



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Impactos ambientales de la empresa florícola Agrogana y su remediación.

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.

AUTOR: Manzanares Vilaplana, José Manuel

DIRECTORA: Massa Sánchez, Priscilla, Dra.

CENTRO UNIVERSITARIO QUITO
2014



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Doctora.

Priscilla Massa Sánchez

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **Impactos ambientales de la empresa florícola Agrogana y su remediación**, realizado por Manzanares Vilaplana José Manuel, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre de 2014

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Manzanares Vilaplana José Manuel**, declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: **Impactos ambientales de la empresa florícola Agrogana y su remediación**, de la Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental, siendo la Dra. Priscilla Massa Sánchez directora el presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el siguiente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realizan a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad".

f).....

Autor: Manzanares Vilaplana José Manuel

Cédula: 0102464286

DEDICATORIA

Al Padre que me dio Vida

A mi esposa Karine Bracke

AGRADECIMIENTO

Mis más sincero agradecimiento a mi familia, es especial a Karine Bracke, mi esposa que supo apoyarme durante todo el periodo de estudios, a mis hijos: Rebeca, Nele y Pablo, por toda su ayuda.

Al Ing. Álvaro Espinosa por permitirme realizar la tesis en su plantación florícola y al Ing. Jorge Gómez por sus puntos de vista durante su elaboración.

A la Directora Dra. Priscilla Massa Sánchez por el apoyo académico necesario para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Asimismo mi agradecimiento a los docentes del área biológica por sus enseñanzas y comprensión a lo largo de la carrera, en especial a la Ing. Rosa Armijos a los miembros de Tribunal por sus acertados comentarios que permitieron mejorar el presente trabajo investigativo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUOTRÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORÍA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1 El ciclo del nitrógeno	7
1.1.1 El nitrógeno en la atmósfera.	9
1.1.1.1 Fijación del nitrógeno.	9
1.1.1.1.1 Fijación atmosférica.....	9
1.1.1.1.2 Fijación bacteriana.	10
1.1.1.1.3 Fijación del nitrógeno por reacciones químicas y fotosintéticas.....	10
1.1.2 El nitrógeno en el suelo.....	11
1.1.2.1 Mineralización.	12
1.1.2.2 Aminización y amonificación.	12
1.1.2.3 Inmovilización.....	13
1.1.2.4 Nitrificación.....	13
1.1.2.5 Desnitrificación.....	14
1.1.2.6 Volatilización.	15
1.1.2.7 Lixiviación.....	15

1.1.2.8 Conclusión ciclo nitrógeno.	15
1.2. Fertilizantes nitrogenados sintéticos	16
1.2.1 Fertilizantes con nitrógeno nítrico.	17
1.2.2 Fertilizantes con nitrógeno amoniacal.....	18
1.2.3 Fertilizantes con nitrógeno nítrico y amoniacal.	18
1.2.4 Fertilizantes con nitrógeno amínico.....	18
1.2.5 Efectos secundarios de los fertilizantes nitrogenados.	19
1.2.6 Contenido de nitrógeno en los fertilizantes nitrogenados.	19
1.3. Asimilación del nitrógeno por las plantas	20
1.3.1 Papel del nitrógeno en las células.....	21
1.3.2 Exceso de nitrógeno.....	21
1.3.3 Deficiencia de nitrógeno.....	22
1.4 Importancia de la aplicación de nitrógeno al cultivo de rosas	22
1.4.1 Contenido ideal de nitrógeno.	22
1.4.2 Exportación de nitrógeno.	23
1.4.3 Cálculo de aplicación de nitrógeno en relación a la producción.	27
1.4.4 Aplicación de nitrógeno en la fertirrigación.	28
1.5 Contaminación con nitratos.....	29
1.5.1 Lixiviación de nitratos.	30
1.5.2 Los nitratos en las aguas subterráneas.	31
1.5.3 Los nitratos en las aguas superficiales.	32
1.6 Problemas de las aguas con exceso de nitratos.....	32
1.6.1 Aguas superficiales.	33
1.6.1.1 Procesos de eutrofización.	34
1.6.2 Aguas subterráneas.	35
1.6.2.1 La metahemoglobinemia.	36
1.6.2.2 Cáncer.....	37
CAPÍTULO II. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CON NITRATOS PROCEDENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS APLICADOS MEDIANTE FERTIRRIGACIÓN, BIOL Y MATERIA ORGÁNICA.....	38
Introducción.....	39
2.1 Descripción de las variables.....	40
2.1.1 Fertilizantes nitrogenados aplicados.....	40
2.1.2 Aporte de nitrógeno por bioles aplicados.	46
2.1.3 Aporte de nitrógeno por la materia orgánica aplicada.....	46
2.1.4 Nitratos y amonio en el agua de riego.....	48
2.1.5 Cantidad de agua aplicada.....	49

2.1.6 Aporte total de nitrógeno.....	51
2.1.7 Salinidad del agua.....	51
2.1.8 Agua drenada.....	52
2.1.9 Nitratos y nitritos en la solución salina del suelo.....	53
2.1.10 Nitratos lixiviados.....	53
2.2 Método del lisímetro de percolación.....	54
2.2.1 Agua drenada.....	54
2.2.2 Nitratos lixiviados.....	55
2.2.3 Cantidad de nitratos lixiviados.....	56
2.3. Relación de variables.....	58
2.3.1 Nitrógeno aplicado y producción.....	58
2.3.2 Nitrógeno aplicado y agua suministrada.....	60
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
Introducción.....	63
3.1. Nitratos lixiviados.....	65
3.2. Resumen histórico de los fertilizantes nitrogenados aplicados.....	65
3.3. Tendencia en la aplicación de nitrógeno.....	66
3.4. Nitratos lixiviados en las aguas drenadas.....	69
CAPÍTULO IV: PROGRAMA PARA DISMINUIR LIXIVIACIÓN DE NITRATOS.....	70
Introducción.....	71
4.1. Control del agua aplicada.....	72
4.2. Cálculo del nitrógeno necesario.....	74
4.3. Calculadora de nitrógeno.....	75
4.4. Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta.....	77
4.5. Lisímetro de succión de la solución salina.....	80
4.5.1. Medición de los nitratos y nitritos.....	80
4.5.2. Disponibilidad de nitratos de acuerdo a lecturas en la solución salina.....	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	91
Anexo A. Registro fotográfico.	92
Anexo B. Regresión lineal de la producción cosechada y los nitratos lixiviados (en las independientes la producción en flor/planta/mes y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg).	94
Anexo C. Regresión lineal del agua drenada y de los N-NO_3^- lixiviados (en las independientes los m^3 de agua lixiviados y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg).	95
Anexo D. Kc del cultivo.	95

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Fertilizantes y su contenido en porcentaje de nitrógeno nítrico, amínico y amoniacal	19
Tabla 2. Producción de rosas de la variedad Marjan por largo de tallo durante un año	23
Tabla 3. Resumen de los kilos de materia seca exportados como hojas en un hectárea de cultivo	24
Tabla 4. Resumen de los kilos de materia seca exportados como tallos en una hectárea de cultivo	24
Tabla 5. Resumen de los kilos de materia seca exportados como flores en una hectárea de cultivo	24
Tabla 6. Exportación de nutrientes en 19 497 kg exportados en las hojas	24
Tabla 7. Exportación de nutrientes en 11 974 kg exportados en los tallos	25
Tabla 8. Exportación de nutrientes en 7981 kg exportados en las flores	25
Tabla 9. Exportación de nutrientes de las flores cosechadas durante un año ha con una producción de 1 130 000 tallos	25
Tabla 10. Promedio del contenido de nitrógeno en las hojas y acumulación de cosechas, podas y flores en la variedad “Royalty” tratadas con tres diferentes concentraciones de nitrógeno durante un periodo de 12 meses	26
Tabla 11. Nitrógeno total asimilado por la variedad Royalty por cada parte de la planta durante un ciclo de floración. Los valores corresponden a la media de seis plantas, expresado en mg de nitrógeno	27
Tabla 12. Consumo de nitrógeno en sus tres formas de acuerdo a la producción en flor/planta/mes	28
Tabla 13. Cantidad total de nitrógeno en sus tres formas NO_3^- , NH_4^+ y NH_2^+ a ser aplicada al cultivo por hectárea y día considerando su eficiencia	29
Tabla 14. Nitrógeno total aplicado, lixiviado y cosechado en la variedad “Royalty” con tres diferentes concentraciones de nitrógeno	30
Tabla 15. Tendencia en la concentración de NO_3^- en el agua potable de la República Federal de Alemania	35
Tabla 16. Kilos de fertilizantes con nitrógeno aplicados por hectárea en el periodo 2008-2013	42
Tabla 17. Aporte de kilos por hectárea de las diferentes formas de nitrógeno aplicados anualmente durante el periodo 2008, 2009 y 2010 año y por cada fuente de fertilizante	44
Tabla 18. Aporte de kilos por hectárea de las diferentes formas de nitrógeno aplicados anualmente durante el periodo 2011, 2012 y 2013 año y por cada fuente de fertilizante	45
Tabla 19. Contenido en mg/L de nutrientes nitrogenados en el biol	46

Tabla 20. Caracterización química de la materia orgánica aplicada	47
Tabla 21. Porcentaje de nitrógeno mineralizado por semana	47
Tabla 22. Nitrógeno mineralizado anualmente de las diferentes enmiendas orgánicas en Agrogana durante el 2013	48
Tabla 23. Análisis químico del agua de riego (mg/L) de Agrogana	48
Tabla 24. Resumen del agua aplicada en m ³ por hectárea neta/año a los rosales y lámina (mm) durante 2013	50
Tabla 25. Cantidad de NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺ aplicado en Agrogana durante el año 2013	51
Tabla 26. Reducción del rendimiento del rosal en función de la salinidad del suelo y/o del agua de riego	52
Tabla 27. Cantidad de NO ₃ ⁻ y NO ₂ ⁻ , pH y C.E. registrado en la solución salina en promedio mensual durante 2013 (promedio mensual corresponde a las lecturas diarias)	53
Tabla 28. Resumen del agua aplicada, drenada y aprovechada en m ³ por mes, y el porcentaje de agua drenada (media mensual corresponde a lecturas diarias) durante 2013	54
Tabla 29. Concentración en mg/L de macronutrientes, pH y C.E. en el agua drenada y colectada con el lisímetro de percolación	56
Tabla 30. Concentración en mg/L de macro y micro nutrientes en el agua drenada y colectada en el lisímetro de percolación	56
Tabla 31. Nitrógeno lixiviado en las formas NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺ por hectárea neta año	57
Tabla 32. Resumen de los m ³ de agua drenados y los kg de NO ₃ ⁻ lixiviado	60
Tabla 33. Cantidad de nitrógeno en NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺ aprovechados y lixiviados en kg durante el año 2013	63
Tabla 34. Cantidad de NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺ aprovechados y lixiviados por cada tallo producido en g durante el año 2013	64
Tabla 35. Cantidad de agua aplicada, drenada y aprovechable en m ³ durante el año 2013.	64
Tabla 36. Análisis del raspado de las costras de sales en zona seca de los caminos	65
Tabla 37. Resumen de los aportes de las tres formas de nitrógeno aplicados por kg/ha/año	66
Tabla 38. Lixiviación de NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺ durante el año 2012	67
Tabla 39. Lixiviación de NO ₃ ⁻ kg/ha durante los años 2012-2013	68
Tabla 40. Evaporación en mm de acuerdo al clima en la provincia del Cotopaxi	73
Tabla 41. Kc en diferentes estados en el cultivo de la rosa	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del nitrógeno en el suelo	7
Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un invernadero de rosas	8
Figura 3. Ciclo anual del nitrógeno	15
Figura 4. Concentración de nitratos en el agua lixiviada durante 1995	31
Figura 5. Tendencia a la lixiviación de nitratos entre 1995-2030	32
Figura 6. Esquema de la relación entre los nitratos, nitritos y el amonio y su incidencia en la salud humana	36
Figura 7. Procesos del nitrato de amonio en el suelo al ser aplicado como fertilizante	41
Figura 8. Estrategias para disminuir lixiviación de nitratos en un cultivo de rosas	71
Figura 9. Entrada de datos en la calculadora de nitrógeno, corresponde a la parte 1	75
Figura 10. Entrada de datos en la calculadora de nitrógeno, corresponde a la parte 2	76
Figura 11. Calculadora de nitrógeno con cálculo del NO_3^- kg/ha obtenido de las lecturas de NO_3^- del lisímetro de succión	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Consumo de fertilizantes por hectárea durante el periodo 2008-2013	43
Gráfico 2. Evolución del aporte de las diferentes formas de nitrógeno aplicados anualmente durante el periodo 2008, 2009 y 2010 por fuente de fertilizante	44
Gráfico 3. Evolución del aporte de las diferentes formas de nitrógeno aplicados anualmente durante el periodo 2011, 2012 y 2013 por fuente de fertilizante	45
Gráfico 4. Lámina de riego en mm de goteo y aspersión aplicada en promedio por mes durante 2013	50
Gráfico 5. Concentración de NO_3^- y NH_4^+ en el agua irrigada mediante el sistema de riego de goteo	51
Gráfico 6. Agua aplicada en $\text{m}^3/\text{hectárea}$ a los rosales y agua drenada durante el año 2013	55
Gráfico 7. Kilos de NO_3^- lixiviados por mes ha durante el año 2013	57
Gráfico 8. Tallos producidos y gramos de NO_3^- lixiviados durante el año 2013	58
Gráfico 9. Gramos de NO_3^- lixiviado por tallo cosechado durante el año 2013	59
Gráfico 10. Producción en flor/planta/mes y gramos de NO_3^- lixiviado por tallo cosechado durante el año 2013	59
Gráfico 11. Agua drenada en m^3 y kg de NO_3^- lixiviado durante el año 2013	61
Gráfico 12. Nitrógeno en sus tres formas aplicado del año 2008 al 2013 en kg/ha/año	66
Gráfico 13. Tendencia aplicación nitrógeno en kg/ha/año	67
Gráfico 14. Lixiviación de NO_3^- en kg/ha/año durante los años 2012 y 2013	68

RESUMEN

El presente estudio de fin de titulación realizado en la empresa Agrogana, dedicada al cultivo de rosas para exportación de sus flores, analiza la aplicación de los fertilizantes sintéticos con nitrógeno, bioles y materia orgánica, el aporte total de nitrógeno por hectárea año y la lixiviación de nitratos con el agua de riego drenada.

Los resultados obtenidos demuestran que durante el año 2013 se lixiviaron $536 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Se concluye que la lixiviación es directamente proporcional a la cantidad de agua drenada y a la cantidad de fertilizante nitrógeno aplicado al cultivo.

Para reducir la lixiviación del NO_3^- , se ha diseñado una calculadora de nitrógeno que permite la reducción de la aplicación excesiva de este, y así disminuir sus pérdidas, calculando la lámina de riego requerida por el cultivo.

Otras opciones que se presentan para reducir la lixiviación NO_3^- , son la utilización de fertilizantes de lenta liberación, con moléculas retardantes del proceso de nitrificación y el control diario de la concentración de NO_3^- de la solución salina del suelo, mediante un lisímetro de succión.

PALABRAS CLAVES:

Nitratos, lixiviación, drenaje, solución salina, calculadora de nitrógeno.

ABSTRACT

This research, conducted in Agrogana, company dedicated to growing roses for export of flowers, analyzes the application of synthetic nitrogen fertilizers, biol and organic matter, total nitrogen input per hectare year, and leaching Nitrates with the irrigation water drained.

The results conclude that during the year 2013 were leached $\text{NO}_3\text{-N}$ $536 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Leaching is directly proportional to the amount of water drained and the nitrogen fertilizer apply.

To reduce leaching of NO_3^- , there has been designed a calculator of nitrogen, which allows the reduction of its excessive application, reducing their losses by calculating the depth of water required by the crop.

Other options to reduce the leaching of NO_3^- , are the use of slow release fertilizers, retardant molecules nitrification and daily monitoring of the concentration of NO_3^- saline soil by suction lysimeter.

KEYWORDS:

Nitrate, leaching, drainage, saline, nitrogen calculator.

INTRODUCCIÓN

Las empresas dedicadas al cultivo de flores de exportación, constituyen una industria muy importante para las exportaciones del Ecuador. Se estima que hay un total de 571 empresas que cultivan un total de 6682 hectáreas de flores, de las cuales 4074 hectáreas son dedicadas a rosas.

Se estima que la producción anual de rosas en el Ecuador oscila aproximadamente en 117 483 toneladas, con un ingreso general de 610 millones de dólares, siendo el cuarto rubro en importancia de las exportaciones no tradicionales del Ecuador (por orden de valores están el petróleo, banano y camarón).

El mencionado incremento se debe principalmente a la calidad de la rosa ecuatoriana, que es apreciada y aceptada por los mercados más exigentes en el mundo. Esta calidad es fruto de las condiciones ambientales y edáficas del Ecuador, su ubicación en la mitad del mundo garantiza una luminosidad constante todo el año, durante 12 horas al día.

La rosa ecuatoriana no sería conocida en el mundo si no fuera por la labor de las personas que trabajan en las empresas de flores. Se estima que 48 000 personas poseen trabajo directo y 55 000 indirecto.

Sin embargo, tanta belleza deja un rastro en el agro ecuatoriano. Los procesos que se realizan para cultivar las rosas, y finalmente exportarlas, inciden en la contaminación del ambiente en diversas formas. Directa como los plásticos utilizados en las cubiertas, e indirecta, en el caso de la contaminación de las aguas subterráneas y la aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades.

La aplicación de los agroquímicos, de no ser manejada en forma apropiada, puede incidir en la salud de los trabajadores y la contaminación del ambiente.

Para completar un desarrollo adecuado de las rosas con tallo largo y botón grande, es necesario aportar agua y fertilizantes. Muchos de los fertilizantes son lixiviados con el agua drenada, lo que contribuye a la contaminación de las aguas subterráneas y a los procesos de eutrofización de lagos y lagunas.

En la empresa Agrogana S.A., ubicada en la provincia del Cotopaxi, sector la Piedra Colorada, se ha realizado la evaluación de impactos al ambiente, analizando cada uno de los puntos mencionados en los párrafos anteriores.

La aplicación de agroquímicos se resume en (litros/franja toxicológica/hectárea/año): roja, 0 L; amarilla 6,08 L; azul, 7,17 L; verde, 23,71 L; ecológicos, 24,72 L; en total se aplican 61.68 L/ha/año. Es notorio que la cantidad de ingredientes activos de productos para el control de plagas y enfermedades es bajo, esto se debe a la implementación del proyecto de depredadores para el control de los ácaros y a la utilización de microorganismos.

El consumo de agua total de la finca es de 59 litros por tallo producido, con un peso promedio de 75 gramos. Por cada kilo de rosas producidas se utilizan 786 litros de agua, si se compara con el contenido virtual de los siguientes productos (Chapagain y Hoekstra, 2004): 1 kilo de pan – 1333 litros; 1 litro de café preparado – 1120 litros; 1 litro de leche – 1000 litros y 1 kilo de papas – 700 litros; podemos apreciar que la huella hídrica de 1 kilo de rosas no es exagerada, casi se compara con la producción de 1 kilo de papas.

Los rosales son fertilizados y regados diariamente para mantener el desarrollo constante de los nuevos brotes, garantizando tallos largos y botones grandes. Las aplicaciones de nitrógeno son altas, ya que inciden significativamente en la obtención de rosas de calidad internacional.

De todos los nutrientes aportados, la lixiviación de nitratos es la que incide en mayor grado a la contaminación de las aguas subterráneas, y por ende, en el ser humano, al utilizarla como fuente del líquido vital en el consumo en los hogares.

