: Calcio

CaO: Óxido de calcio

CaCO₃: Carbonato de calcio

CIC: Capacidad de Intercambio catiónico

CO₂: Anhídrido de carbono

C/N: Relación carbono nitrógeno

°C: Grados centígrados

CIA: Capacidad de Intercambio Aniónica

Cmol/L: Centimoles por litro

cm: Centímetros

dS/m: Decisiemens por metro

eq/kg: Equivalente químico por kilogramo

EDTA: Ácido etileno di amino tetra acético

DTPA: Ácido di etileno tri amino penta acético

Eq: Equivalente químico

EM: Microorganismos eficientes

g/m³: Gramos por metro cúbico

g/Tn: Gramos por tonelada

HCl: Ácido clorhídrico

K: Potasio

Kg/ha: Kilogramo por hectárea

Kg: Kilogramo

K₂O: Óxido de potasio

L: Litro

Lb: Libras

L/m³: Litro por metro cúbico

Mg: Magnesio

MgO: Óxido de magnesio

Mmhos/cm: Mili mohos por centímetro

mS/cm: Mili siemens por centímetro

mg/kg: Mili gramos por kilogramo

mg/L: Miligramo por litro

Meq: Mili equivalente

Meq/100 g: Mili equivalente por 100 gramos

mmol/L: Mili moles por litro

mmol/kg: Mili moles por kilogramo

mol/m³: Mol por metro cúbico

m: metro

m²: metro cuadrado

m³: metro cúbico

n: valor a dimensional

N: Nitrógeno

Na: Sodio

NaOH: Hidróxido de sodio

NO₂: Di óxido de nitrógeno o nitrito

N - NO₃: Nitrógeno en forma de nitrato

N - NH₄: Nitrógeno en forma de ion amonio

NH₃: Amoníaco

%: Porcentaje

ppm: Partes por millón

P: Fósforo

P₂O₅: Penta óxido de fósforo

PO₄: Ión fosfato

pH: Potencial hidrógeno

SO₄: Ión sulfato

µg/ml: Micro gramos por mili litro

µmol/g: Micro mol por gramo

UF: Unidad fertilizante

+: Más

- : Menos

/ : División (por o para)

=: Igual

<: Menor que

>: Mayor que

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Abono orgánico Sustancia de origen animal o vegetal, que contiene uno o más elementos nutrientes, de lenta asimilación por la planta y que participa igualmente en el mantenimiento de la actividad microbiana del suelo.

Abono verde Cualquier clase de vegetación, espontánea o cultivada, que se entierra en verde, pero preferentemente al momento de iniciarse la floración, con el objeto de mejorar las condiciones generales del suelo. Los cultivos de especies leguminosas que se siembran con este propósito aportan una buena cantidad de nitrógeno al suelo.

Acción neutralizante Efecto producido por un fertilizante, capaz de corregir la acidez o alcalinidad de un suelo.

Acción posterior de un fertilizante, es el efecto a largo plazo de un aporte o una serie de aportes, de elementos nutrientes sobre la vegetación y los rendimientos de los cultivos en ese suelo. El efecto se valora a partir de un año después de la fecha de la última aportación y se debe a los vestigios de la misma que permanecen en el suelo.

Acidez libre Conjunto de ácidos, no neutralizados, presentes en un fertilizante.

Acidificación Fenómeno consistente en la aparición de un desequilibrio en el suelo que ocasiona la pérdida de cationes

(principalmente Ca^{++} y Mg^{++}), y produce la consiguiente disminución del pH. La acidificación se debe generalmente a: pérdida por lavado, extracción de las cosechas, adición de productos ácidos.

Ácido fosfórico El término ácido fosfórico indica P_2O_5 , según la adopción oficial e internacional actual. El fósforo se encuentra en los fertilizantes generalmente en forma de orto fosfato de calcio o amonio. El ácido orto fosfórico H_3PO_4 , es la forma más común del ácido fosfórico.

Acido fosfórico aprovechable Es la suma del ácido fosfórico en agua y del soluble en citrato. Los solubles en agua son de rápida acción, recomendados para cultivos de ciclo corto.