Para determinar la cantidad de nitratos lixiviados se realizó un lisímetro de percolación a 1 m de profundidad debajo de una cama cultivada con las rosas, anotándose diariamente el drenaje. El agua drenada fue analizada en los laboratorios denHaan de Holanda, por lo que se pudo conocer la cantidad de nitratos lixiviados en la misma.

Los datos del estudio se basan en la recopilación diaria durante todo el año 2013. El plan de acción para disminuir la lixiviación de nitratos se realizó durante el primer trimestre del 2014.

OBJETIVOS

Los objetivos inmediatos del presente proyecto son:

- Determinar la cantidad de nitratos lixiviados por hectárea (mes y año) en el agua drenada aplicada en la fertirrigación y riego, mediante aspersores y duchas, de la empresa Agrogana durante el año 2013.
- Elaborar una propuesta de manejo alternativo orientada a disminuir la aplicación de nitratos y reducir su lixiviación, disminuyendo la contaminación de las aguas subterráneas, sin alterar el desarrollo de los rosales ni la calidad de las rosas cosechadas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento básico para la vida, constituye el 8% de la materia viva y forma parte de muchas moléculas, como son los ácidos nucleicos, proteínas y enzimas (Rodríguez *et al.*, 1984). Lincoln (2014) menciona que el ADN que define la vida, junto con otras proteínas y moléculas en animales y plantas, contienen nitrógeno; constituye aproximadamente el 3% del peso de un ser humano, presentando un porcentaje más conservador. En lo que coinciden, es que la fuente del nitrógeno no proviene de la atmósfera, sino a través de la cadena de alimentos como las frutas, la carne y los vegetales que comemos (Lincoln, 2014).

Es el gas más abundante en la atmósfera, con un 78% aproximadamente. Se presenta en su forma inerte N_2 , dinitrógeno (Tisdale y Nelson, 1970). Tiene uno de los ciclos biogeoquímicos más complicados, se puede presentar en varias formas y participa en muchos procesos químicos (CICEANA, 2014). Se estima que en la Tierra existen 60 000 billones de toneladas, de las cuales el 94% se encuentra en la corteza terrestre, del 6% restante el 99.86% está en la atmósfera y el 0.04% forma parte de los organismos vivos que habitan el suelo o en el agua (Rodríguez *et al.*, 1984).

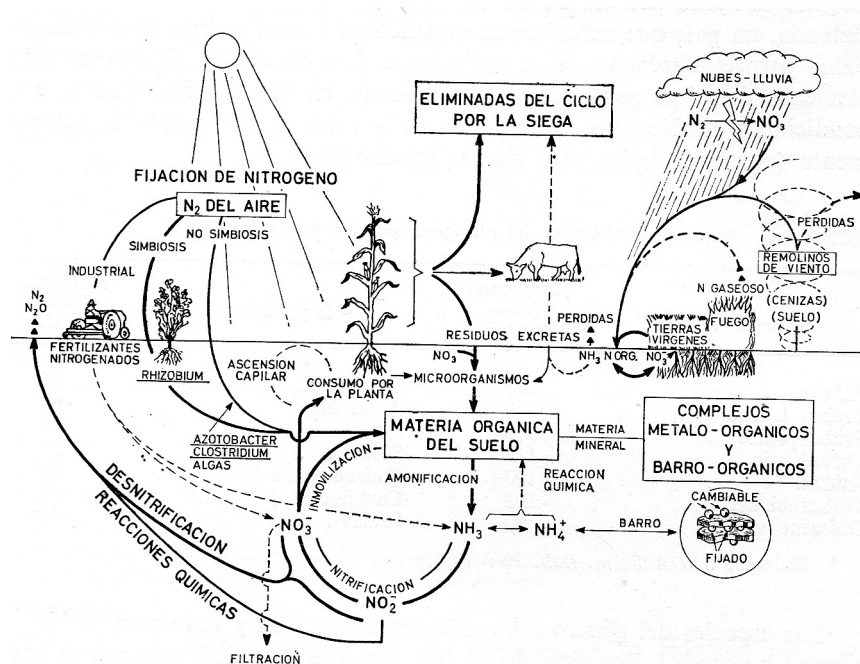


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en el suelo.

Fuente: Sauchelli, 1964.

El nitrógeno atmosférico es inagotable y se presenta en su forma inerte N_2 (Tisdale y Nelson, 1970). En el estado gaseoso no es aprovechable por las plantas y los seres

humanos, por ello es fijado por diversos microorganismos del suelo, mediante descargas eléctricas y procesos industriales. Hay procesos que liberan el nitrógeno fijado a la atmósfera como nitrógeno elemental, manteniéndose en un constante equilibrio (Tisdale y Nelson, 1970).

En el cultivo de rosas bajo invernadero el ciclo del nitrógeno se simplifica a los aportes realizados mediante la incorporación de materia orgánica, bioles y fertilizantes nitrogenados. Asimismo, se presenta la fijación del nitrógeno atmosférico mediante la incorporación de microorganismos al suelo, y su liberación a la atmósfera.

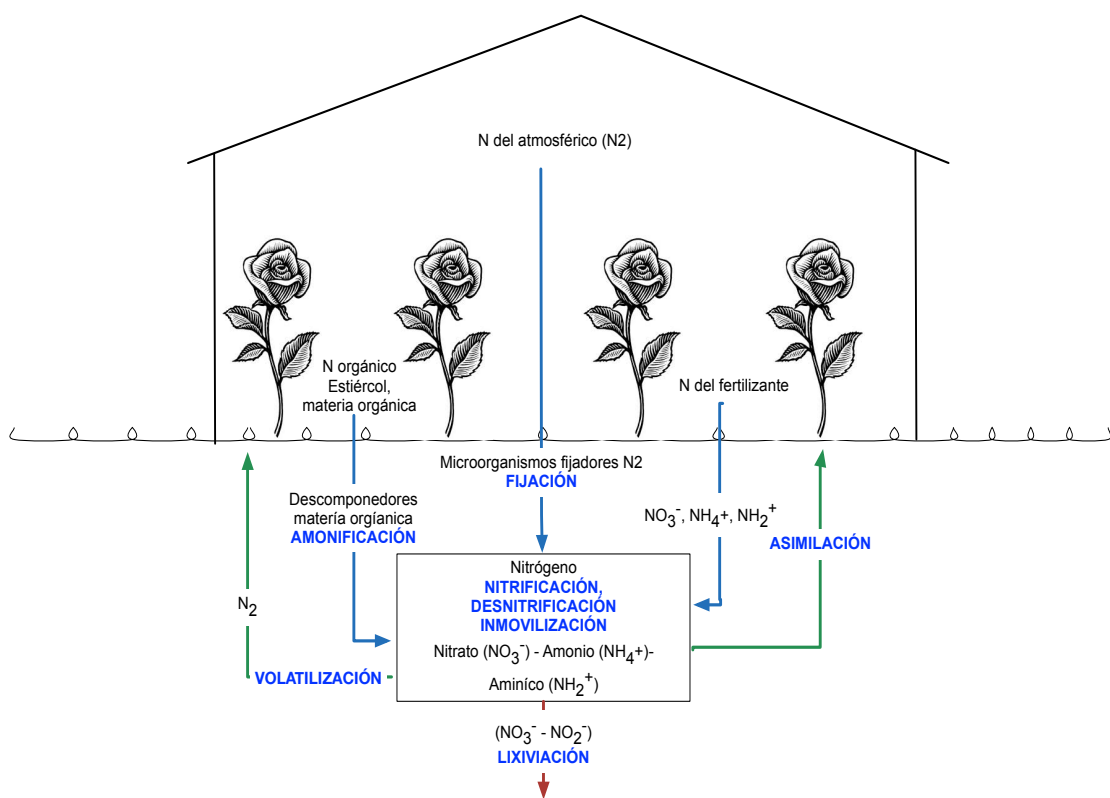


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un invernadero de rosas.

Fuente: Elaboración propia en base a Sauchelli, 1964.

Los procesos más importantes del nitrógeno en el suelo son:

- Mineralización:
 - Aminización y amonificación
 - Nitrificación
- Inmovilización
- Nitrificación
- Desnitrificación

- Volatilización
- Lixiviación

El problema del ciclo reside en su alteración por el ser humano, lo que ha traído como consecuencia la contaminación por acumulación de nitratos en las fuentes de agua, en especial durante los últimos 50 años, con la fabricación de fertilizantes nitrogenados (Ward *et al.*, 2005).

1.1.1 El nitrógeno en la atmósfera. El nitrógeno en la atmósfera se presenta como un gas inerte (N₂). Para formar parte de las moléculas en los vegetales y animales, tiene que ser fijado.

1.1.1.1 Fijación del nitrógeno. La fijación del N₂ se realiza mediante (Navarro, 2013):

- Descargas eléctricas
- Microorganismos que viven en el suelo
- Bacterias simbióticas

1.1.1.1.1 Fijación atmosférica. En la tropósfera, capa más cercana a la superficie terrestre, el nitrógeno se combina con el oxígeno formando el nitrato (NO₃⁻), producto de la fijación por descargas eléctricas en la atmósfera (Tisdale & Nelson, 1970). La reacción electroquímica es la siguiente (Mantell, 1980):



El NO (óxido nitroso) se oxida con el O₂ (oxígeno atmosférico):



El NO₂ (dióxido nitrógeno) reacciona con el agua para:

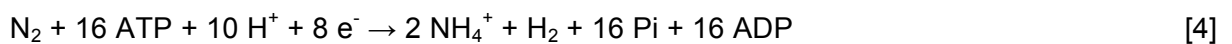


El nitrógeno fijado es transportado al suelo por lluvias y nevadas. Aproximadamente 5 kg ha⁻¹ de nitrógeno son aportados al suelo anualmente, principalmente en las formas NH₃⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, siendo la mayor parte producidos por el suelo, y devueltos a la atmósfera por

medio de los procesos de volatilización y desnitrificación (Perdomo *et al.*, 1998). El nitrógeno atmosférico en los invernaderos no es devuelto al suelo mediante relámpagos.

De acuerdo a Lincoln (2014), los relámpagos de las tormentas fijan aproximadamente 20 Mt al año en forma de ácido nítrico (HNO₃).

1.1.1.1.2 Fijación bacteriana. La fijación del N₂ atmosférico puede ser simbiótica y no simbiótica. Los microorganismos realizan mediante el complejo enzimático nitrogenasa, la reacción catalizadora siguiente:



Hay microorganismos libres en el suelo, como el *Azotobacter* y *Azospirillum*, entre otros, y en simbiosis como las cianobacterias *Anabaena azollae* asociada al helecho *Azolla*, o asociados a leguminosas como *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* y *Sinorhizobium*, que se encargan de fijar el N₂ atmosférico (Unavarra, 2014).

En cuanto a la fijación no simbiótica, las algas azul-verde (*Nostoc* y *Anabaena*) pueden fijar hasta 50 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Perdomo *et al.*, 1998). La fijación simbiótica en cultivos con leguminosas como el trébol, la alfalfa y el lotus con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium spp.*), en el segundo año de mezcla con pasturas, son capaces de fijar hasta 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Mallarino *et al.*, 1990).

De acuerdo a Lincoln (2014) la actividad de los microorganismos, del suelo y de los océanos y mares, fija aproximadamente 260 Mt al año en forma de amoníaco (NH₃⁺).

1.1.1.1.3 Fijación del nitrógeno por reacciones químicas y fotosintéticas. El nitrógeno, además de ser el componente principal del aire, también se presenta como parte de componentes menores como el óxido nitroso (N₂O) con un 0.000025%, el dióxido de nitrógeno (NO₂) con 0.0000001% y el amoníaco (NH₃⁺) con 0.0000001% (Albert, 1997).

Albert (1997) menciona que entre los principales contaminantes figuran el NO₂, el monóxido de nitrógeno (NO). El NO se forma como resultado de la reacción del oxígeno y nitrógeno del aire en los motores de combustión interna (Albert, 1997).



En cambio el NO₂ se forma con la reacción del NO con el O₂ (Albert, 1997).



En general, los óxidos de nitrógeno (NO_x) son muy tóxicos. Los umbrales en los cuales el ser humano se ve afectado por ellos oscila entre 0.1 ppm y 4 ppm de NO₂. En forma experimental se ha podido demostrar que el NO₂ presenta una acción oxidante provocando cuadros de bronquitis, alteraciones enfisematosas, edema pulmonar y aumento a las infecciones e hiperplasia de las células epiteliales Albert (1997).

El nitrógeno también forma parte de los contaminantes secundarios, que son reacción de los contaminantes primarios. La producción del ozono (O₃) troposférico se debe a la reacción fotoquímica lenta en la que participa el NO₂, el O₂ y la luz ultravioleta. El O₃ es asociado con diversos problemas respiratorios, irritación ocular y de las mucosas nasales (Albert, 1997).

1.1.2 El nitrógeno en el suelo. El nitrógeno en el suelo sufre innumerables reacciones dependiendo de la forma en la cual es aplicado, la aireación del suelo, la riqueza en materia orgánica, del pH y de los microorganismos existentes. Sus dos formas de presentarse son nitrógeno inorgánico y orgánico (Tisdale y Nelson, 1970).

En el suelo se encuentra una reserva de nitrógeno de 2000 a > 25 000 kg N ha⁻¹, dependiendo de la profundidad, temperatura y estado de estabilización de la materia orgánica (Stahr *et al.*, 1994).

Los compuestos nitrogenados inorgánicos del suelo incluyen NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, NO y N₂ (Tisdale y Nelson, 1970). Las formas más importantes para el desarrollo de las plantas son el amonio (NH₄⁺) y el nitrato (NO₃⁻). El nitrito (NO₂⁻) es un producto intermediario en la conversión de NH₄⁺ a NO₃⁻, siendo una forma tóxica que no permanece por mucho tiempo en suelos bien aireados.

Los compuestos nitrogenados orgánicos están formados por la materia orgánica (aminoácidos y proteínas consolidados), que al descomponerse liberan NH₄⁺ (Tisdale y Nelson, 1970). El nitrógeno NH₂⁻, compuesto principal de aminas, también puede ser incorporado al aplicar Urea al cultivo (CO(NH₂)₂, carbamida o carbonildiamida).

Los principales aportes de nitrógeno al suelo, además del fijado por los microorganismos de la atmósfera, son la materia orgánica y los fertilizantes. En ambos casos, el nitrógeno sufre varias reacciones, la materia orgánica se transforma en NH_4^+ y NO_3^- , mientras que mediante los fertilizantes es posible incorporar al suelo NH_4^+ y NO_3^- , el primero asociados al sulfato, al nitrato y fosfato, mientras que el segundo como nitratos.

1.1.2.1 Mineralización. La materia orgánica incorporada al suelo inicia un proceso de descomposición mediante los microorganismos del suelo, que descomponen las moléculas orgánicas complejas, a moléculas simples orgánicas e inorgánicas (Jama, 1998).

El proceso de la descomposición de la materia orgánica y la transformación del nitrógeno orgánico a nitrógeno inorgánico, bien sea NH_4^+ o NO_3^- , es denominado mineralización (Black, 1975). En cambio, Jansson y Persson (1982) consideran que la mineralización es el paso del nitrógeno orgánico a NH_4^+ .

El proceso de transformación de la materia orgánica a NH_4^+ es lento y pasa por los estados de aminización y amonificación (Perdomo *et al.*, 1998). En el proceso de la mineralización, intervienen microorganismos heterótrofos, incluyendo bacterias aeróbicas y anaeróbicas, hongos y actinomicetos (Perdomo *et al.*, 1998).

Conforme avanza el proceso, favorecido por la temperatura del suelo en el invernadero, el contenido de materia orgánica disminuye, siendo necesario incorporar nuevos residuos vegetales para mantenerla en un 3% como mínimo.

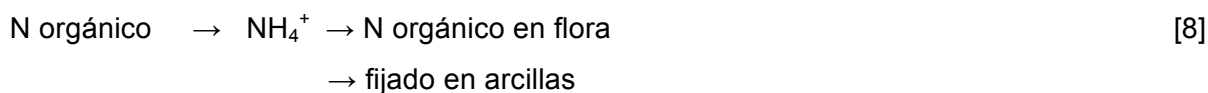
1.1.2.2 Aminización y amonificación. La descomposición de las aminas y aminoácidos de la materia orgánica (aminización) del suelo mediante microorganismos heterótrofos, finalmente liberan compuestos amoniacales. A este proceso se lo denomina amonificación (Tisdale & Nelson, 1970).

N orgánico \rightarrow Aminas \rightarrow NH_4^+ [7]

El proceso de amonificación se ve favorecido por la temperatura del suelo, a menor temperatura menor amonificación, y a mayor temperatura mayor amonificación, por ello el proceso es más rápido en los invernaderos que en el campo. Los invernaderos permiten mantener temperaturas más altas en el ambiente, y por ende en el suelo.

El NH_4^+ resultante del proceso de la amonificación, puede seguir cinco caminos posibles: 1- es utilizado por los microorganismos del suelo para continuar procesos de descomposición, a este proceso se lo denomina inmovilización; 2- es asimilado por las plantas; 3- puede convertirse en $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$; 4- es fijado por el suelo; 5- es liberado a la atmósfera como N_2 (Perdomo *et al.*, 1998).

1.1.2.3 Inmovilización. La inmovilización del nitrógeno es el proceso opuesto a la mineralización, es la transformación del nitrógeno inorgánico (NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^-) a nitrógeno orgánico (Perdomo *et al.*, 1998). Este proceso se presenta cuando los microorganismos asimilan el nitrógeno inorgánico y lo transforman en nitrógeno orgánico, al constituir sus cuerpos (Perdomo *et al.*, 1998); el nitrógeno también puede ser fijado en NH_4^+ por las arcillas en expansión, como son la montmorillonita y la illita (Tisdale y Nelson, 1970). En suelos con alto contenido de potasio (K) la fijación de amonio se incrementa (Tisdale y Nelson, 1970).



1.1.2.4 Nitrificación. La nitrificación es una oxidación biológica y consiste en la transformación del amonio (NH_4^+) en nitrato (NO_3^-). Este proceso posee dos etapas, en la primera el amonio es convertido en nitrito (NO_2^-), y en la segunda ocurre la conversión de nitrito a nitrato (Tisdale y Nelson, 1970).

Primer paso: NH_4^+ es convertido en NO_2^- mediante bacterias autótrofas obligadas denominadas *Nitrosomonas spp.*:



El segundo paso: transformación del NO_2^- a NO_3^- mediante bacterias autótrofas obligadas denominadas *Nitrobacter spp.*:



Para que se de la nitrificación se requiere de oxígeno molecular, por ello este proceso es más eficiente en los suelos bien aireados. Suelos con problemas de aireación, con hipoxia o anoxia, es menos eficiente. En los suelo saturados se acumula el NH_4^+ . En el primer paso la conversión del amonio en nitritos libera iones de hidrógeno (H^+) acidificando el suelo.

Los factores que inciden en la nitrificación son: 1- temperatura: a mayor temperatura mayor nitrificación, ideal es 30°C; 2- aireación: a mayor aireación mayor nitrificación; 3- humedad: a mayor humedad menor nitrificación; 4- pH del suelo: a mayor pH menor nitrificación, el pH ideal oscila entre 5,5-7,5, a pH mayor a 7 se afecta el paso de NO_2^- a NO_3^- , si el pH es mayor a 8 se afecta el paso de NH_4^+ a NO_2^- ; 5- contenido de NH_4^+ : a mayor concentración menor pasaje de NH_4^+ a NO_2^- , concentraciones mayores de 3000 mg de NH_4^+ por kg suelo afectan al proceso; 6- contenido de *Nitrosomonas spp* y *Nitrobacter spp*: a menor contenido menor nitrificación. Las aplicaciones constantes de fungicidas e insecticidas afectan el desarrollo de las bacterias nitrificantes (Tisdale y Nelson, 1970, Perdomo *et al.*, 1998).

A diferencia del amonio, el nitrato es muy móvil en el suelo y puede ser fácilmente lixiviado, causando problemas de contaminación en las aguas subterráneas.

1.1.2.5 Desnitrificación. En un suelo saturado proliferan los organismos anaeróbicos facultativos con la capacidad de obtener los electrones (e^-) del NO_3^- y del NO_2^- , en lugar del O_2 , liberando dos formas gaseosas de nitrógeno, el óxido nitroso (N_2O) y N_2 (Perdomo *et al.*, 1998). Los responsables de la desnitrificación son especies de los géneros: *Pseudomonas spp*, *Micrococcus spp*, *Achromobacter spp* y *Bacillus spp* (Tisdale y Nelson, 1970). La ecuación del proceso es:



De acuerdo a ensayos realizados por Hauck (1981) con ^{15}N , se estima que entre el 25-30% del nitrógeno incorporado al suelo se pierde debido a este proceso.

Los factores que inciden en el proceso son: 1- contenido de materia orgánica (M.O.): el proceso requiere e^- , por ello a mayor contenido de M.O., mayor será el incremento; 2- pH del suelo: ideal entre 6-8); 3- anaerobiosis: en suelos anegados el desarrollo de los microorganismos anaeróbicos se incrementa; la temperatura: a mayor temperatura mayor acción de los microorganismos.

El óxido nitroso resultado del proceso de la desnitrificación es considerado como un gas de efecto invernadero contribuyendo con el 6% al mencionado efecto por causas antropogénicas, asimismo, contribuye al deterioro de la capa de ozono (IPCC, 2001)

1.1.2.6 Volatilización. Mediante este proceso se pierde el nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3^+). El NH_4^+ en un medio alcalino reacciona de la siguiente manera (Tisdale y Nelson, 1970):



De acuerdo a ensayos realizados por Hauck (1981) con ^{15}N , se estima que entre el 15-20% del nitrógeno incorporado al suelo se pierde debido a este proceso.

1.1.2.7 Lixiviación. Un suelo saturado induce a un aumento del drenaje del agua irrigada lixivándose las moléculas con valencias negativas como NO_3^- y el NO_2^- . El nitrógeno puede proceder de los fertilizantes, materia orgánica o bioles.

La incorporación al suelo de los fertilizantes constituyen una fuente de contaminación (Bustos, 2010). Los componentes que más inciden en las aguas subterráneas son los NO_3^- y el NO_2^- , constituyendo una seria preocupación mundial durante los últimos años (Collao, 2008).

En la atmósfera se encuentran 3 920 000 000 millones de toneladas (Mt N)

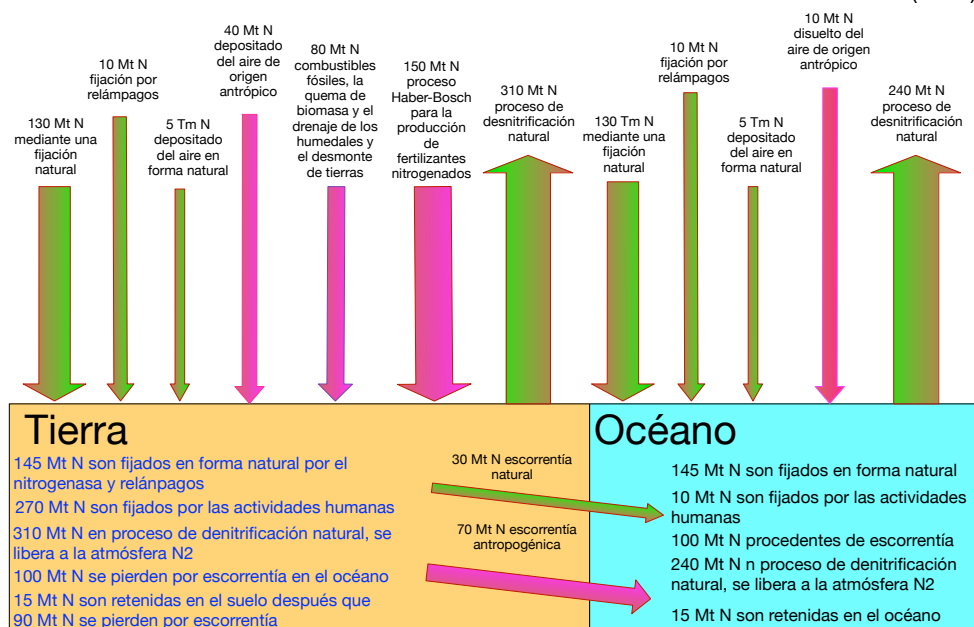


Figura 3. Ciclo anual del nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia en base a Lincoln, 2014.

1.1.2.8 Conclusión ciclo nitrógeno. Según Lincoln (2014), el ciclo del nitrógeno anual a escala mundial entre la atmósfera, la tierra y el océano presenta la siguiente actividad: de los 3 920 000 000 millones de toneladas (Mt) existentes en el aire,

anualmente en la tierra: 145 Mt de nitrógeno son fijados de forma natural por bacterias, otros organismos fijadores de nitrógeno y relámpagos, y es depositado sobre la superficie terrestre; 270 Mt son debido a las actividades humanas como la fijación de nitrógeno por la agricultura, mediante el proceso Haber-Bosch para la fabricación de fertilizantes, y a la quema de combustibles fósiles, drenaje de los humedales y desmonte de los bosques. En el océano anualmente 145 Mt son depositados por procesos naturales de fijación por microorganismos y bacterias, relámpagos y disueltos del aire; 10 Mt son fruto de la actividad humana. Del nitrógeno depositado en el suelo de origen natural y antropogénico 100 Mt son depositados en el océano por escorrentía. Debido a la desnitrificación, regresa el N₂ al aire 310 Mt de la tierra y 240 Mt del océano. En la figura 3 se resume el ciclo según Lincoln (2014).

1.2. Fertilizantes nitrogenados sintéticos

Fritz Haber (1868-1934) y Carl Bosch (1874-1940) fueron los creadores del método Haber-Bosch, que permite sintetizar el amoníaco (NH₃⁺), base de todos los fertilizantes nitrogenados. El oxígeno molecular (aire) y el hidrógeno (obtenido mediante descomposición del agua o del gas natural) son sometidos a una presión de 200 atm. con una temperatura de 550°C, y mediante un catalizador de hierro se da la siguiente reacción:



El NH₃⁺ es un gas incoloro, de olor penetrante, venenoso para las plantas y los animales cuando se encuentra muy concentrado, es inocuo para el hombre y nutritivo para las plantas cuando se encuentra en forma diluida (Finck, 1988).

Gracias a este método es posible mantener una producción agrícola que permite alimentar a la población actual. Sería imposible la producción de alimentos sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados sintéticos. El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo de los cultivos, clave en insumos agrícolas que incrementa la producción de los cultivos, (Eickhout *et al.* 2006).

De acuerdo a Eickhout *et al.* (2006) en el periodo 1970-1995, la incorporación global de nitrógeno en la agricultura intensiva mediante fertilizantes, estiércoles y fijación del nitrógeno casi duplicó, pasó de 92 a 165 Tg año⁻¹. La demanda de nitrógeno en las tres próximas décadas se estima que incrementará en un 60% (Eickhout *et al.* 2006).

Todo induce a pensar que la industria de los fertilizantes nitrogenados sintéticos está en aumento, en especial si se quiere satisfacer la demanda mundial de alimentos.

1.2.1 Fertilizantes con nitrógeno nítrico. Los fertilizantes nítricos están compuestos por la sustancia nutritiva para las plantas NO_3^- . El nitrato más antiguo que se empleó en la agricultura es el nitrato de Chile, NaNO_3 . Su contenido de sodio (Na) puede iniciar procesos de sodificación del suelo, por ello no es muy empleado en los cultivos de flores.

Los fertilizantes nitrogenados nítricos más empleados son los siguientes:

- Ácido nítrico (HNO_3)
- Nitrato de calcio (CaNO_3)
- Nitrato de potasio (KNO_3)
- Nitrato de magnesio (MgNO_3)
- Nitrato de amonio (NH_4NO_3)

El ácido nítrico se obtiene mediante la oxidación del amoníaco (Finck, 1988):



El HNO_3 es la base para la obtención de la mayoría de los NO_3 en la combinación con otros nutrientes como el calcio, magnesio y potasio.

El CaNO_3 se obtiene mediante la neutralización del HNO_3 con carbonato de calcio (CaCO_3) (Finck, 1988):

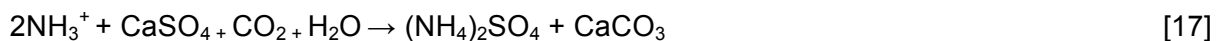


El KNO_3 se obtiene mediante la neutralización del ácido nítrico con hidróxido de potasio (KOH), o el carbonato de potasio (K_2CO_3). Para la obtención del MgNO_3 se neutraliza el HNO_3 con magnesio (Mg), óxido de magnesio (MgO) y el hidróxido de magnesio ($\text{Mg}_2(\text{OH})_2$). El nitrógeno nítrico aportado por los fertilizantes compuestos por NO_3 está disponible de inmediato para las plantas, es asimilado sin requerir ningún tipo de transformación (Finck, 1988). Los NO_3 se mueven en el suelo mediante flujo de masas, son fácilmente lixiviados con el drenaje de las aguas aplicadas con el riego.

1.2.2 Fertilizantes con nitrógeno amoniacal. Los fertilizantes amoniacales están compuesto por NH_4^+ . El más utilizado es el sulfato de amonio (NH_4SO_4), se obtiene mediante la reacción del NH_3^+ con el ácido sulfúrico (H_2SO_4):



También se puede obtener mediante la reacción del NH_3^+ con el sulfato de calcio (CaSO_4) mediante el proceso Leuna:



El NH_4^+ que los fertilizantes amoniacales liberan al suelo mantiene un movimiento lento y suele ser rápidamente transformado en NO_3^- mediante el proceso de nitrificación. Las plantas pueden asimilar el nitrógeno amoniacal.

1.2.3 Fertilizantes con nitrógeno nítrico y amoniacal. El NH_4NO_3 está compuesto por las dos formas de nitrógeno, el NO_3^- y el NH_4^+ , se obtiene mediante la neutralización del HNO_3 con el NH_3^+ (Finck, 1988):



Este fertilizante aporta nitratos, que son asimilados de forma inmediata, y amoniacal, que puede ser asimilado por la planta o transformado mediante el proceso de nitrificación en nitratos.

1.2.4 Fertilizantes con nitrógeno amínico. Los fertilizantes que poseen nitrógeno amínico (NH_2^+) también son conocidos como abonos amídicos, como la urea y la cianamida cálcica. El nitrógeno se encuentra en forma de amidas ácidas (Finck, 1988).

La urea o carbamida es el fertilizante amídico más conocido en agricultura, y es utilizado como el principal aporte de nitrógeno para el desarrollo de los cultivos. La obtención de la carbamida $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ requiere amoníaco y dióxido de carbono (CO_2). La reacción es la siguiente:



Durante la desecación del líquido resultante se requieren procesos muy cuidadosos para evitar la producción de biuret ($\text{H}_2\text{NC(O)NHC(O)NH}_2$), tóxico para el desarrollo de las plantas, en especial si es aplicado foliarmente.

El NH_2^+ es un fertilizante orgánico de fácil asimilación por la planta, tiene la gran ventaja que no requiere de ninguna transformación en su interior siendo utilizado de forma inmediata. Sucede lo mismo con el NH_4^+ , en cambio, la asimilación del NO_3^- requiere una transformación en la planta mediante la enzima nitrato reductasa a NH_4^+ o NH_2^+ . El mayor inconveniente es la rápida transformación a la que es sometido en el suelo para convertirse en NO_3^- , mediante el proceso de la nitrificación.

1.2.5 Efectos secundarios de los fertilizantes nitrogenados. Como todos los fertilizantes, su aplicación es beneficiosa para el desarrollo del cultivo, pero en exceso puede causar los siguientes efectos:

- Salinización del suelo
- Contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de NO_3^-
- Acame de las plantas (debilidad de los tallos por exceso de nitrógeno)
- Mayor sensibilidad de las plantas a enfermedades y plagas

1.2.6 Contenido de nitrógeno en los fertilizantes nitrogenados. En la tabla 1 se muestran los fertilizantes más utilizados en floricultura y su contenido de nitrógeno en porcentaje.

Tabla 1. Fertilizantes y su contenido en porcentaje de nitrógeno nítrico, amínico y amoniacal. Factores de conversión: $\text{N} \cdot 4.427 = \text{NO}_3^- \cdot 0.266 = \text{N}$; $\text{N} \cdot 1.288 = \text{NH}_4^+ \cdot 0.776 = \text{N}$.

Fertilizante	Fórmula	% NH_4^+	% NH_2^+	% NO_3^-	% N puro	Otros elementos
Nitrato de calcio	CaNO_3	1.1		15.5		19% Ca
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	15		15		
Ácido nítrico (38%)	HNO_3			38	8.4	
Nitrato de magnesio	MgNO_3			10.7	2.85	9% Mg
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$		46			
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	12			9.31	26% P

Fuente: Adaptado de Relab denHaan, 2007.

1.3. Asimilación del nitrógeno por las plantas

Las plantas requieren nitrógeno para la formación de aminoácidos y proteínas, es un elemento limitante en su desarrollo, por lo que un aporte inadecuado disminuye notablemente la producción de los vegetales, fuente directa o indirecta de las sustancias proteicas que aseguran la nutrición del hombre (UHU, 2012).

Se considera que aproximadamente el 2% del peso seco de las plantas es nitrógeno, en tejidos jóvenes se puede alcanzar hasta el 5.5-6.5% (UHU, 2012). De acuerdo al laboratorio holandés Relab denHaan (2007) el contenido ideal de nitrógeno en el peso seco del tejido de un rosal debe oscilar entre el 2.38-3.92% (entre 23 800-39 200 mg/k de materia seca). A medida que la planta se desarrolla, el contenido de nitrógeno disminuye, y aumenta la proporción de celulosa, elevando la relación carbono/nitrógeno C/N (UHU, 2013). Las hojas mantienen el mayor contenido de nitrógeno, pero su valor disminuye al iniciarse la floración (UHU, 2012).

El nitrógeno en la planta se encuentra en forma orgánica, principalmente en forma proteica, pero también forma parte de moléculas como las purinas, pirimidinas, porfirinas, vitaminas, alcaloides y enzimas (UHU, 2012).

El nitrógeno asimilado en forma NO_3^- no puede ser utilizado directamente por la planta, requiere su reducción hasta NH_4^+ o NH_2^+ . Esta reducción demanda un aporte energético de la planta, para ello emplea una gran cantidad de glúcidos de reserva y las sustancias resultantes de la fotosíntesis (UHU, 2012).

La reducción de NO_3^- a NH_4^+ requiere de 2 etapas. En la primera, el NO_3^- es transformado en NO_2^- , catalizado por dos electrones (e^-) y molibdeno (Mo) mediante la enzima nitrato reductasa. En la segunda etapa, el NO_2^- se reduce a NH_3^+ mediante 6 electrones y catalizada por la nitrito reductasa. Las reacciones son las siguientes:



Por ello, siempre se ha discutido si no es más conveniente para la planta aplicar el fertilizante en forma amoniacal en vez de nítrica. Mediante experimentación se ha podido demostrar que la forma NH_4^+ es más rápidamente asimilada por la planta que el NO_3^- , siempre que esté sana y tenga un alto contenido de glúcidos (UHU, 2012).

Las plantas también pueden utilizar el nitrógeno orgánico como en NH_2^+ , aminoácidos y aminos aplicados foliarmente, en especial los dos últimos.

1.3.1 Papel del nitrógeno en las células. En los órganos vegetativos como las hojas, el nitrógeno se encuentra cerca de las proteínas del cloroplasto o citoplasmáticas, aproximadamente entre un 20-40% del nitrógeno soluble, la mayoría como aminoácidos libres y amidados, como la asparragina y glutamina, contribuyendo a la síntesis de proteínas (UHU, 2012).

Pero sin duda alguna, el nitrógeno en la planta forma parte de los aminoácidos, que su estructura consisten en un grupo amino (NH_2^-) y un grupo ácido carboxílico ($-\text{COOH}$). Los aminoácidos son los precursores de los péptidos y las proteínas (UHU, 2012).

Con la senescencia de la hojas viejas, las proteínas se descomponen y el nitrógeno vuelve a estar disponible para el desarrollo de las plantas (APR, 2001).

En nitrógeno en formas inorgánicas, como son los compuestos amónicos, nitratos y nitritos también, se encuentra en la planta en pequeñas cantidades (UHU, 2012).

1.3.2 Exceso de nitrógeno. El exceso de nitrógeno convierte a las plantas más vigorosas y suculentas, pero más sensibles a las plagas como son trips, áfidos, oidio y velloso. El follaje es verde intenso con una reducción del desarrollo, similar al exceso de sales (White, 1987).

El exceso de sulfato de amonio causa una sintomatología similar a la deficiencia de hierro y manganeso, con clorosis entre las venaciones de los folíolos. Con aplicaciones excesivas de nitrato de amonio, las hojas inferiores presentan necrosis marginal semejante al estrés causado por exceso de temperatura y baja humedad (White, 1987).

El exceso de amonio causa clorosis entre la venación muy pronunciada de las hojas inferiores (Woodson y Boodley, 1982). El exceso de nitrógeno en general, causa necrosado de las puntas de las raíces (Relab denHaan, 2007).

El aumento de la temperatura del suelo aumenta la asimilación del nitrógeno. En exceso puede causar el típico síntoma de estrés por sales (Relab denHaan, 2007). Un exceso de amonio en el suelo induce a una inhibición de la asimilación del potasio, calcio y magnesio (Relab den Haan, 2007).

1.3.3 Deficiencia de nitrógeno. Por ser un elemento móvil en la planta, su deficiencia se presenta con una ligera clorosis en toda la planta, siendo más intensa en la parte inferior, al trasladarse el poco nitrógeno que contienen a los puntos de crecimiento. El desarrollo se detiene, las hojas son de menor tamaño, pierden firmeza, los entrenudos son cortos y el diámetro de los nuevos brotes se reduce (White, 1987; Relab denHaan, 2007). Algunas variedades presentan márgenes y venas con tonalidades púrpura (Oertli, 1966), las flores pueden perder coloración presentando tonalidades más claras (White, 1987).

1.4 Importancia de la aplicación de nitrógeno al cultivo de rosas

Como se ha podido comprobar en los capítulos anteriores, el nitrógeno es fundamental para el desarrollo de las plantas y de la vida animal, por ello su aplicación a los cultivos es justificada. En el cultivo de los rosales, la producción y la calidad de las rosas depende de su aplicación diaria mediante la fertirrigación (riego y fertilización), materia orgánica y bioles.

Ahora bien, su aplicación está justificada para mantener la calidad del cultivo. Lo que no es justificable, es la aplicación de cantidades exageradas que contaminan el suelo y las aguas subterráneas. Cabrera *et al.* (1995a), en el estudio realizado sobre la asimilación de nitrógeno por rosas cultivadas en invernadero, determinaron que un rosal durante el verano (hemisferio Norte) la asimilación diario de nitrógeno oscilaba entre 60-70 mg N planta día⁻¹, mientras que en invierno bajaba 30 mg N planta día⁻¹, con una asimilación total anual nitrógeno de 16,8 g N planta año⁻¹.

Por ello es importante determinar la cantidad de nitrógeno a ser aplicado de acuerdo a la producción existente, realizar comprobaciones mediante análisis de suelo y foliares, y en especial mantener sistemas de control diarios mediante lisímetros de succión.

1.4.1 Contenido ideal de nitrógeno. El contenido de nitrógeno se realiza mediante análisis de suelo y foliares, los laboratorios han establecido diferentes parámetros de acuerdo al método empleado para determinar esta cantidad.