Acondicionadores Materiales que se agregan a los fertilizantes químicos para controlar la humedad libre y conservar su fluidez ayudando a evitar el aterronamiento y la formación de maqueta en el saco.

Acondicionador del suelo Producto corrector destinado a actuar favorablemente sobre la componente física de la fertilidad (estructura).

Adhesivo Sustancia que sirve para fijar o adherir el fertilizante a la superficie aplicada.

Aditivo Producto que se incorpora a un fertilizante para mejorar su comportamiento (conservación durante el almacenamiento, facilidad de aplicación, etc.).

Adyuvante Sustancia que actúa reforzando la eficacia del fertilizante ya sea mediante una acción biológica (por ejemplo: cultivos de Azotobacter), o sobre la vegetación (por ejemplo: auxinas). También se aplica este termino a las sustancias que se incorporan a los fertilizantes líquidos para mejorar su compatibilidad con productos diversos (herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc.).

Alimentos para las plantas Cualquier sustancia que contenga, en forma inmediatamente aprovechable, cantidades significativas de los nutrientes necesarios para un adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas. Así, materiales tales como las sales de amonio, superfosfato y sales de potasio, son alimentos para las plantas.

Almacenado de un fertilizante Operación consistente en poner en reversa una cantidad más o menos importante en un local.

Aluminio Aun cuando no existe plena confirmación, el aluminio parece ser un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, si bien las cantidades utilizadas son en suma pequeñas y, por contraste, la reserva de los suelos es

inagotable. Algunos suelos de reacción ácida contienen tanto aluminio en forma soluble que suelen ser tóxicos para el crecimiento de los vegetales.

Análisis de suelo Operación que tiene como objetivo conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Su resultado ayuda a establecer los planes de fertilización y seguir la evolución de la fertilidad del suelo en cuestión.

Apelmazamiento Fenómeno que consiste en la unión de partículas o gránulos de fertilizante, que constituye masas más o menos difíciles de separar.

Aplicación Término general que expresa la acción de aportar o incorporar los fertilizantes al suelo, a los cultivos, a los prados, etc.

Aplicación al voleo Método de fertilización que consiste en distribuir de modo uniforme la dosis previa sobre toda la superficie a fertilizar. Puede aplicarse manual o con máquina fertilizadora.

Aplicación de cobertera Aquella que se efectúa sobre un cultivo o una pradera en crecimiento.

Aplicación en hoyo Se efectúa en una superficie reducida, que será ocupada por una o varias plantas.

Aplicación entre líneas Distribución de fertilizantes entre líneas (de siembra o plantación), o bien entre líneas alternas.

Aplicación sobre la línea Se efectúa en una banda que recubre la línea de siembra.

Cuando se realice en forma manual se conoce como aplicación en chorro continuo al fondo del surco.

Aplicación localizada Se localiza en ciertas partes del campo.

Aplicación localizada en profundidad Aquella que además de la localización, tiene lugar un enterrado, ambas cosas se efectúan en una sola operación.

Aplicación por pie o planta Tiene lugar en árboles o plantas muy separadas entre sí.

Aplicación en zona de goteo o corona Distingue la aplicación en banda circular, alrededor del árbol. Generalmente la banda se separa algo del tronco y sobre pasa la proyección de la copa.

Aportación de fertilizantes Aplicación de fertilizantes que se expresa en kilogramos de fertilizantes por hectárea o en kilogramo de nutrientes puros por hectárea

Asimilable Condición requerida por un nutriente vegetal que le permite ser absorbido a través de las raíces.

Asimilación Incorporación de nutrientes a las sustancias celulares de los organismos vivos.

Carencia Insuficiencia de un elemento nutritivo en un vegetal. Puede ser visible u oculta (sub clínica). Una carencia también

puede ser por inducción de otros elementos, o por circunstancias físico-químicas diversas.

Carga Materia inactiva añadida a un fertilizante para ajustar su contenido en elementos fertilizantes.

Ciclo de los elementos nutritivos Secuencia completa de transformación de los elementos nutritivos hasta encontrarse de nuevo en su forma inicial. Suele incluir su paso por el suelo, plantas, animales, hombre, etc.

Compost Término con el que se le designa al abono orgánico precedente de la fermentación, más o menos controlada, de diversos residuos animales, vegetales o mixtos. Suelen proceder de residuos urbanos (basura) o industriales.