Relab denHaan (2007) establece dos parámetros, uno para las muestras foliares y otro para las de suelo. Para los análisis foliares el nitrógeno debe oscilar entre 2.38-3.92% Total de la materia seca. Para las muestras de suelo el valor óptimo se sitúa en 298 mg de NO₃⁻ y <2 mg de NH₄⁺.

1.4.2 Exportación de nitrógeno. Desde el inicio de la floricultura, el uso del nitrógeno ha variado. La primera recomendación fue realizada por Post (1950) quien sugirió la aplicación de 680 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Ya en 1969, Boodley *et al.* recomendaban entre 4760-6350 kg N ha⁻¹ año⁻¹, en consideración a Post (1950) una alta cantidad de nitrógeno es incorporada al cultivo para garantizar el desarrollo de los rosales y una alta producción. Tsujita (1987) menciona que para mantener un 3% de nitrógeno en los análisis foliares de rosas, se debe aplicar entre 300-400 mg/L nitrógeno en cada riego, con una lámina de 5 mm (5 L/m²) día, implicaría la incorporación entre 5475-7300 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Otros autores como Joiner *et al.* (1983) consideran en cambio que la concentración de nitrógeno en la solución de riego debe oscilar entre 150-200 mg/L N, lo que implicaría con una lámina de 5 mm/día un total de 2737-3650 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Para determinar la cantidad de nitrógeno a ser aplicado y mantener los parámetros indicados en los análisis de suelo y foliares, Manzanares (1992) realizó el primer estudio de exportación de nutrientes en el cultivo de rosas de la variedad Marjan bajo invernadero, en condiciones de Ecuador.

La producción total fue de 1 130 000 flores en 10 000 m² durante un año, con un total de 60 000 plantas sembradas. Esto implicaría una producción de 18.83 flores m² año. Mensualmente cada planta produjo 1.57 flores (f/p/m) (Manzanares, 1992).

Toda la producción se midió y pesó por largo de tallo obteniéndose el peso bruto de la cosecha. En la tabla 2 se puede apreciar el número de tallos por cada largo obtenido, base para la obtención de la materia seca exportada por el cultivo en tallos florales durante un año.

Tabla 2. Producción de rosas de la variedad Marjan por largo de tallo durante un año.

Tamaño cm	30	40	50	60	70	80	90	100
%	5	6	20	25	20	15	5	4
# Flores ha.	56 500	67 800	226 000	282 500	226 000	169 500	56 500	45 700

Fuente: Manzanares, 1992.

Para la determinación de la exportación de nutrientes en el cultivo de rosas bajo invernadero se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

- Peso de las hojas, tallos y flores de la cosecha
- Peso de las yemas extraídas para la formación del botón

- Peso de las hojas y tallos de las limpiezas
- Peso de los patrones extraídos (brotes no deseados del portainjerto)

En las tablas 3, 4 y 5, se presentan los kilos de materia seca por variable (hojas, tallos y flores) correspondientes a la producción de rosas, yemas, patrones y tallos ciegos durante un año.

Tabla 3. Resumen de los kilos de materia seca exportados como hojas en un hectárea de cultivo.

Concepto	kg/ha
Hojas de flores exportadas	8369.48
Hojas de las limpiezas	9164.35
Hojas de las yemas	1598.38
Hojas de los patrones	364.92
GRAN TOTAL	19 497.13

Fuente: Manzanares, 1992.

Tabla 4. Resumen de los kilos de materia seca exportados como tallos en una hectárea de cultivo.

Concepto	kg/ha
Tallos de flores exportadas.	5705.25
Tallos de las limpiezas.	6269.23
GRAN TOTAL	11 974.48

Fuente: Manzanares, 1992.

Tabla 5. Resumen de los kilos de materia seca exportados como flores en una hectárea de cultivo.

Concepto	kg/ha
Flores de los tallos exportados.	7981.00
GRAN TOTAL	7981.00

Fuente: Manzanares, 1992.

En el laboratorio se realizaron los análisis de las hojas, tallos y flores. Con los resultados se pudieron obtener los kg de cada nutriente exportado. En las tablas 6, 7 y 8 se presentan los resultados de exportación de nutrientes para cada una de las variables.

Tabla 6. Exportación de nutrientes en 19 497 kg exportados en las hojas.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu
%	3.20	0.27	2.33	1.04	0.43	0.23	0.0153	0.0157	0.0049	0.0019	0.0006
Kg/ha	623.91	52.64	454.28	202.77	83.84	44.84	2.98	3.06	0.96	0.37	0.12

Fuente: Manzanares, 1992.

Tabla 7. Exportación de nutrientes en 11 974 kg exportados en los tallos.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu
%	1.24	0.20	2.61	1.16	0.48	0.07	0.0052	0.0046	0.0008	0.0012	0.0006
Kg/ha	148.48	23.95	312.53	138.90	57.48	8.38	0.62	0.55	0.10	0.14	0.07

Fuente: Manzanares, 1992.

Tabla 8. Exportación de nutrientes en 7981 kg exportados en las flores.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu
%	1.96	0.28	3.00	0.52	0.35	0.13	0.0063	0.0028	0.0014	0.0021	0.0006
Kg/ha	156.43	22.35	239.44	41.50	27.93	10.38	0.50	0.22	0.11	0.17	0.05

Fuente: Manzanares, 1992.

Con las exportaciones parciales se puede concluir la exportación total del cultivo para la obtención de una producción anual de 1 130 000 tallos (tabla 9).

Tabla 9. Exportación de nutrientes de las flores cosechadas durante un año en una hectárea con una producción de 1 130 000 tallos.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Mn	Zn	Cu
Hojas kg/ha	623.91	52.64	454.28	202.77	83.84	44.84	2.98	3.06	0.96	0.37	0.12
Tallos kg/ha	148.48	23.95	312.53	138.90	57.48	8.38	0.62	0.55	0.10	0.14	0.07
Flores kg/ha	156.43	22.35	239.44	41.50	27.93	10.38	0.50	0.22	0.11	0.17	0.05
Total kg/ha	928.82	98.94	1006.26	383.18	169.25	63.60	4.11	3.84	1.16	0.68	0.24

Fuente: Manzanares, 1992.

A partir del estudio de Manzanares (1992), se puede concluir que un cultivo de rosas para producir 1 130 000 tallos, debe exportar del suelo 928.82 kg N año⁻¹.

En 1993, Cabrera *et al.* realizaron una extensa prueba durante un año con rosas cultivadas en macetas con tres dosis de nitrógeno, 75 mg/L, 154 mg/L y 231 mg/L. Las rosas con las dosis de 75 mg/L presentaron deficiencia de nitrógeno y se elevó a 105 mg/L. Los resultados al finalizar el año de estudio no presentaron diferencias significativas en la producción de materia seca, número de rosas y podas por planta, y en el % de nitrógeno en las hojas. En la tabla 10 se presentan los resultados del ensayo.

Tabla 10. Promedio del contenido de nitrógeno en las hojas y acumulación de cosechas, podas y flores en la variedad “Royalty” tratadas con tres diferentes concentraciones de nitrógeno durante un periodo de 12 meses.

Tratamiento	Cosecha		Podas	Contenido de N en las hojas
	g de M.S. por planta	No. flores por planta	g de M.S. por planta	% en M.S.
77 (105) ppm N	333.7	40.6	79.0	3.15
154 ppm N	318.1	40.8	86.6	3.39
231 ppm N	324.2	45.1	88.9	3.26
LSD(0,05)	n.s	n.s.	n.s.	0.18

n.s. = no significativo

Fuente: Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1993.

Si se aplica una lámina de riego de 5 mm con las dosis del ensayo de Cabrera *et al.* (1993), implicaría 1405 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con 77 mg/L de N; 1916 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con 105 mg/L de N; 2810 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con 154 mg/L de N y 4215 kg N ha⁻¹ año⁻¹ con 231 mg/L de N. A excepción de la dosis de 77 mg/L que se presentó deficiencia de nitrógeno, en las dosis de 105, 154 y 231 mg/L no se presentaron diferencias significativas, el exceso de nitrógeno se lixivió en los lisímetros.

Prado (2002) realizó un estudio en tres variedades de rosas en la provincia de Cotopaxi, concluyendo que la cantidad de nitrógeno al año necesario para mantener una producción de 1.4 f/p/m en Peckoubo, 0,78 f/p/m en Ambiance y 0.82 f/p/m en Leonidas, y con una eficiencia del nitrógeno del 80% se situó en Peckoubo 443 kg N ha⁻¹ año⁻¹, Ambiance kg N ha⁻¹ año⁻¹ y Leonidas 235 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Es evidente que la asimilación de nitrógeno varía dependiendo de la variedad cultivada, su desarrollo y su producción. El resultado en los análisis de hojas, tallos y botones para la variedad Peckoubo fue: hojas 2.96-3.34% de nitrógeno, tallos 0.93-2.33% de nitrógeno y en los botones de 3.06-4.68% de nitrógeno. Es notorio el alto porcentaje de nitrógeno acumulado en los botones, esta puede ser una de las causas de la alta sensibilidad a la botritis de la variedad.

Si las cosechas se realizan en picos (producciones altas para fiestas), la demanda de nitrógeno es mayor que en producción abierta. Cabrera *et al.* 1995a, en un ensayo en rosas hidropónicas de la variedad Royalty cultivadas en invernadero con una solución nutritiva compuesta de 3.0 mM NO₃-N, 0.25 mM H₂PO₄, 1.75 mM K⁺, 1.0 mM Ca²⁺, 0.5 mM Mg²⁺, 0.75 mM SO₄²⁻, 1 mg Fe L⁻¹ como Fe-EDDHA, con un pH de 6 y una CE 0,5 dS m⁻¹, pudieron observar que durante la elongación del brote se presentaba la más baja asimilación de

nitrógeno con $0.4 \text{ mg planta día}^{-1}$, mientras que la máxima asimilación se presentó cuando se comenzó a formar el botón floral con una asimilación de $146 \text{ mg planta día}^{-1}$.

Cabrera *et al.* (1995b), en la variedad Royalty definieron la asimilación del nitrógeno en un ciclo de 45 días (desde la brotación de una yema hasta su cosecha). La menor asimilación se presentó en el día quince, en plena brotación, y la mayor desde el inicio de la formación del botón hasta su cosecha. En la tabla 11 se presentan los detalles de la asimilación por cada componente de la planta. En el estado 2, todas las partes de la planta ganan nitrógeno, en el estado 3 (mayor crecimiento), solo gana nitrógeno el brote nuevo, mientras que las hojas y tallos viejos junto con las raíces lo pierden; en el estado 4, los brotes nuevos y las raíces ganan nitrógeno, mientras que tallos y hojas viejas lo pierden; y en el estado 5 (floración), todas las partes de la planta ganan nitrógeno, en especial el brote para la formación de la flor.

Tabla 11. Nitrógeno total asimilado por la variedad Royalty por cada parte de la planta durante un ciclo de floración. Los valores corresponden a la media de seis plantas, expresada en mg nitrógeno.

Estado de desarrollo de la planta	Nuevos brotes	Hojas viejas	Tallos viejos	Raíces	Total planta
Estado 1 (día 3)	-	-	-	-	-
Estado 2 (día 15)	22.7	103.3	102.0	15.8	243.8
Estado 3 (día 26)	179.1	-36.6	-77.7	-36.3	28.4
Estado 4 (día 36)	254.4	-81.7	-80.4	68.2	160.6
Estado 5 (día 45)	329.8	71.5	164.5	126.0	691.8

Fuente: Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1995b.

Se puede concluir que la aplicación de nitrógeno en un cultivo de rosas en producción abierta debe ser constante, en cantidades suficientes que permitan un desarrollo adecuado y un buen tamaño de botón.

1.4.3 Cálculo de aplicación de nitrógeno en relación a la producción. Según Manzanares (1992), para producir una rosa se requiere de 0.82 gramos de nitrógeno puro, el cual puede ser aplicado en sus tres formas, nítrica, amoniacal y amínica. Los 0.82 g de nitrógeno equivaldrían a 3.63 g/NO_3^- , 1.06 g/NH_4^+ o a 0.94 g/NH_2^+ .

El conocimiento de la producción es importante porque permite determinar la cantidad de nitrógeno que debe ser aplicado para mantener un adecuado desarrollo, sin perder calidad ni contaminar las aguas subterráneas.

Tabla 12. Consumo de nitrógeno en sus tres formas, de acuerdo a la producción en flor/planta/mes.

Producción	1.57	1.25	1.00	0.90	0.80	0.70
g/N/tallo	0.82	0.65	0.52	0.47	0.42	0.37
g/NO ₃ ⁻ /tallo	3.63	2.89	2.31	2.08	1.85	1.62
g/NH ₄ ⁺ /tallo	1.06	0.84	0.67	0.61	0.54	0.47
g/NH ₂ ⁺ /tallo	0.94	0.75	0.60	0.54	0.48	0.42

Fuente: Elaboración propia en base a Manzanares (1992).

En una hectárea con 230 camas a una densidad de 365 plantas por cama, se tendrían 83 950 plantas, con una producción de 0.80 flor/planta/mes según la tabla 12, 0.42 g/tallo con un requerimiento de 423 108 g nitrógeno hectárea año.

Esta cantidad contrasta con Cabrera *et al.* (1995a), de acuerdo al estudio de asimilación de nitrógeno en rosas cultivadas en macetas Una planta consume 16.8 g N planta año⁻¹, en una hectárea de siembra con 83 950 plantas se necesitarían 1 410 360 g nitrógeno hectárea año.

1.4.4 Aplicación de nitrógeno en la fertirrigación. Relab denHaan (2007) mantiene como valor óptimo de nitrógeno en el fertirriego 543 mg/L de NO₃⁻ y 18 mg/L NH₄⁺ aplicado diariamente sin tener presente la producción existente. La proporción es de NO₃⁻ 98.37% y NH₄⁺ 1.63%.

La cantidad de 928.82 kg de nitrógeno por año (Manzanares, 1992) aplicado en fertirrigación con una lámina de riego de 5 mm/día implicaría mantener 144.31 mg/L de nitrógeno en la solución irrigada.

La fertilización con nitrógeno se vuelve fácil con la tabla 12, un ejemplo de ello sería fertilizar un cultivo con una producción 0.8 flores/planta/mes (media para Ecuador), con una densidad de siembra de 75 000 plantas (media para Ecuador). Los cálculos son los siguientes:

$$75\ 000\ \text{plantas} \times 0.8\ \text{flores/planta/mes} \times 12\ \text{meses} = 720\ 000\ \text{tallos}$$

$$720\ 000\ \text{tallos} \times 0.42\ \text{g/nitrógeno por tallos exportados} = 300\ 840\ \text{g} / 1000 = 300.8\ \text{kg N ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}.$$

Los 300.8 kg N ha⁻¹ año⁻¹ se aplican en 53 semanas, lo que daría 5.68 kg N ha⁻¹ por semana. Como la fertirrigación se realiza de lunes a viernes, implicaría 1.14 kg N ha⁻¹ por semana.

Para completar el cálculo, el nitrógeno puro se aplica en las tres formas, nítrica, amoniacal y amínica. Según Manzanares (2011), la combinación ideal es de 85% en forma nítrica, 10% amoniacal y 5% amínica. El resultado del nitrógeno a ser aplicado en las tres formas se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Cantidad total de nitrógeno en sus tres formas NO_3^- , NH_4^+ y NH_2^+ , a ser aplicado al cultivo por hectárea y día considerando su eficiencia.

Nitrógeno	%	kg/N puro	kg/día	Eficiencia	kg/día
NO_3^-	85	0.96	4.27	70	5.55
NH_4^+	10	0.11	0.15	80	0.18
NH_2^+	5	0.06	0.06	80	0.08

Fuente. Elaboración propia en base a Manzanares (2011).

Conover *et al.* (1986) en su estudio sobre plantas ornamentales de hojas, destaca que para obtener un mejor desarrollo en el follaje, es necesario un aporte de 50% NH_4^+ y 50% NO_3^- , lo que puede ser importante durante el cultivo, en los primeros estados de desarrollo el aporte de NH_4^+ debe ser igual al del NO_3^- para reducirlo al momento de entrar en producción.

Al nitrógeno aplicado como NO_3^- de acuerdo a Hauck (1981) entre el 25-30% del nitrógeno incorporado al suelo, se pierde debido a la desnitrificación, por ello, posee una eficiencia del 70%. Hauck (1981) considera que el 15-20% del NH_4^+ se pierde debido a la volatilización, por ello se considera que posee una eficiencia del 80%. Para garantizar la aplicación del nitrógeno en cada forma, se aumenta el porcentaje que se pierde.

1.5 Contaminación con nitratos

De acuerdo a Groeneveld *et al.* (2001) los NO_3^- de uso agrícola son uno de los principales factores en la contaminación de las aguas subterráneas. El problema es tan grave que pasó de ser local a mundial (Heathwaite *et al.* 1993; UNEP, 2003).

El problema más importante en la lixiviación de NO_3^- está relacionado con el bajo costo del consumo de agua y de los fertilizantes, si se aplica agua y nitrógeno en altas cantidades se garantiza un excelente desarrollo sin elevar significativamente los costos de producción.

Las altas cantidades de nitrógeno y agua aplicados en los cultivos son drenados y lixiviados de la zona radicular a las capas más profundas a través de las grietas y poros del suelo

(Cabrera, 1993). Prueba de ello son los resultados de Morisot (1978), en los estudios realizados en el Sur de Francia. En áreas de cultivos agrícolas encontró niveles de nitrógeno promedio de 500 kg N ha⁻¹ y máximo de 2200 kg N ha⁻¹ en zonas inferiores a la rizósfera, nitrógeno no aprovechable por la raíz.

Los acuíferos contaminados por la lixiviación de nitratos que son utilizados para el consumo humano son un problema para la salud, en especial para los lactantes y mujeres embarazadas. Es prioritario determinar la cantidad de nitratos que son lixiviados a las aguas subterráneas.

1.5.1 Lixiviación de nitratos. Estudios realizados por Krupnik *et al.* (2004) han demostrado que solo el 50% del nitrógeno aplicado al suelo es asimilado por los cultivos, el resto del nutriente se acumula en el suelo, regresa a la atmósfera, es lixiviado a las aguas subterráneas o arrastrado por las aguas superficiales.

Tabla 14. Nitrógeno total aplicado, lixiviado y cosechado en la variedad "Royalty" con tres diferentes concentraciones de nitrógeno.

Tratamiento	N aplicado	N lixiviado		N cosechado ¹	
	g por microlisímetro	g por microlisímetro	% ²	g por microlisímetro	%
77 mg/N	17.12	3.65	21.32	8.34	48.71
154 mg/N	26.70	10.63	39.81	8.98	33.63
231 mg/N	41.02	20.25	49.37	8.54	20.82
LSD (0.05)		2.21		n.s.	

¹ Incluye el nitrógeno presente de las podas

² Indica el porcentaje del nitrógeno cosechado y lixiviado con respecto al nitrógeno total.

Fuente: Fuente: Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1993.

En un ensayo de Cabrera *et al.* (1983) con rosas, se aplicaron tres dosis de nitrógeno, 75 mg/L, 154 mg/L y 231 mg/L, el promedio de lixiviación anual por rosal se situaba entre 3.65-20.25 g planta, correspondiente entre el 21.3% y el 49.4% del total de nitrógeno aplicado al año. Los datos del ensayo se presentan en la tabla 14, donde es evidente que a mayor cantidad de nitrógeno aplicado, mayor es la pérdida y menor el aprovechamiento, con 231 mg/L aplicadas el 49.37% del nitrógeno aplicado es lixiviado y solo el 20.82% es aprovechado por la planta en la producción de biomasa.