Corrección del suelo Alteración de las propiedades del suelo por la adición de sustancias como cal agrícola o fertilizantes, para tornarlo más adecuado para el crecimiento de las plantas.

Cultivo de abono verde Siembra de leguminosas o plantas herbáceas para ser enterradas como abono verde.

Degradación Término que define el fenómeno de la transformación de la materia orgánica a través de una secuencia, en la cual esta pierde paulatinamente su energía oxidable (C), se forma ácidos orgánicos (húmicos y fúlvicos) y finalmente se mineraliza sus elementos nutritivos.

Descalcificación Fenómeno consistente en la eliminación de cationes Ca^{2+} del complejo de cambio de un suelo y sustitución por cationes H^+ . También se aplica, en sentido amplio a cualquier pérdida de Ca^{2+} del suelo.

Desnitrificación Proceso resultante de la acción de microorganismos anaerobios sobre los nitratos, que se traduce en una pérdida de N libre. Tiene lugar en suelos inundados o poco aireados.

Dosis de aplicación Cantidad de unidades fertilizantes, aplicadas por unidad de superficie, generalmente una ha.

Dureza Resistencia de las partículas o gránulos de un fertilizante a ser disgregado.

Eficacia Término que expresa la capacidad de un fertilizante para dar el resultado esperado.

El coeficiente de eficacia Se mide normalmente por la relación existente entre la cantidad asimilada por el cultivo en un tiempo dado, respecto a la cantidad total aplicada.

Elemento esencial Elemento químico cuya presencia en el suelo es indispensable para el crecimiento normal de las plantas superiores. Los elementos o nutrientes esenciales son: Oxígeno, Magnesio, Boro, Cloro, Hierro, Cobre, Cinc, Manganeso y Molibdeno.

Elemento fertilizante Denominación con lo que se designa un elemento nutritivo suministrado al suelo, generalmente por medio de la aplicación de un fertilizante.

Elemento útil Elemento químico utilizable provechosamente por la planta, aun sin serie indispensable (por ejemplo, el sodio) o incluso elemento químico presente en la planta y absolutamente indispensable para la vida animal (por ejemplo, Cobalto, Flúor, Yodo, etc.).

Encalado o encalamiento Aportación de enmiendas cálcicas o cálcico-magnésicas a un suelo, para mejorar las condiciones físico-químicas: pH, estructura, calcio y magnesio.

Enmienda Es todo producto cuya acción fundamental es la de modificar las condiciones físico - químicas del suelo para mejorar su fertilidad. En general las enmiendas se aplican en cantidades importantes, del orden de varias toneladas por hectárea.

Enterrado Operación por la cual el fertilizante distribuido en la superficie del campo es incorporado (o mezclado) a toda la capa arable (por ejemplo mediante una labor de arado o cultivado).

Envase Recipiente cerrado que facilita el transporte y almacenamiento de un fertilizante (saco, funda, bidón).

Exigencias de un cultivo Cantidades totales de elementos fertilizantes tomados del suelo y puestos a disposición del conjunto de órganos vegetativos en el momento de su fase fisiológica más exigente.

Fertilización Aplicación de fertilizantes minerales u orgánicos a los cultivos. Cantidades de fertilizantes aplicados a un cultivo.

Fertilizante Es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir en determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Fijación Conjunto de fenómenos físicos (adsorción) y de reacciones químicas, más o menos reversibles, que permiten mantener los elementos nutritivos en el horizonte cultivado y evitar su pérdida en profundidad.

Fórmula La fórmula de un abono se expresa indicando el nombre de los fertilizantes simples que forman la mezcla del fertilizante y la cantidad de kilogramos que hay de cada uno de ellos en una tonelada. Por ejemplo, una fórmula para preparar el grado 12 - 6 - 6 es la siguiente: Sulfato de amonio 585 kg. Superfosfato simple 300 kg. Cloruro de potasio 100 kg y material inerte 15 kg.