Basado en el modelo de Van Dreht *et al.* (2003) con datos obtenidos por Bouwman *et al.* (2005) se realizó un mapa mundial de los nitratos lixiviados a los acuíferos superficiales para el año 2005. En la figura 4 se aprecia que las más altas lixivaciones (>75 mg/L NO₃) se

encuentran al norte del hemisferio, concentradas en el nordeste de Estados Unidos, al norte de Europa y al nordeste de Asia.

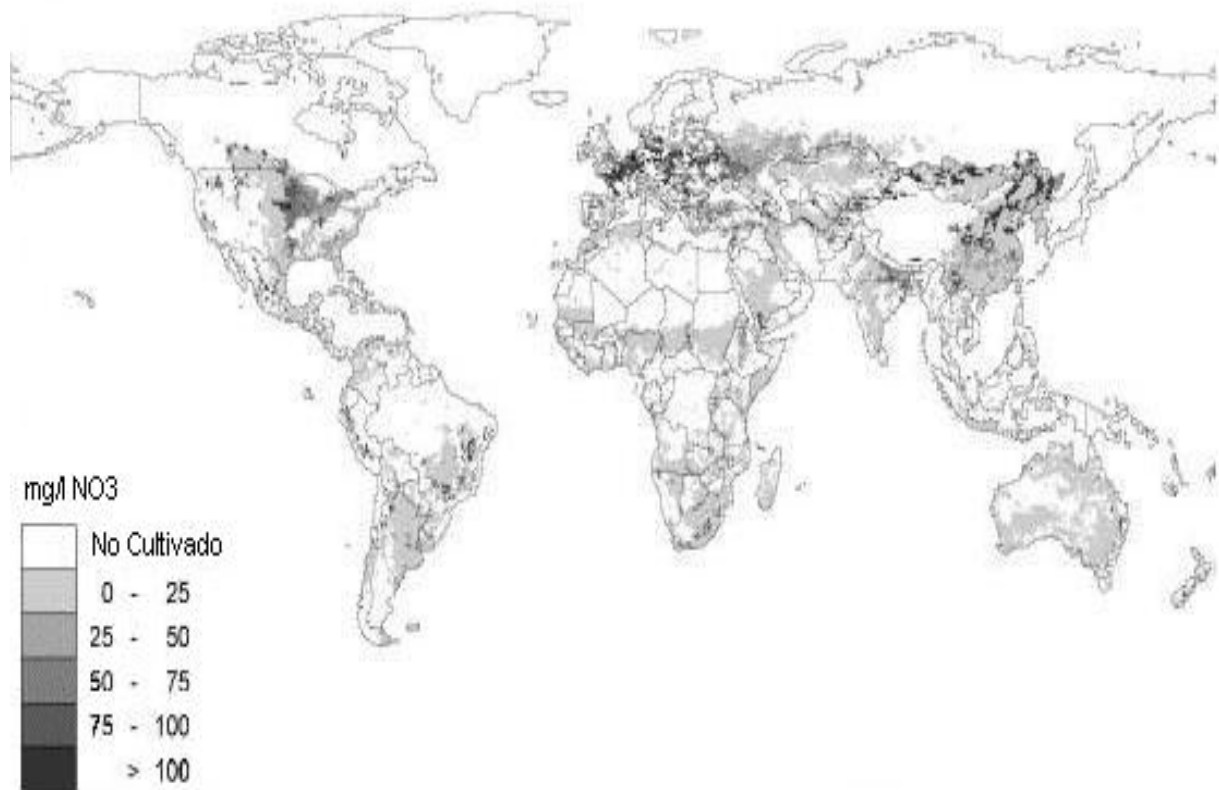


Figura 4. Concentración de nitratos en el agua lixiviada durante 1995.

Fuente: Eickhout *et al.*, 2006.

Todo apunta a que el incremento de la lixiviación de nitratos a escala mundial va en aumento (Figura 5), esto quedó claro en un modelo presentado por Eickhout *et al.* (2006) con la tendencia a escala mundial. No solo en el hemisferio norte se proyecta un incremento, sino que la tendencia es mundial, incrementándose notoriamente en Sudamérica, África, Asia y Australia.

1.5.2 Los nitratos en las aguas subterráneas. La utilización de fertilizantes nitrogenados y la aplicación de estiércoles en los campos dedicados a la agricultura, son las principales causas de la contaminación de los acuíferos en el área de Nottingham, Inglaterra (Rivers *et al.*, 1996). Dillon (1991) menciona que son las causas principales de la contaminación de las aguas subterráneas en al sur de Australia y Burden *et al.* (1982) en Nueva Zelanda.

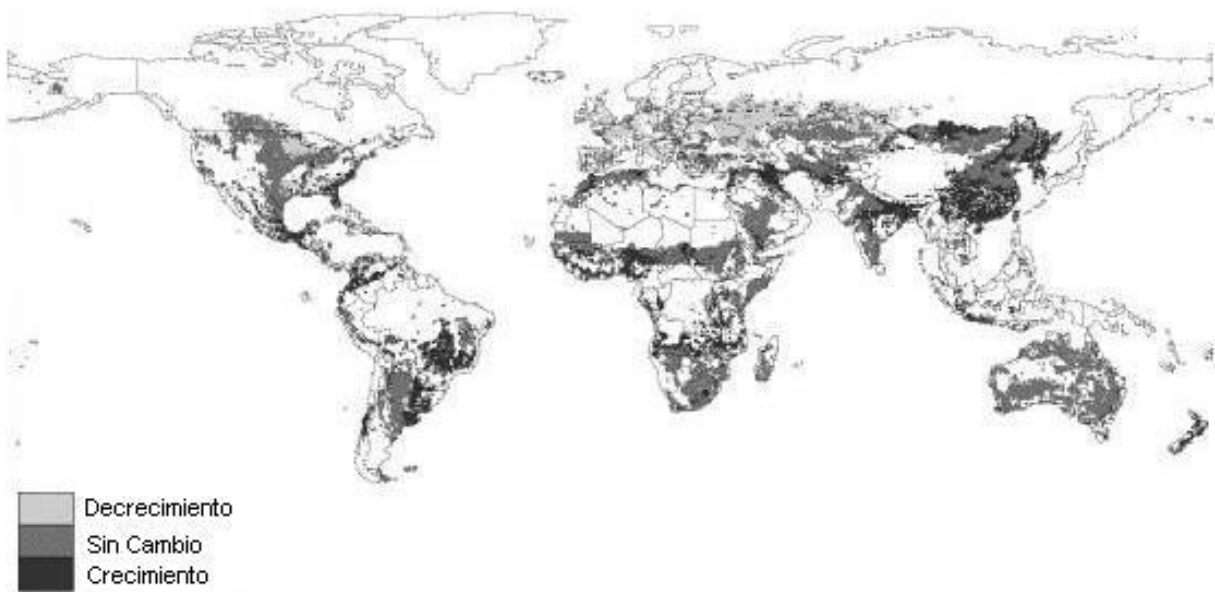


Figura 5. Tendencia a la lixiviación de nitratos entre 1995-2030.

Fuente: Eickhout *et al.*, 2006.

1.5.3 Los nitratos en las aguas superficiales. En el cultivo de rosas bajo invernadero no se presenta el arrastre de nitratos en las aguas superficiales. El sistema de riego mediante goteros de alta tecnología impide la erosión del suelo y el arrastre de nutrientes.

El arrastre de fertilizantes, y en especial de los nitratos, es un serio problema en la agricultura tradicional, con el uso de riego por surcos y aspersión. Al ser menor la infiltración del agua en el suelo que la aplicada, se presenta escorrentía con el agua cargada de nutrientes.

1.6 Problemas de las aguas con exceso de nitratos

Se estima una reserva de agua dulce de aproximadamente 37 millones km³ (3/4 partes corresponden a glaciares y hielo polar, 1/4 parte a acuíferos subterráneos), pero solamente 9000 km³ anuales son aprovechables por el hombre (Arce, 1994).

De acuerdo a Arce (1994), una persona necesita anualmente 30 m³ de agua como consumo directo; como consumo indirecto requiere 20 m³ en procesos industriales y 400 m³ para productos agrícolas, lo que implica un total de 450 m³ persona año. Con la cantidad de agua aprovechable de 9000 km³ y el consumo anual de una persona de 450 m³, implica que el

agua disponible podría mantener una población de 20 000 millones de personas. Con una población actual estimada al 30 de octubre del 2011 de 7000 millones (Wikipedia, 2014), se supone se tendría agua de sobra. Pero la realidad es diferente, la ubicación del agua no es homogénea en el mundo, hay zonas con alta disponibilidad como Sudamérica, y otras con baja disponibilidad, como África.

Otro factor que implica la reducción de la disponibilidad de agua es el constante deterioro de la misma. Aunque en Ecuador no se han realizado estudios que muestren la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, en países industrializados como los que conforman la Comunidad Económica Europea (CEE), han realizado estudios que comprueban la contaminación de las aguas con nitratos. En Arce (1994) se muestran datos preocupantes de la contaminación en el río Mosa en Bélgica, con una concentración entre 6 y 13 mg/L de nitratos. Cuando pasa por zonas agrícolas, la concentración sube en invierno hasta 100 mg/L, pero en ocasiones puntuales han alcanzado los 800 mg/L; en Francia, en un informe del Ministerio de Salud Francés emitido en 1981, se reconoció que a más del 2% de la población se les había suministrado agua con un contenido de nitratos superior a 50 mg/L, el 91% del agua era subterránea.

Los procesos de industrialización y la agricultura intensiva son las causas principales de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de estas puede ser puntual o difusa. La puntual impacta principalmente a las aguas superficiales, y es la causada por vertidos industriales y domésticos, y las explotaciones ganaderas; en cambio, las difusas están relacionadas con la escorrentía al aplicarse fertilizantes nitrogenados.

Otro problema no muy estudiado es el exceso de nitratos en las hortalizas que son consumidas y que en forma directa pueden afectar a la salud, no existe aún control en Ecuador. En Arce (1994) se menciona un estudio realizado en Alemania, en el que encontraron que las lechugas, acelgas, espinacas y remolacha tienen tendencia a acumular los nitratos, en cantidades que superaban las 1000 ppm.

1.6.1 Aguas superficiales. La contaminación de las aguas superficiales (ríos, embalses y lagunas) está directamente relacionada con los vertidos de la industria y las aguas servidas de uso doméstico, todas van a los ríos sin previo tratamiento. Asimismo intervienen las fuentes de origen agrario, principalmente por el exceso de fertilización de los cultivos y una inadecuada gestión de los desechos procedentes de las explotaciones ganaderas (Fernández *et al.*, 2011).

En las aguas urbanas vertidas a los ríos, la fuente de nitrógeno procede principalmente de la orina humana, la que está compuesta por 25 g/L de urea, 0.6 g/L de NH_4^+ , 0.6 g/L de ácido úrico y 1.5 g/L de creatina, la mayoría de ellos mediante hidrólisis forman NH_4^+ (Blancas *et al.*, 2001). De acuerdo a Blancas *et al.* (2001), en los vertidos urbanos se eliminan 13 g de nitrógeno por habitante día. Toda esta cantidad de nitrógeno contamina las aguas y agudiza los problemas de eutrofización y de intoxicaciones si son utilizadas río abajo para consumo humano.

La contaminación de ríos y afluentes constituye un serio problema para la salud humana, en especial cuando son utilizadas para su consumo o en riego de huertas.

Las aguas superficiales, al alcanzar los diferentes ecosistemas acuáticos, son la principal causa de la eutrofización de las aguas con la degradación de la calidad de esta y la muerte de numerosa fauna acuícola (Fernández *et al.*, 2011).

1.6.1.1 Procesos de eutrofización. Los procesos de eutrofización se deben principalmente al enriquecimiento de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo, en un ecosistema acuático. Favorecen el crecimiento desenfrenado de algas, disminuyen el oxígeno en el agua, limitando la vida acuática. Un proceso de eutrofización produce un aumento de la biomasa (usualmente algas unicelulares, algas verdes, en mares se pueden formar mareas rojas), pero al mismo tiempo, reduce la biodiversidad (Wikipedia, 2014b).

Bouwman *et al.* (2002) ya alertó el riesgo de los excesos de nitrógeno y los procesos de acidificación (causados por la acumulación en el suelo de NH_3^+), eutrofización de los ecosistemas naturales y lo peor, la pérdida de biodiversidad debido a la deposición del nitrógeno.

La principal causa de la eutrofización de los ecosistemas acuáticos se debe a la contaminación agropecuaria, en especial por la contaminación difusa del suelo y de los acuíferos por la aplicación masiva de fertilizantes de origen inorgánico. Los excrementos de animales, debido a su producción masiva, aportan una gran cantidad de nutrientes que son lixiviados. En ambos casos, los excesos de NO_3^- y NH_4^+ , así como la de fósforo (P), son los que inciden significativamente en el desarrollo de las algas verdes.

En un estudio realizado por Le Scienze (2008) se muestran cifras alarmantes de los procesos de eutrofización en lagunas del mundo. El 54% de las lagunas asiáticas, el 53% de

la europeas, 48% del centro y Norteamérica, 41% de las sudamericanas y 28% de las africanas, están afectadas.

1.6.2 Aguas subterráneas. La utilización de aguas con altos contenidos de nitratos y nitritos pueden producir metahemoglobinemia, en especial en los lactantes menores a 6 meses (Arce, 1994).

La U.S. Environmental Protection Agency (EPA) determinó ante el problema que la concentración máxima en el agua potable no debería superar 10 mg/L nitrato, equivalente a 45 mg/L de NO_3^- (U.S EPA, 1991). En cambio, la *World Health Organization* (WHO) fijó el máximo en 50 mg/L de NO_3^- , equivalente a 11 mg/L nitrato (WHO, 2004).

En Ecuador los requisitos del agua potable están normados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, en la NTE INEN 1 108-2011 se establece que el agua potable deberá cumplir con los siguientes requisitos relacionados con el nitrógeno como límite máximo permitido: nitratos (NO_3^-) 50 mg/L; nitritos (NO_2^-) 0.2 mg/L (INEN, 2011).

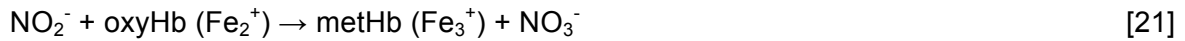
En Ecuador no se han realizado estudios de la contaminación de NO_3^- en las aguas subterráneas. En países como Alemania, que el uso del agua subterránea es más frecuente, los estudios realizados demuestran que el porcentaje de muestras con NO_3^- hasta 10 mg/L han disminuido en el tiempo, y en cambio, las muestras con porcentajes mayores a 10 mg/L han aumentado. Este considerable aumento se debe al uso de fertilizantes nitrogenados en los cultivos agrícolas. Otro caso citado en WHO (2004) es en la India, en 1991 se realizaron 4696 muestras de las cuales 1290 muestras contenían NO_3^- en cantidades superiores a 45 mg/L, correspondiente al 27.5% del total.

Tabla 15. Tendencia en la concentración de NO_3^- en el agua potable de la República Federal de Alemania.

Año	1926	1941	1959	1975	1983	1989
Número de análisis	909	1830	984	5043	4462	7360
Concentración de nitratos en mg/L	En %					
Hasta 10	78.1	76.3	63.6	51.6	48.9	46.1
>10-20	10.8	11.1	17.8	23.3	21.8	21.2
>20-30	5.6	6.7	8.9	14.1	12.8	14.0
>30-40	2.4	2.0	4.3	6.0	8.0	9.2
>40-50	1.4	1.6	2.6	2.2	4.3	5.5
>50	1.4	2.3	3.1	2.7	4.0	4.1

Fuente: En WHO, 2004.

1.6.2.1 La metahemoglobinemia. La metahemoglobinemia se produce en el organismo cuando los iones NO_3^- se reducen a NO_2^- , éste inicia un proceso de oxidación del hierro ferroso de la hemoglobina a estado de hierro férrico, en estas condiciones la hemoglobina es incapaz de transportar el oxígeno (Arce, 1994). La reacción se detalla a continuación (WHO, 2004):



Los adultos poseen un sistema enzimático que convierte la metahemoglobina (metHb) en oxihemoglobina (oxyHb) (Arce, 1994). En los lactantes este sistema enzimático no está desarrollado, y por ello, la metahemoglobina causa la metahemoglobinemia (Arce, 1994).

De acuerdo a Arce (1994), en la sangre se encuentra normalmente 1% (en adultos) y el 2% (en niños) de la hemoglobina en metahemoglobina (metHb). Los primeros síntomas en la salud se presentan con el 10% metHb; con el 20% metHb se agrava y produce anoxia cerebral y con el 50% causa la muerte por asfixia.

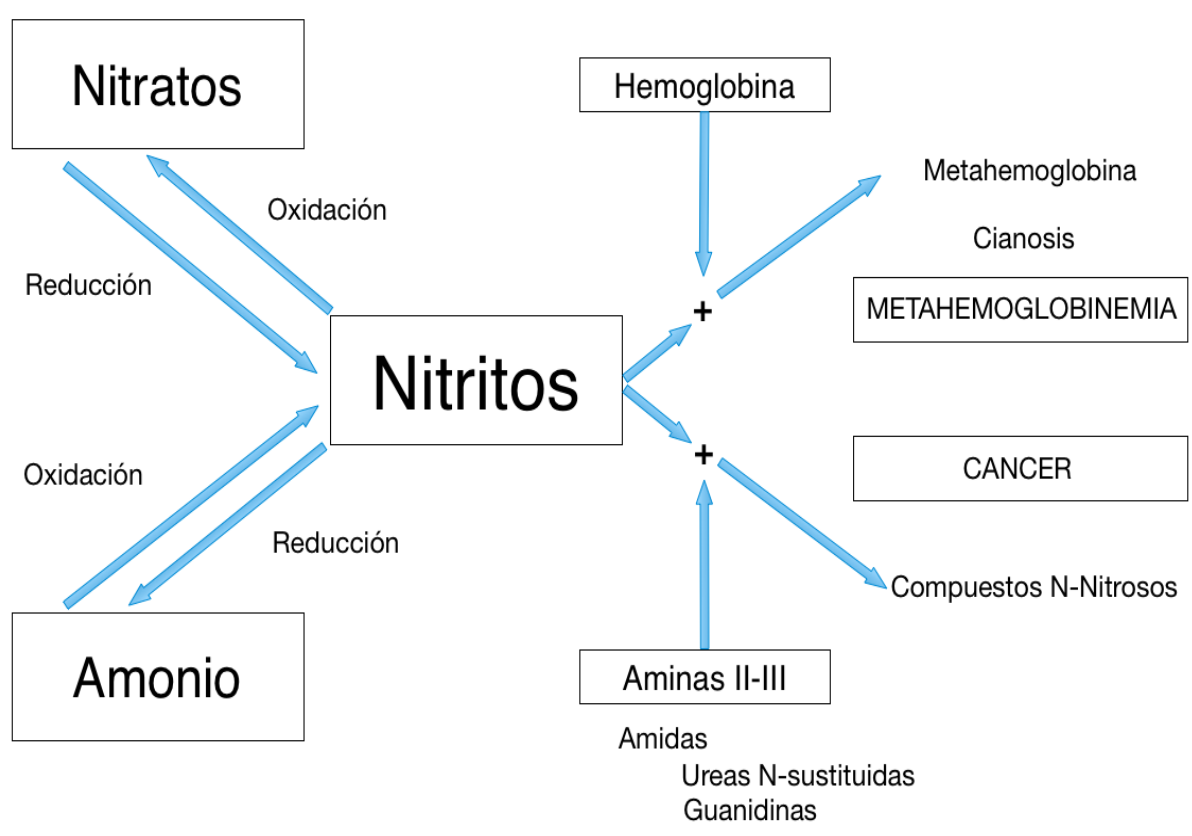


Figura 6. Esquema de la relación entre los nitratos, nitritos y el amonio y su incidencia en la salud humana.

Fuente: Elaboración propia en base a Arce, 1994.

Además de los lactantes, otros grupos de riesgo son las mujeres embarazadas debido al incremento de metHb y las personas con deficiencia en glucosa-6-fosfato deshidrogenasa o methB reductasa (Speijers *et al.*, 1989)

1.6.2.2 Cáncer. El NO_3^- no es un cancerígeno en animales de laboratorio (WHO, 2004). Sin embargo, han sido relacionados algunos tumores con la formación endógena de compuestos N-nitroso. Esta incidencia se presenta únicamente con niveles alrededor de 1000 mg/L en el agua potable (WHO, 2004). Al consumir agua con exceso de NO_3^- , en el estómago de las personas adultas se forman los NO_2^- , estos a su vez en nitrosaminas y nitrosamidas, sustancias que poseen un efecto cancerígeno (Fernández *et al.*, 2011).

De acuerdo a WHO (2004) los NO_3^- reaccionan con las sustancias N-nitrosables en el estómago y forman compuestos N-nitrosos. Estos compuestos han probado ser cancerígenos en todas las pruebas realizadas a animales en laboratorio. Aproximadamente el 75% de los 120 compuestos N-nitrosos pueden ser cancerígenos en animales (Gilli *et al.*, 1984).

Zaldívar (1973), con datos recabados en 1960, relacionó el cáncer de estómago con la exposición del nitrato de sodio (Nitrato de Chile) utilizado como fertilizante. Pisano *et al.* (1980) por su parte encontraron una clara asociación entre la producción de trigo y cebada con la frecuencia de cáncer de estómago (en ambos casos se utilizan fertilizantes nitrogenados para su desarrollo).

**CAPÍTULO II. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CON NITRATOS
PROCEDENTES DE LA LIXIVIACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS
APLICADOS MEDIANTE FERTIRRIGACIÓN, BIOL Y MATERIA ORGÁNICA**

Introducción

El cultivo de los rosales en Ecuador es intensivo, desde la siembra hasta su erradicación se mantienen con una fertilización que incluye los 17 nutrientes esenciales (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, sodio y cloro) según Marschner (2012).

La cantidad de agua y fertilizantes aplicados dependen del estado fenológico dominante, la regla es a mayor cantidad de producción mayor aporte de agua y nutrientes. Es importante mencionar que sólo en podas a mesa para temporadas de fiestas, el cultivo de los rosales se mantiene con todos los estados fenológicos, desde la brotación de una yema, pasando por el crecimiento del brote hasta la formación de las rosas.

La fertilización de un cultivo en producción abierta, con todos los estados fenológicos, implica un gran aporte de nutrientes, a pesar que un brote requiere menos elementos que un tallo con rosas en proceso de formación.

Los fertilizantes simples o compuestos son aplicados al cultivo mediante aportes edáficos cerca de las raíces de las plantas o mediante el sistema de riego o fertirriego, usualmente por goteros, aunque los aspersores también son utilizados. En todo caso, el fertilizante es aplicado a la zona radicular para alcanzar la mayor eficiencia posible. El sistema más empleado es el de fertirrigación (agua con fertilizantes) mediante goteros. Los fertilizantes se disuelven en agua en tanques de 1000 litros, el A, B y el C para el ácido, para evitar reacciones entre los mismos, a través de un inyector se mezcla con el agua de riego.

La fertirrigación está relacionada con el clima, usualmente se suele aplicar entre 5-7 mm por día (5-7 litros de agua por m²), si los días son nublados y lluviosos se reduce la lámina a 5 mm y si está soleado se alcanzan los 7 mm, e inclusive puede ser mayor. Usualmente la determinación de la lámina a ser aplicada suele depender de tensiómetros (instrumento que permite conocer el estado de la humedad de suelo), la radiación diaria (depende de la acumulación de joules por cm²), o mediante la evaporación registrada en un evaporímetro Clase A. Un exceso de agua fomenta el drenaje del agua aplicada y la lixiviación de los nutrientes, en especial los nutrientes móviles como el NO₃⁻. En cambio, una lámina baja implica la acumulación de sales y la disminución del desarrollo del rosal.

También son utilizados como fertilizantes y enmiendas orgánicas la aplicación de materia orgánica (cascarilla de café, gallinaza, compostaje realizado con los desechos vegetales de la finca y estopa de palma africana) y la aplicación de bioles realizados en un biodigestor con estiércol de vaca, entre otros productos orgánicos de desecho.

2.1 Descripción de las variables

Las variables de la presente investigación son la cantidad de fertilizantes nitrogenados aplicados, la cantidad de agua en la fertirrigación, los riegos con duchas, el agua que drena después de cada riego y los nitratos lixiviados en el agua drenada.

2.1.1 Fertilizantes nitrogenados aplicados. Se presentan cuatro fuentes importantes con nitrógeno: el agua de riego, los fertilizantes inorgánicos, la materia orgánica y la aplicación de biol. El agua, por ser de manantiales que atraviesan extensas praderas dedicadas a la ganadería y agricultura, aporta una considerable cantidad de nitrógeno, 12 mg/L de NO_3^- y 2 mg/L de NH_4^+ . Los fertilizantes inorgánicos son aplicados mediante el sistema de fertirrigación y los bioles con ducha. La materia orgánica se coloca cerca del sistema radicular para mejorar la estructura del suelo, y durante el proceso de mineralización libera NH_4^+ , que mediante la nitrificación produce NO_3^- . Las plantas pueden asimilar el nitrógeno en forma de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y NH_2^+ , pero la forma que asimilan en mayor cantidad NO_3^- (White, 1987).

Los fertilizantes con nitrógeno pueden ser NO_3^- , NH_4^+ y NH_2^+ . Los nítricos empleados son el nitrato de calcio (CaNO_3), nitrato de magnesio (MgNO_3), ácido nítrico (HNO_3); en los amoniacales está el fosfato de amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$). El nitrato de amonio (NH_4NO_3) posee N-nítrico y N-amoniaco, la urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) es el único fertilizante con N-amínico.

Una vez son aplicados los fertilizantes, se encuentran sometidos a diferentes procesos en el suelo. El nitrato de amonio se disocia formando NO_3^- y NH_4^+ , una parte de dichas moléculas es asimilada por las raíces de plantas, mejorando su desarrollo y producción. El NH_4^+ sufre el proceso de nitrificación y se transforma en NO_2^- , y finalmente NO_3^- queda también disponible para las plantas. Durante el proceso de nitrificación se presentan pérdidas de nitrógeno en forma de N_2O y NO , los nitratos a su vez también pueden transformarse mediante la desnitrificación en NO_2^- con posibles pérdidas en N_2O , NO y N_2 ; tanto el NO_3^- como el NH_4^+ están sometidos a una inmovilización por microorganismos que forman materia orgánica, la que por la mineralización se transforma en NH_4^+ una vez más. El NH_4^+

puede volatilizarse y perderse en la atmósfera como NH_3^+ , en especial con pH de suelo alto. Finalmente, el NO_3^- está sometido a procesos de lixiviación mediante el drenado de los excesos de agua (Yara, 2011).

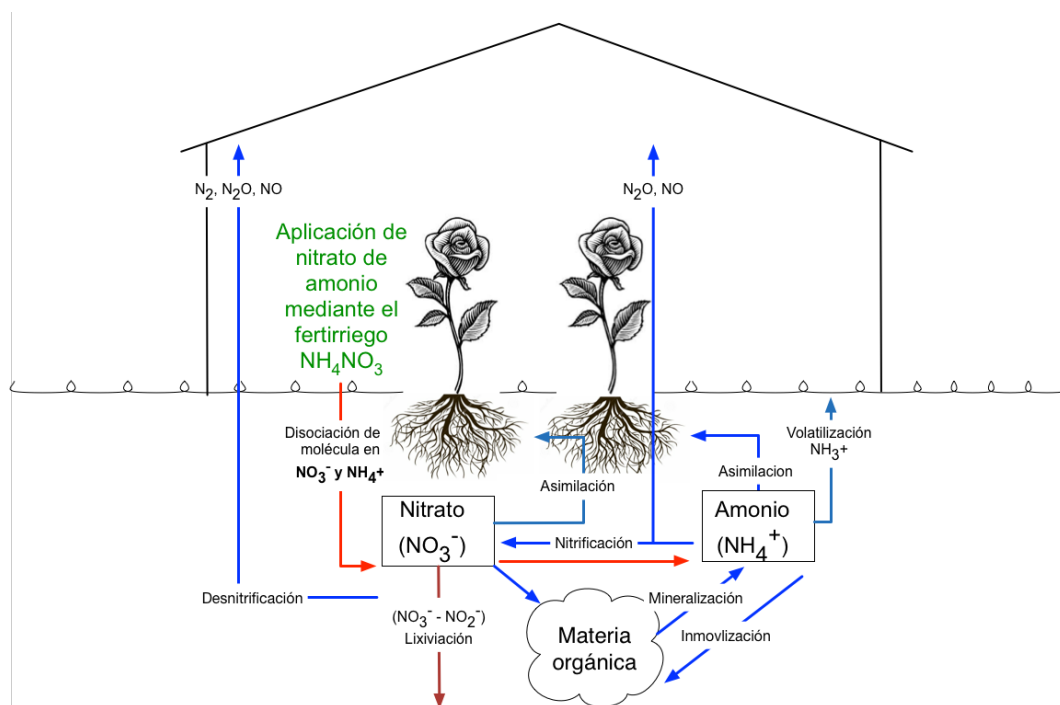


Figura 7. Procesos del nitrato de amonio en el suelo al ser aplicado como fertilizante.

Fuente: Adaptado de: Nitrate fertilizer. Optimizing yield, preserving the environment. Yara International, 2011.

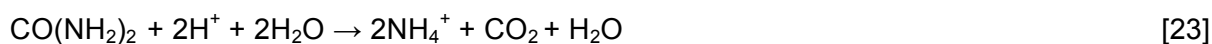
El NO_3^- es fácilmente asimilable por la planta y posee una gran movilidad en el suelo, sea procedente del nitrato de amonio, potasio, calcio o magnesio. El NH_4^+ , en cambio, posee una menor movilidad y la planta lo asimila en menor cantidad. Por su carga positiva es fijado por los coloides del suelo, y compite en su asimilación con otros cationes como el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}) y potasio (K^+).

Cuando se aplica al suelo urea o carbamida ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), no es asimilada directamente por las raíces de las plantas, requiere de varias reacciones previas para ser disponible (Finck, 1988). Las reacciones son las siguientes:



En un suelo con pH mayor a 6.3, sufre una reacción de hidrólisis catalizada mediante la enzima ureasa, liberando 2 moléculas de amonio y un anión bicarbonato que sube el pH alrededor de los granos del fertilizante hasta 8.5, favoreciendo la pérdida del nitrógeno en NH_3 (INTA, 2006; Yara, 2011).

Si la reacción se da en un medio con pH menor a 6.3, libera 2 moléculas de amonio, dióxido de carbono y agua.



Una parte del NH_4^+ será asimilada por las plantas, y el resto sufrirá el proceso de nitrificación, con mayores pérdidas de nitrógeno si se aplica urea.

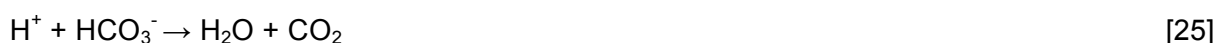
Los fertilizantes aplicados por hectárea de cultivo desde los años 2008-2013 en Agrogana, se resumen en la tabla 16.

Tabla 16. Kilos de fertilizantes con nitrógeno aplicados por hectárea en el periodo 2008-2013.

Fertilizante	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Nitrato de amonio	115	508	247	394	538	781
Nitrato de potasio	1682	586	680	1162	965	1538
Nitrato de calcio	643	117	198	520	647	818
Ácido nítrico	1157	1643	2359	1961	1658	2013
Fosfato monoamónico	113	163	211	12	0	0
Nitroplus	766	61	32	0	0	0
Nitrato de magnesio	0	0	0	0	0	0

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

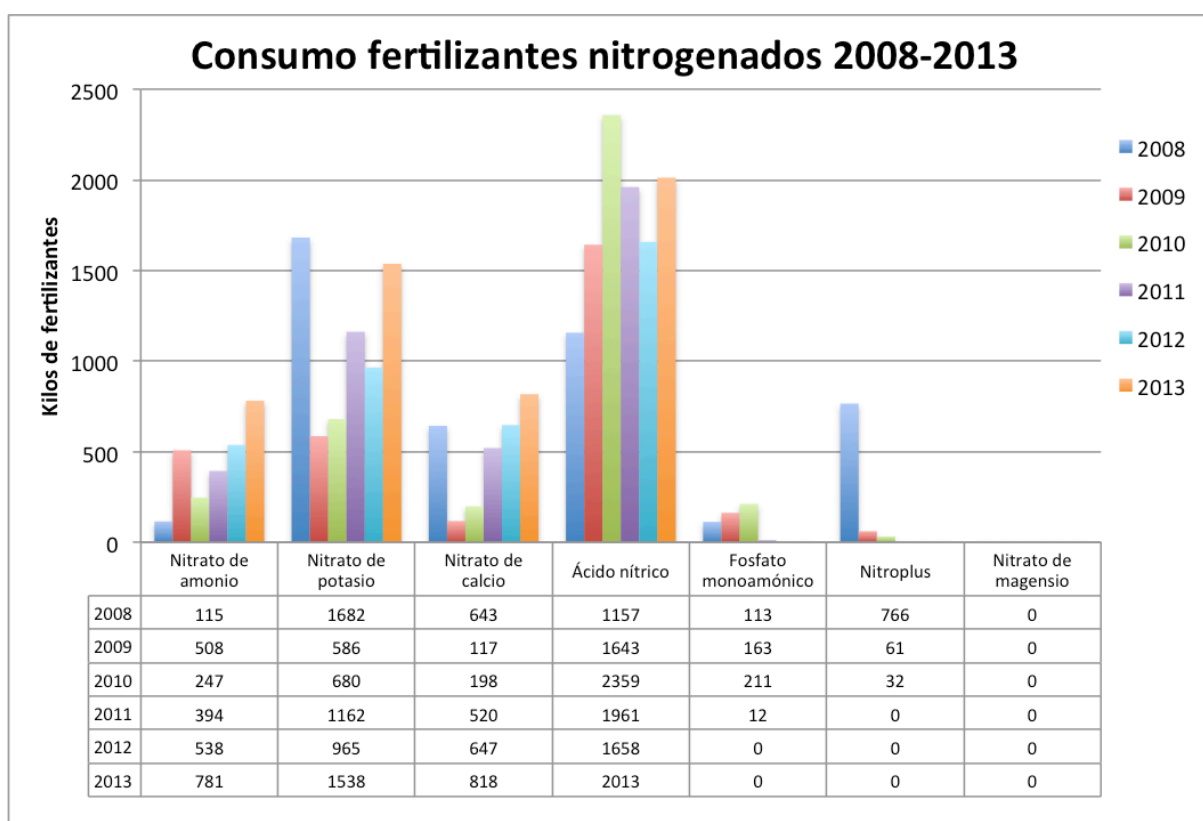
Entre los fertilizantes más aplicados, está el ácido nítrico (HNO_3) con un aporte de 2013 kg ha^{-1} año^{-1} durante el año 2013, principalmente para neutralizar los bicarbonatos (HCO_3^-) existentes en el agua y así disminuir el pH de la solución irrigada. Al mismo tiempo aporta una gran cantidad de NO_3^- . El ácido nítrico en la solución salina del suelo se disocia y libera H^+ y el NO_3^- , el hidrógeno reacciona con el bicarbonato para formar agua y dióxido de carbono, bajando el pH:



El nitrato de potasio con 1538 kg ha^{-1} año^{-1} durante el 2013, es el segundo fertilizante más empleado, no solo por su aporte de NO_3^- sino también por el potasio (K) que mejora la

resistencia a las plagas y enfermedades, mejorando la calidad de la flor cosechada. Usualmente la relación del N/K es de 1:1. El nitrógeno mejora el desarrollo y el potasio endurece los tejidos. El nitrato de calcio es el tercer fertilizante más aplicado, una parte es aplicado en el fertirriego como CaNO_3 , y otra como CaSO_4 en forma edáfica. Durante el año 2013 se emplearon $818 \text{ kg CaNO}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El nitrato de amonio, con $781 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante el año 2013, con un aporte de NO_3^- y NH_4^+ . El Nitroplus, con nitrógeno amónico, en el año 2008 se aplicaron $766 \text{ L ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para disminuir su consumo hasta 0 L en el año 2011. De nitrato de calcio y de potasio, a partir del año 2008 se aplicaron en fuentes edáficas naturales, el calcio como sulfato de calcio, y el potasio como Sulpomag (mezcla de los sulfatos de potasio y de magnesio), después su consumo se limitó al de un mantenimiento diario.

Gráfico 1. Consumo de fertilizantes por hectárea durante el periodo 2008-2013.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

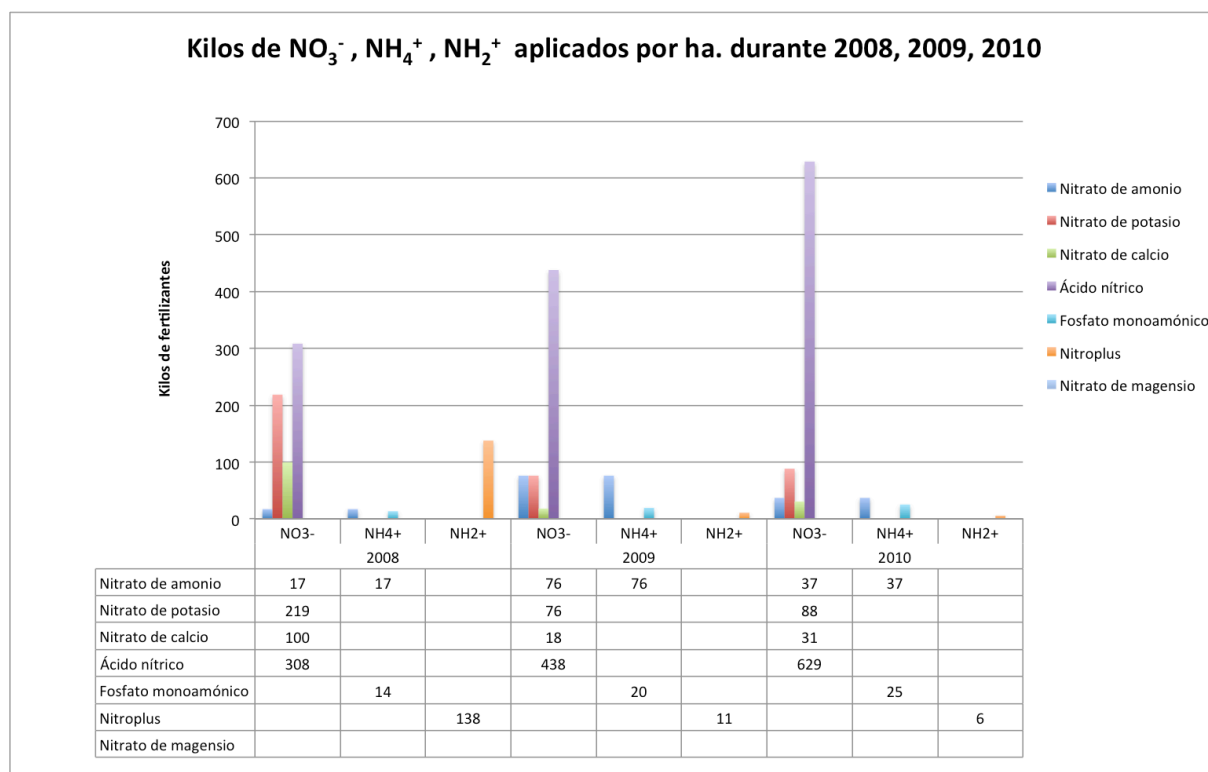
Todas las fuentes de nitrógeno de los fertilizantes aplicados con aporte de NO_3^- , NH_4^+ y NH_2^+ son resumidos en kg de cada nutriente en la tabla 17, del 2008 al 2010, y en la tabla 18, del 2011 al 2013. Es especialmente importante el aporte de NO_3^- , que durante el 2013 fue de 980 kilos por hectárea. Las moléculas de nitrógeno NH_4^+ y NH_2^+ son asimiladas directamente por las plantas, y mediante el proceso de la nitrificación son transformadas en NO_3^- , o por la volatilización se pierden en la atmósfera como NH_3^+ .