Grado Es el porcentaje en peso de nutrimentos primarios contenidos en un fertilizante, expresado en enteros, separados por guiones, en el obligado siguiente orden: Nitrógeno (N), Fósforo asimilable (P_2O_5) y Potasio soluble (K_2O). Por ejemplo, el grado 10 – 30 - 10 indica que el fertilizante contiene 10 % N, 30 % P_2O_5 y 10 % K_2O .

Higroscopicidad Tendencia de ciertas sales u otras sustancias químicas (incluido los fertilizantes) a absorber agua o condensar humedad del aire.

Humedad Agua libre contenida en un fertilizante, expresada en % de su peso

Inhibidores Sustancias que tienen la propiedad de frenar o interrumpir la actividad de ciertos microorganismos del suelo, o de las enzimas que ellos producen (por ejemplo inhibidores de la nitrificación, inhibidor de ureasa).

Insoluble En fertilizante aplicado al P_2O_5 significa la parte del total que no es soluble en agua ni en solución neutra de citrato de amonio. Aplicado al K_2O y al nitrógeno, significa no soluble en agua.

Insumo Factor de producción que tiene un costo económico.

Lavado de nutrientes Pérdida de elementos nutritivos solubles arrastrados por el exceso de agua (agua de gravitación) a horizontes más profundos del suelo.

Muestra de Fertilizantes Pequeña cantidad de abono considerado como representativa de una cantidad mucho mayor y que se utiliza a efecto de análisis o control.

Muestra de suelo Pequeñas cantidades de tierra considerada como representativa de una cantidad mucho mayor y que se utiliza a efectos de análisis o control

Óptimo económico Dosis de fertilizante que permite obtener la máxima diferencia entre el valor de la cosecha y el costo de los factores de producción.

Orden de términos Significa el orden en que deben ir marcados en la etiqueta del envase del fertilizante los elementos fertilizantes primarios, esto es: primero Nitrógeno (N), segundo anhídrido fosfórico (P_2O_5) y tercero potasa (K_2O).

Plan de abonado Operación consistente en establecer para cada cultivo, o cada parcela, o para el conjunto de la explotación, un proyecto de fertilización que tenga en cuenta las características y circunstancias del caso.

ppm (partes por millón) Unidades de peso de determinado elemento o sustancia, por un millón de unidades de peso de suelo. En el caso de líquidos, una unidad de peso del soluto en un millón de partes en peso de la solución.

Pulverización Aplicación de fluido, mediante un aparato productor de finas gotas, dirigidas tanto al suelo como a la vegetación.

Purín Líquido procedente de la mezcla de orinas del ganado en estabulación en los líquidos que fluyen del estiércol.

Recomendación de fertilización Expresión formal de un consejo de abonado, a partir de una serie de datos previos que suelen incluir el análisis de suelo y las circunstancias en que se desarrolla el cultivo.

Reguladores de crecimiento Moléculas orgánicas que favorecen o inhiben los procesos de multiplicación celular (división, alargamiento, proliferación) de los vegetales.

Rentabilidad Relación que se establece entre el valor económico de una unidad fertilizante y el que supone el aumento de cosecha, que con ella se consigue.

Restitución de nutrientes Cantidades de elementos fertilizantes que permanecen en el suelo en forma orgánica (por ejemplo raíces) o son devueltos al mismo (por ejemplo en forma de estiércol), procedentes de un cultivo anterior

Riqueza Expresa la concentración de un fertilizante en elementos nutrientes dados normalmente en porcentaje (%) en peso del producto.

Solubilidad Cualidad de los abonos, que indica la proporción de sus elementos nutritivos susceptibles de ser disueltos en agua, o en un reactivo determinado.

Solución nutritiva Sistema por el cual los elementos nutritivos se aportan en disoluciones a ciertos cultivos generalmente forzados o en intervalos

Solución del suelo Componente hídrica del suelo, en la cual se encuentra disueltos los elementos nutritivos y a disposición de los cultivos.

Sustrato de cultivo Sustancia en principio desprovista de fertilidad, pero con excelentes condiciones para la retención de agua, drenaje, soporte del cultivo, etc. Normalmente se le añade abonos o bien soluciones nutritivas con el agua.

Unidad nutritiva Unidad convencional utilizada para cuantificar los elementos nutritivos.