Tabla 17. Aporte de kg por hectárea de las diferentes formas de nitrógeno aplicadas anualmente durante el periodo 2008, 2009 y 2010 año y por cada fuente de fertilizante

Fertilizante	2008			2009			2010		
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺
Nitrato de amonio	17	17		76	76		37	37	
Nitrato de potasio	219			76			88		
Nitrato de calcio	100			18			31		
Ácido nítrico	308			438		629	629		
Fosfato monoamónico		14			20			25	
Nitroplus			138			11			6
Nitrato de magnesio									
TOTAL	644	31	138	608	96	11	785	62	6

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Gráfico 2. Evolución del aporte de las diferentes formas de nitrógeno aplicadas anualmente durante el periodo 2008, 2009 y 2010, y por fuente de fertilizante.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

En los gráficos 2 y 3 se aprecia el consumo de cada fertilizante, donde destaca la aplicación del HNO₃, junto al ácido sulfúrico para neutralizar la alta carga de bicarbonatos que tiene el agua de riego.

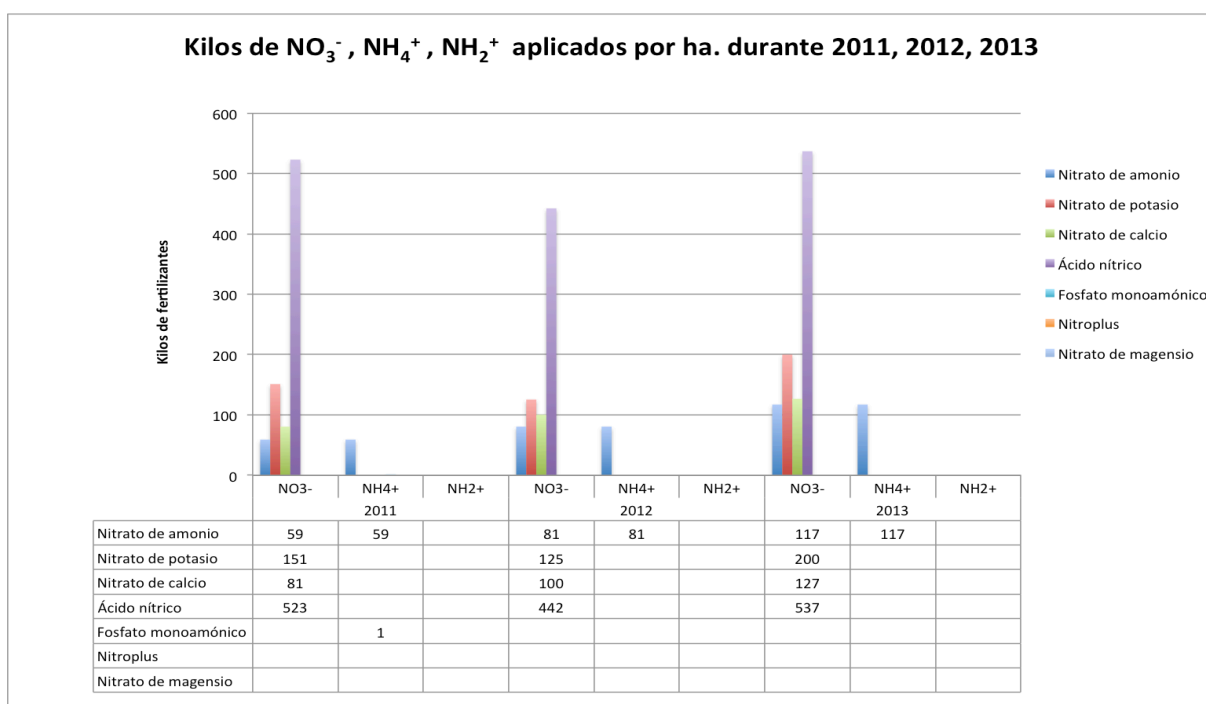
Tabla 18. Aporte de kilos de las diferentes formas de nitrógeno aplicadas anualmente durante el periodo 2011, 2012 y 2013 por fuente de fertilizante.

Fertilizante	2011			2012			2013		
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NH ₂ ⁺
Nitrato de amonio	59	59		81	81		117	117	
Nitrato de potasio	151			125			200		
Nitrato de calcio	81			100			127		
Ácido nítrico	523			442			537		
Fosfato monoamónico		1							
Nitroplus									
Nitrato de magnesio									
TOTAL	814	60	0	748	81	0	980	117	0

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Todos los fertilizantes inorgánicos aplicados mediante la fertirrigación se disocian en sus dos componentes y liberan a la solución del suelo los nutrientes, de acuerdo al porcentaje presente en el fertilizante, por ejemplo, el NH₄NO₃ posee un 15% de NH₄⁺ y 15% de NO₃⁻, así que por cada kg aplicado en la fertirrigación aporta 0.15 kg de NH₄⁺ y 0.15 kg de NO₃⁻.

Gráfico 3. Evolución del aporte de las diferentes formas de nitrógeno aplicadas anualmente durante el periodo 2011, 2012 y 2013 por fuente de fertilizante.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

2.1.2 Aporte de nitrógeno por bioles aplicados. La empresa Agrogana, aplica mensualmente bioles procedentes de la parte ganadera de la empresa. El estiércol de vaca, junto a otros productos del campo como desechos de papas y otras hortalizas son procesados en un biodigestor, para obtener un biol que es utilizado en los diferentes cultivos de la hacienda, o en el área de invernaderos de rosas. En la tabla 19 se puede apreciar el contenido de nutrientes nitrogenados por cada litro de biol.

Tabla 19. Contenido en mg/L de nutrientes nitrogenados en el biol.

Concepto	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	pH	C.E.
mg/L	120	340	8	10

Fuente. Elaboración en base a los análisis de Relab denHaan.

Destaca el alto contenido en NH₄⁺ procedente de la mineralización del estiércol en el biodigestor. Mensualmente se aplicaron por cama 50 litros de biol, durante el año del estudio se realizaron 12 aplicaciones, lo que implica 600 L biol/cama/año.

Con 230 camas por hectárea, la cantidad de biol aplicado anualmente asciende a 138 000 L ha⁻¹ año⁻¹. Con el biol el suelo recibe 17 kg NO₃⁻ ha⁻¹ año⁻¹ y 47 kg NH₄⁺ ha⁻¹ año⁻¹.

2.1.3 Aporte de nitrógeno por la materia orgánica aplicada. La materia orgánica es un importante componente de la fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo está relacionada con el aporte de nutrientes, y con su estructura, para mejorar la emisión de raíces (Sierra y Rojas, 2009).

La aplicación de la materia orgánica en el cultivo de rosas mejora la estructura del suelo, en especial las condiciones físicas. No aporta una gran cantidad de nutrientes, pero durante el proceso de mineralización libera NH₄⁺, que mediante la nitrificación deja disponible para las plantas NO₃⁻.

En Agrogana, se aplica materia orgánica dos veces al año, 4 sacos de 15 kg de compost de rosas realizado en la finca con los desechos vegetales del cultivo, y 1 saco de 5 kg de gallinaza descompuesta por cama. El principal componente es el carbono (C), el que varía entre el 25-50% (Sierra y Rojas, 2009). El porcentaje de nitrógeno varía en gran rango, pero oscila entre el 0.28-2.60% (Sierra y Rojas, 2009). El compost de rosas, muy utilizado en fincas, posee 2.2% de nitrógeno (Figueroa *et al.*, 2012).

Para la determinación del nitrógeno aplicado con la materia orgánica incorporada al suelo, se ha basado en el estudio de Figueroa *et al.*, (2012) presentado en la tabla 20.

Tabla 20. Caracterización química de la materia orgánica aplicada.

Material orgánico	CO ¹ (%)	MO ² (%)	C/N ³ (p:p)	N total ⁴ (%)
Compost de Rosas	29.1	63.1	13.2	2.2
Gallinaza	15.3	33.2	12.8	1.4

¹Carbono orgánico; ²Materia orgánica; ³Relación carbono nitrógeno; ⁴Porcentaje de N en base seca.

Fuente. Adaptado de Figueroa *et al.*, (2012).

La relación C/N es importante para determinar la capacidad de mineralización de un compuesto orgánico, si esta es menor a 20 se presentará una mineralización rápida, y si por el contrario es mayor a 25, el proceso será lento implicando la inmovilización del nitrógeno por parte de los microorganismos (Figueroa *et al.*, 2003). En ambos fertilizantes la relación C/N es inferior a 20, lo que sugiere una rápida mineralización y liberación de nitrógeno sin pérdidas por inmovilización.

En Agrogana, por hectárea se aplicaron 41 400 kg de compost de rosas de la finca y 3450 kg de gallinaza. La mineralización al 100% se completa en la semana 9 (Figueroa *et al.*, 2003), en la tabla 21 se aprecia la tasa de liberación semanal (Figueroa *et al.*, 2003). La gallinaza es la que se mineraliza más rápidamente y pone a disposición de las rosas el nitrógeno. El compost de rosas, por estar compuesto en ocasiones de pequeños tallos con un alto contenido de lignina, presenta una mineralización más lenta.

Tabla 21. Porcentaje de nitrógeno mineralizado por semana.

Semana	Compost de rosas	Gallinaza
1	15.59	33.74
2	44.99	60.32
3	53.04	79.34
4	57.53	85.99
5	62.39	89.57
6	69.04	93.17
7	79.14	95.44
8	90.68	97.25
9	100.00	100.00

Fuente. Adaptado de Figueroa *et al.* (2003).

Una mineralización al 100% de la M.O. aplicada, implica la incorporación de 911 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ procedente del compost de rosas y 48 kg de N ha⁻¹ año⁻¹ de la gallinaza. En la tabla 22 se presenta el resumen de la M.O. aplicada, y de la cantidad de nitrógeno mineralizado. El nitrógeno mineralizado de la M.O. se presenta disponible a las rosas como NH₄⁺, mediante el proceso de nitrificación parte del NH₄⁺ se transformara en NO₃⁻.

Tabla 22. Nitrógeno mineralizado anualmente de las diferentes enmiendas orgánicas en Agrogana durante el 2013.

Material orgánico	Total kg/ha/año	% N	Total N mineralizado ha/año
Compost de rosas	41 400	2.2	910
Gallinaza	3450	1.4	48

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

En resumen, la cantidad total de nitrógeno mineralizado procedente de la M.O. aplicada en el cultivo corresponde a $958 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

2.1.4 Nitratos y amonio en el agua de riego. El agua de Agrogana procede de la unión de varios manantiales que parten desde la cumbre del Cotopaxi, que pasan por diferentes áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería. Esto causa que se enriquezca de sales durante su recorrido. Su alto contenido en bicarbonatos (HCO_3^-) aumenta el pH y requiere ser neutralizada con el aporte de ácido nítrico (HNO_3) o ácido sulfúrico (H_2SO_4). El aporte de 12 ppm NO_3^- no es problema para la agricultura, pero impide el uso de agua para el consumo humano, de acuerdo a la norma NTE INEN 1 108-2011, que establece que el agua potable no debe exceder en nitratos (NO_3^-) 10 mg/L (INEN, 2011). El NH_4^+ , producto en especial de la ganadería, y al uso de fertilizantes como la Urea, es $<2 \text{ mg/L}$, cuando la norma NTE INEN 1 108-2006 establece que el agua potable no debería contener concentraciones mayores a 1 mg/L (INEN, 2006).

En la tabla 23 se muestra el resultado del análisis en los laboratorios Relab denHaan (2014), donde se puede apreciar su alto contenido en sodio (Na) 30 mg/L y de cloro (Cl) 18 mg/L, sales que de concentrarse cerca del sistema radicular podrían disminuir la producción de los rosales, siendo necesario forzar un drenaje diario para su lixiviación. El pH es 7.5 y la CE 0.4 mmhos/cm. El aporte de potasio, calcio y magnesio (Mg) mejora el desarrollo de la planta, disminuyendo la incorporación de fertilizantes con los nutrientes mencionados en el fertirriego.

Tabla 23. Análisis químico del agua de riego (mg/L) de Agrogana.

	NO_3^-	Cl^-	SO_4^-	HCO_3^-	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}
mg/L	12	18	19	189	2	8	30	16	17

Fuente. Laboratorios Relab denHaan, 2014.

2.1.5 Cantidad de agua aplicada. El agua aplicada en la fertirrigación es el solvente de los fertilizantes. El cálculo de la lámina está relacionado con el desarrollo de las plantas, su producción y la evapotranspiración del cultivo, la misma que depende del clima, a mayor temperatura, mayor lámina, y viceversa.

Cuando se aplica una lámina baja, los rosales disminuyen su desarrollo y se presenta un incremento en la salinidad del suelo. En cambio, con un exceso de agua se presenta pudrición de las raíces por ausencia de oxígeno (hipoxia) y fomenta la lixiviación de los NO_3^- .

Una cama 30 m de larga y 0.76 m de ancha, equivalente a 22.89 m², está compuesta por dos filas de plantas con un total de 375 plantas y 2 líneas de goteo. Una hectárea posee 230 camas, cada cama está separada por un camino de 0.8 m de ancho para poder realizarse las labores de cosecha y culturales. El riego de goteo es aplicado mediante las líneas de mangueras con goteros cada 30 cm, cada gotero posee un caudal de 2 L/hora, el sistema está computarizado para realizar cuatro riegos diarios de 12.43 minutos cada uno, este se inicia a las 4:00 AM y finaliza 7:30 PM. El riego por aspersión es realizado mediante aspersores colocados a 1 m de distancia, 30 por cama, cada aspersor posee un caudal de 42 L/hora.

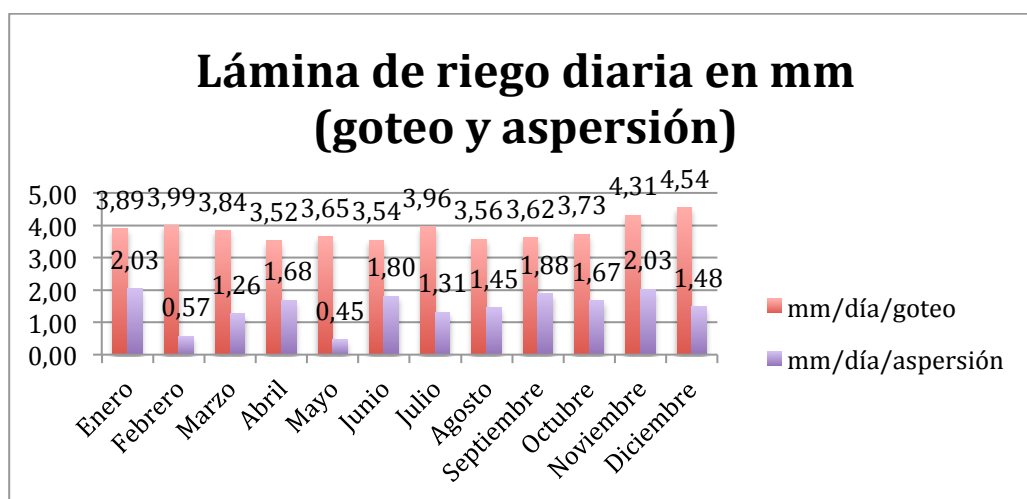
Tabla 24. Resumen del agua aplicada en m³ por hectárea neta/año a los rosales y lámina (mm) durante el año 2013.

	Goteo		Aspersión		Total	
	m3/mes	mm/día	m3/mes	mm/día	m3/mes	mm/día
Enero	1205	3.89	630	2.03	1835	5.92
Febrero	1116	3.99	159	0.57	1275	4.56
Marzo	1189	3.84	391	1.26	1580	5.10
Abril	1055	3.52	503	1.68	1558	5.20
Mayo	1132	3.65	141	0.46	1273	4.11
Junio	1062	3.54	541	1.80	1603	5.34
Julio	1228	3.96	405	1.31	1633	5.27
Agosto	1104	3.56	451	1.45	1555	5.01
Septiembre	1086	3.62	564	1.88	1650	5.50
Octubre	1156	3.73	518	1.67	1674	5.40
Noviembre	1293	4.31	608	2.03	1901	6.34
Diciembre	1408	4.54	460	1.48	1868	6.02
MEDIA	1170	3.85	448	1.47	1617	5.31

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

La lámina de riego se mide en mm y corresponde a los litros de agua irrigados por metro cuadrado (m^2), por ejemplo, una lámina de 1 mm implica 1 litro de agua por m^2 . Una hectárea posee 10 000 m^2 , por ello, una lámina de 1 mm implicaría la aplicación de 10 000 litros por día/ha. Las láminas de riego aplicadas durante el año 2013 se presentan en la tabla 24.

Gráfico 4. Lámina de riego en mm de goteo y aspersión aplicada en promedio por mes durante el año 2013.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Una hectárea recibe diariamente aproximadamente 53 164 litros de agua, entre goteo (lámina bruta de 3.85 mm) y aspersión (lámina bruta de 1.47 mm). Aproximadamente cada planta (con 86 250 plantas por hectárea) recibe 0.62 L/día, por m^2 5.32 litros. En el gráfico 4 se puede apreciar la lámina irrigada mediante gotero y aspersión en promedio mensual, las fluctuaciones se deben a las condiciones climatológicas y la producción. A mayor precipitación, menor necesidad de riego. En cambio, la lámina aumenta con la producción y clima soleado.

El agua aplicada el año 2013 entre riego y aspersión es de 19 404 900 litros. El agua posee 12 mg/L de NO_3^- y 2 mg/L de NH_4^+ , incorporando a la solución del riego entre goteo y aspersión 233 kg NO_3^- ha^{-1} $año^{-1}$ y 39 kg NH_4^+ ha^{-1} $año^{-1}$.

Esta cantidad es importante, incrementa la cantidad de nitrógeno disponible para la planta por lo que debe tomarse en cuenta al realizar los cálculos de fertirrigación.

2.1.6 Aporte total de nitrógeno. Con los fertilizantes inorgánicos, biol, agua y materia orgánica, aplicados al cultivo de rosas durante el año 2013, se incorporó la siguiente cantidad de compuestos nitrogenados: NO_3^- 1230 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y de NH_4^+ 1368 $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

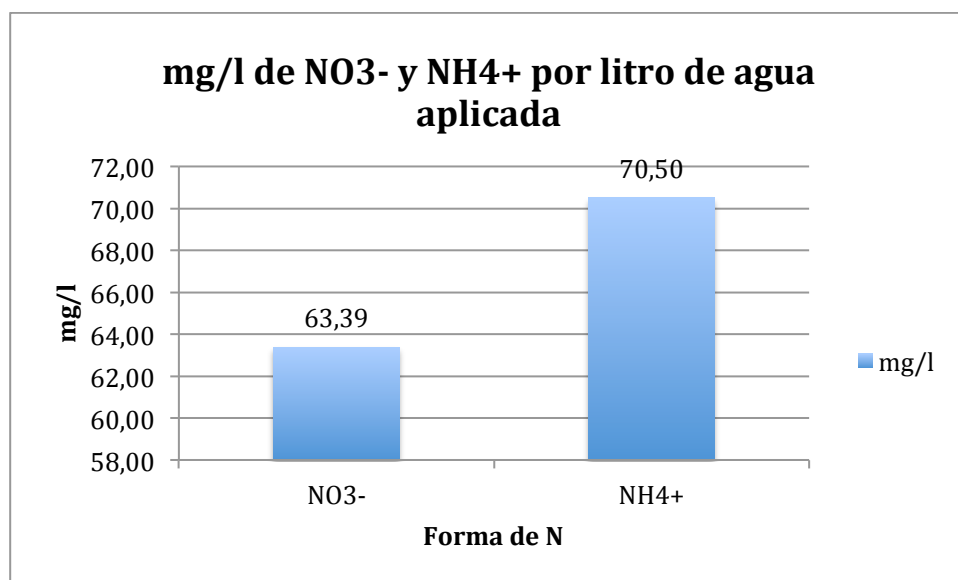
Tabla 25. Cantidad de NO_3^- y NH_4^+ aplicado en Agrogana durante el año 2013.