Generalmente 1 kg de N, P_2O_5 ó K_2O , según la mayoría de legislaciones

Volatilización Pérdida de nitrógeno del suelo o de un fertilizante, por fuga directa a la atmósfera de nitrógeno N_2 , óxido de nitrógeno NO_2 ó amoníaco NH_3 .

DE LOS AUTORES

JOSÉ FRANKLIN ARCOS TORRES



Ingeniero Agrónomo, Magister en Proyectos de Desarrollo e Investigaciones Rurales obtenidas en la ESPOCH. Tengo 38 años de experiencia profesional, vinculados al campo privado y público; la mayoría en la actividad como Docente de Educación Media y como Docente de Educación Superior. Mi experiencia está en el área de Suelos como: Manejo de la fertilidad y la conservación de este recurso y nutrición vegetal. Tengo experiencia en el manejo y procesamiento de abonos orgánicos y su relación con la producción orgánica. En el campo de la investigación cumplí la función de director y asesor en tribunales de diferentes Tesis de Pregrado en la formación de Ingenieros Agrónomos e Ingenieros Forestales, también participé en proyectos de investigación afines y generé publicación de artículos científicos. En el campo administrativo desempeñé funciones como director de las carreras de Agronomía y Forestal, cumplí las funciones como Decano de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH.

JESSICA PAOLA ARCOS LOGROÑO



Ingeniera en Biotecnología Ambiental de la Escuela Superior de Chimborazo, Máster Universitario en Ciencias Agroambientales y Agroalimentarias de la Universidad Autónoma de Madrid, actualmente trabajo como Docente en la ESPOCH- Sede Morona Santiago en la carrera de Ingeniería Ambiental impartiendo las cátedras de Biodiversidad, Ecotoxicología e Hidrogeología entre otras, Directora del proyecto de vinculación “Proyecto para determinar la factibilidad para la creación de una empresa recicladora de plásticos y su comercialización como materia prima en la ciudad de Macas”. directora y asesora en diferentes Tesis de Pregrado en la formación de Ingenieros Ambientales, además cuenta con publicaciones en revistas indexadas en temas de ambiente.

MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA



Ingeniero Ambiental, Magister Universitario en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio, Estudiante de Doctorado de Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias. Coordinador del grupo de investigación IITMS. Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Director de los proyectos de Investigación “Estudio del Guarumbo (*Cecropia Peltata*) y la Malva Común (*Malva Sylvestris*), Aplicado a la Extracción Artesanal de Oro, Para Reducir la Contaminación de Mercurio y Cianuro, en la Provincia de Morona Santiago” y “Caracterización y gestión de los sistemas biofísicos de las comunidades Warints y Yawi para la generación de cadenas productivas resilientes para el desarrollo sostenible”, director del proyecto de Vinculación “Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua de los ríos Yukipa y Upano del Cantón Morona”. Cuenta con artículos científicos en bases de datos de alto impacto como Web Of Science y SCOPUS. Coordinador de la carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPOCH - Sede Morona Santiago.



EL SUELO Y LOS ABONOS EN LA NUTRICIÓN VEGETAL

El suelo, los abonos y la nutrición de las plantas, son consideradas como parte elemental y fundamental en el estudio de la ciencia del suelo. Este trabajo escrito está basado en la información sobre la composición, las propiedades y las diferentes reacciones químicas que ocurren en los suelos, se aclaran algunos problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal; que acompañados con los resultados de los análisis químicos permiten formular las respectivas recomendaciones de fertilización adecuadas y sirve de base en la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal.

El estudio abarca un conocimiento amplio sobre: biología, física, química, botánica, fisiología, edafología y microbiología del suelo que se constituyen en los pilares fundamentales de la ciencia del suelo; mientras que la fertilidad, la conservación y el manejo del suelo acompañados de la actividad práctica involucran una estructura técnica para una correcta gestión de este recurso, y, se utiliza su comprensión para demostrar y cristalizar ciertos principios que afiancen los aspectos socioeconómicos del sector agropecuario y de sus alcances para el bienestar de todo ser humano, que hoy en día mucha falta hace.

libros.investigacioni2d.com



info@investigacioni2d.com



Riobamba, Ecuador

ISBN: 978-9942-8986-8-5



9 789942 898685