Concepto	$\text{kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$	$\text{kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
Fertilizantes	980	117
Biol	17	47
Materia orgánica		1165
Agua	233	39
Total	1230	1368

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

La disponibilidad de los nutrientes en la solución salina del suelo es la mezcla de los fertilizantes aplicados y del agua del riego, si durante el año 2013 se aplicaron 1230 $\text{kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y 1368 $\text{kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ disueltos en un total de 19 404 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de agua, implica que la solución disponible para las plantas posee 63.39 mg/L NO_3^- y 70.50 mg/L NH_4^+ . En realidad, el contenido de NO_3^- es mayor, y el de NH_4^+ menor, una parte del NH_4^+ es asimilado por las plantas, y la mayoría es transformada a NO_3^- mediante el proceso de la nitrificación en un corto periodo de tiempo.

Gráfico 5. Concentración de NO_3^- y NH_4^+ en agua irrigada mediante el sistema de riego de goteo.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

2.1.7 Salinidad del agua. Los rosales son muy sensibles a la salinidad (Cabrera, 1993), por ello requieren de riegos profundos para lavar las sales de la zona radicular. De hecho, se presenta una relación entre la conductividad (contenido de sales en

el suelo) y el rendimiento del rosal (López, 1981). A mayor salinidad, menor producción y mayor necesidad de drenaje. En la tabla 26 se muestra la reducción de producción, de acuerdo a la salinidad medida en CE (mmhos/cm), y la necesidad de drenaje para reducirla.

Tabla 26. Reducción del rendimiento del rosal en función de la salinidad del suelo y/o del agua de riego.

Reducción del rendimiento (% sobre el máximo)											
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
CE _s	1.7	2.1	2.5	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0
CE _a	1.1	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	3.8	2.9	3.1	3.3
ND	7%	9%	11%	13%	14%	15%	16%	18%	18%	19%	33%

CE_s = Conductividad eléctrica del suelo

CE_a = Conductividad eléctrica de la salinidad del agua

ND = Necesidad de drenaje

Fuente: Cultivo del Rosal en Invernadero, López (1981)

De acuerdo a López (1981), la CE máxima (CE_{max}) que puede aguantar un rosal antes de morir es de 16 mmhos/cm.

Para la necesidad de drenaje se emplea la siguiente fórmula (López, 1981):

$$ND = \frac{CE_a}{CE_{max}} \times 100 \quad [26]$$

En Agrogana, la CE del agua es de 0.4 mmhos/cm. Con la incorporación de los fertilizantes se alcanza 1.3 mmhos/cm, aplicando la fórmula se tendría una ND del 8.1%. Con una lámina diaria de 5.31 mm y una ND de 8.1%, implicaría que la necesidad de drenaje diario debería ser de 0.43 mm. Con el drenaje se desplazarían las sales del sistema radicular favoreciendo su desarrollo, este punto tiene importancia al evaluar el drenaje.

2.1.8 Agua drenada. El agua drenada corresponde al excedente que la planta no puede utilizar, y al drenaje calculado para lavar sales, con ella son lixiviados los nutrientes de mayor movilidad como los nitratos (NO₃⁻), cloruros (Cl⁻) y sulfatos (SO₄⁻), el sodio (Na⁺) y boro (B), para evitar los excesos cerca del sistema radicular. El agua drenada también está relacionada con la cantidad de sales que posee, para evitar la salinización del suelo se debe garantizar un drenaje que las arrastre al subsuelo. En el caso de Agrogana, el agua de riego posee una alta conductividad eléctrica (CE) 0.4 mmhos/cm, lo que implica que debe garantizarse un drenaje diario.

Como se puede apreciar en el análisis en la tabla 26, el agua de riego mantiene una alta carga mineral, el aumento de la lámina de riego para el drenaje del exceso de sales aumenta el volumen total del agua drenada.

2.1.9 Nitratos y nitritos en la solución salina del suelo. La medición de NO_3^- y NO_2^- de la solución salina indica diariamente la cantidad disponible para las plantas. En la tabla 27 se muestra la media de las lecturas diarias realizadas a la solución salina mediante el lisímetro de succión a 30 cm de profundidad del pH, C.E. y de los NO_3^- y NO_2^- .

Tabla 27. Cantidad de NO_3^- y NO_2^- , pH y C.E. registrado en la solución salina en promedio mensual durante 2013 (promedio mensual corresponde a las lecturas diarias).

	pH	C.E. (mmhos/cm)	NO_3^- (mg/L)	NO_2^- (mg/L)
Enero	7.50	0.80	500	0.00
Febrero	7.80	0.70	500	0.00
Marzo	7.40	0.80	350	0.00
Abril	7.30	0.70	250	0.00
Mayo	7.02	0.81	250	0.00
Junio	7.06	0.81	422	0.00
Julio	7.11	0.78	250	0.00
Agosto	7.23	0.87	500	0.00
Septiembre	7.09	0.76	250	0.00
Octubre	7.32	0.87	250	0.00
Noviembre	7.65	0.82	250	0.00
Diciembre	7.55	0.83	250	0.00
Media	7.90	1.02	359.06	0.00

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

El promedio en la solución del suelo disponible para la planta es de 335 mg/L NO_3^- día. En el fertirriego se aplican 63.39 mg/L de NO_3^- , la diferencia se debe al proceso de mineralización de la materia orgánica y de la nitrificación del amonio resultante a NO_3^- , al NH_4^+ aplicado al suelo mediante fertirrigación, materia orgánica, bioles y el contenido en el agua. Es importante destacar la ausencia de NO_2^- en la solución.

2.1.10 Nitratos lixiviados. Los NO_3^- lixiviados corresponden a los aportes del biol, la materia orgánica incorporada al suelo, los fertilizantes y los contenidos en el agua que son arrastrados con el drenaje. La determinación de los NO_3^- y NH_4^+ lixiviados se realiza mediante el lisímetro de percolación, en él se acumula el agua drenada durante un día en 1 m² de la plantación, y la determinación de la concentración de nitrógeno mediante un análisis en los laboratorios Relab denHaan, el nitrógeno lixiviado se drena a las aguas subterráneas contaminándolas. Las lecturas del agua drenada se realizaron todos los días durante el año 2013, siendo la acumulación del excedente de agua durante 24 horas.

2.2 Método del lisímetro de percolación

El método del lisímetro de percolación consiste en la recolección diaria del agua drenada después del riego aplicado por un periodo de 24 horas. El lisímetro de percolación se colocó en el bloque 11. Es importante destacar que el lisímetro de percolación posee una superficie de 1 m² y evalúa el área neta de la cama, no se tomaron en cuenta los caminos entre las camas, el principal de entrada al bloque y los laterales. La superficie neta corresponde a 5265 m² (230 camas x 22.89 m² de superficie neta cama) por hectárea sembrada. Los datos colectados corresponden a todo el año 2013, desde el 1 de enero al 31 de diciembre.

Mediante la recolección del agua drenada por hectárea durante todo el año y su análisis de minerales, se ha determinado la cantidad de NO₃⁻ y NH₄⁺.

2.2.1 Agua drenada. El promedio anual de agua aplicada corresponde a 1617 m³ mes⁻¹ ha⁻¹, la drenada es de 110 m³ mes⁻¹ ha⁻¹, lo que implica un porcentaje de drenaje del 6.78%, inferior a la necesidad de drenaje establecida en 8.1%. El agua drenada, al ser menor que la necesidad de drenaje, reduce la lixiviación de sales y NO₃⁻.

Tabla 28. Resumen del agua aplicada, drenada y aprovechada en m³ por mes, y el porcentaje de agua drenada (media mensual corresponde a lecturas diarias) durante 2013.

	Agua irrigada (m ³)	Agua drenada (m ³)	Agua aprovechada (m ³)	% de agua drenada (m ³)
Enero	1835	137	1698	7.49
Febrero	1275	68	1207	5.33
Marzo	1580	127	1453	8.06
Abril	1558	135	1423	8.68
Mayo	1273	69	1204	5.40
Junio	1603	83	1520	5.21
Julio	1633	96	1537	5.88
Agosto	1555	171	1384	10.97
Septiembre	1650	106	1544	6.45
Octubre	1674	126	1548	7.52
Noviembre	1901	71	1830	3.72
Diciembre	1868	124	1744	6.65
Media	1617	110	1508	6.78

Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

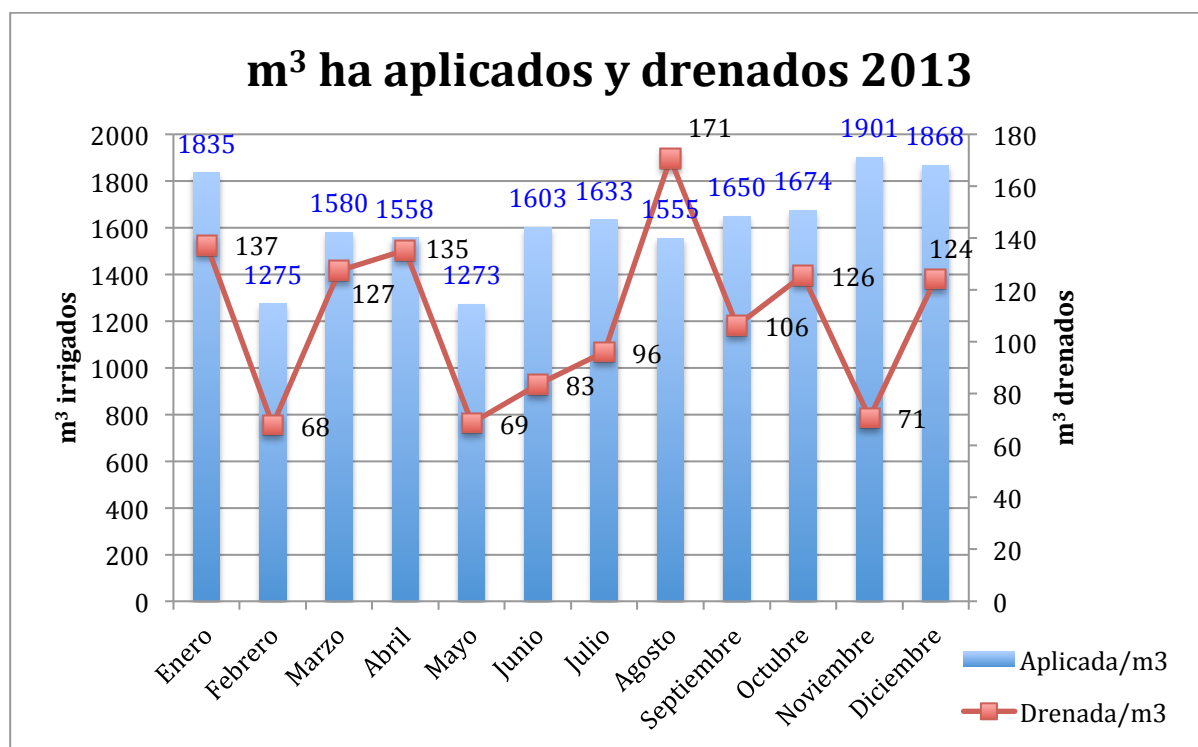
Los litros de agua aplicados con el riego por m² están directamente relacionados con la producción: a mayor producción, mayor cantidad de agua, y por el estado fitosanitario del cultivo: a mayor riesgo de la enfermedad *Peronospora sparsa* (velloso) menor cantidad de

agua. Durante los meses de febrero a mayo el riesgo de contraer vellosos es muy alto, por esto se disminuyen los riegos, en especial de aspersion.

El porcentaje de agua drenada es muy importante para evitar la acumulación de sales alrededor de la raíz, con una necesidad de drenaje del 8.1%. Durante el año 2013, sólo durante los meses de abril y agosto, se ha presentado un drenaje superior, el resto del año el porcentaje ha sido menor. En noviembre alcanzó el mínimo de 3.72%.

En el gráfico 6 se aprecia el agua drenada y recogida por el lisímetro de percolación en promedio en un m² durante los meses del año 2013.

Gráfico 6. Agua aplicada en m³ por hectárea a los rosales y agua drenada durante el año 2013.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

En resumen, en la hectárea neta bajo estudio durante el año 2013 se aplicó un total de agua de 19 405 m³ ha⁻¹ año⁻¹, y el agua drenada alcanzó 1314 m³ ha⁻¹ año⁻¹ con el 6.78%. El agua aprovechable por los rosales fue de 18 091 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

2.2.2 Nitratos lixiviados. Para determinar la cantidad de NO₃⁻ lixiviados se realizaron análisis del agua drenada en el laboratorio Relab denHaan, donde se obtuvieron los mg/L de nitrógeno lixiviado en el agua drenada.

Los resultados mostraron una gran cantidad de nutrientes lixiviados con el agua drenada. En la tabla 29 se muestra la concentración en mg/L de los macronutrientes, pH y C.E., y en la 30, de los micronutrientes.

Tabla 29. Concentración en mg/L de macronutrientes, pH y C.E. en el agua drenada y colectada en el lisímetro de percolación.

pH	C.E. (mmhos/cm)	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	P mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Si mg/L	Cl mg/L	Na mg/L
6.9	1.1	409	2	5	70	64	36	34	21	46

Fuente. Elaboración propia en base a los análisis de Relab denHaan.

Tabla 30. Concentración en mg/L de macro y micro nutrientes en el agua drenada y colectada con el lisímetro de percolación.

SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo
106	31	1.04	0.02	0.73	0.31	0.09	0.02

Fuente. Elaboración propia en base a los análisis de relab denHaan.

La concentración lixiviada de NO₃⁻ es de 409 mg/L y la de NH₄⁺ de 2 mg/L. El nitrógeno en el fertirriego es de 63.39 mg/L NO₃⁻ y 70.50 mg/L NH₄⁺. Contrasta la alta cantidad de NO₃⁻ lixiviado, que proviene del NH₄⁺ mineralizado de la materia orgánica.

2.2.3 Cantidad de nitratos lixiviados. Una ha neta de cultivo de rosas durante el 2013 con un total de agua aplicada de 19 405 m³ ha⁻¹ año⁻¹ drena 1314 m³ ha⁻¹ año⁻¹. Con la concentración de 409 mg/L de NO₃⁻ implica una lixiviación total de 537 kg NO₃⁻ ha⁻¹ año⁻¹ y con 2 mg/L NH₄⁺ se lixivian 2.66 kg NH₄⁺ ha⁻¹ año⁻¹.

Los meses de menor lixiviación de NO₃⁻ son febrero y mayo, con 28 kg NO₃⁻ con un drenaje de 68 y 69 m³ por ha respectivamente, mientras que la mayor lixiviación se presenta en agosto con 79 kg NO₃⁻ y un drenaje de 171 m³ por ha. La cantidad lixiviada de NO₃⁻ por hectárea es alta, promoviendo la contaminación del agua subterránea (por esta razón es importante realizar un programa en Agrogana que disminuya dicha lixiviación).

La lixiviación de NH₄⁺ contrasta con la de NO₃⁻, si se tiene presente que la adición del nutriente es de 1368 kg/ha/año y el mes de mayor lixiviación es agosto con 0.34 kg NH₄⁺. Esto se debe a las transformaciones y fijaciones que se presentan en el suelo, mediante la nitrificación un alto porcentaje de NH₄⁺ es transformado a NO₃⁻.

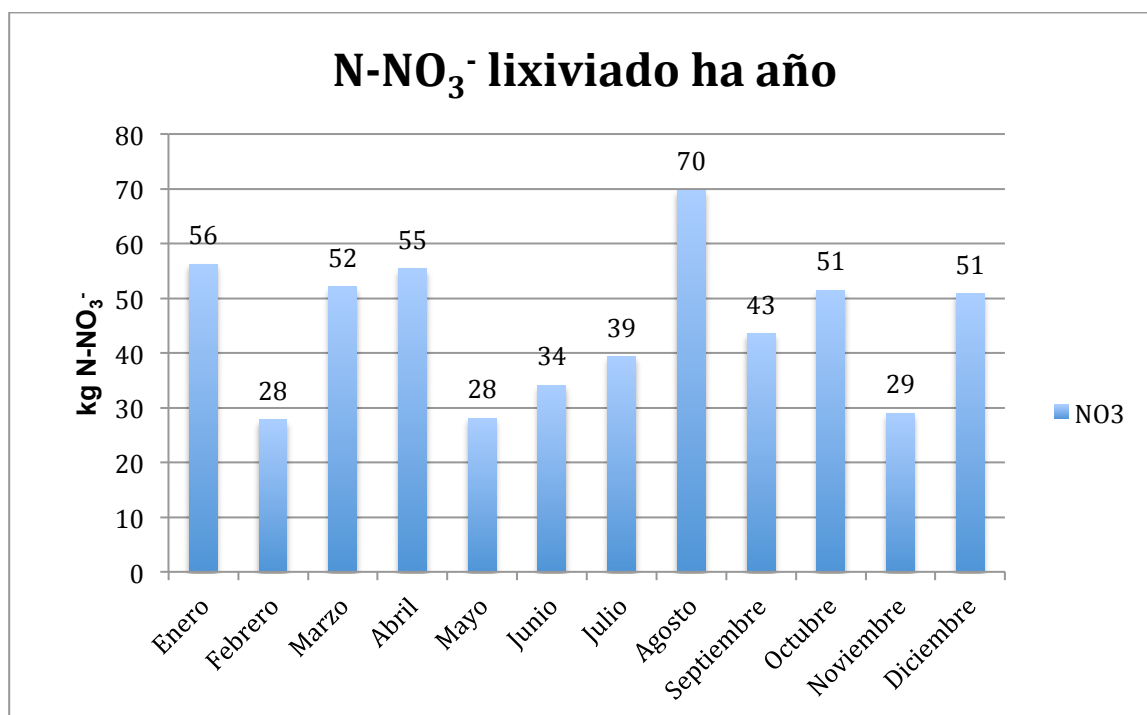
En la tabla 31 se detallan los kilos de NO_3^- y NH_4^+ lixiviados por hectárea neta, en cada mes del año 2013. En el gráfico 7 se observan los kg de NO_3^- lixiviados mensualmente durante el año 2013, es notoria la cantidad lixiviada durante agosto, mes de verano que recibió una gran cantidad de agua.

Tabla 31. Nitrógeno lixiviado en las formas NO_3^- y NH_4^+ por ha neta y año.

	NO_3^-	NH_4^+
Enero	56	0.27
Febrero	28	0.14
Marzo	52	0.25
Abril	55	0.27
Mayo	28	0.14
Junio	34	0.17
Julio	39	0.19
Agosto	70	0.34
Septiembre	43	0.21
Octubre	51	0.25
Noviembre	29	0.14
Diciembre	51	0.25
TOTAL	537	2.63

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Gráfico 7. Kilos de NO_3^- lixiviados por mes hectárea/mes durante el año 2013.



Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

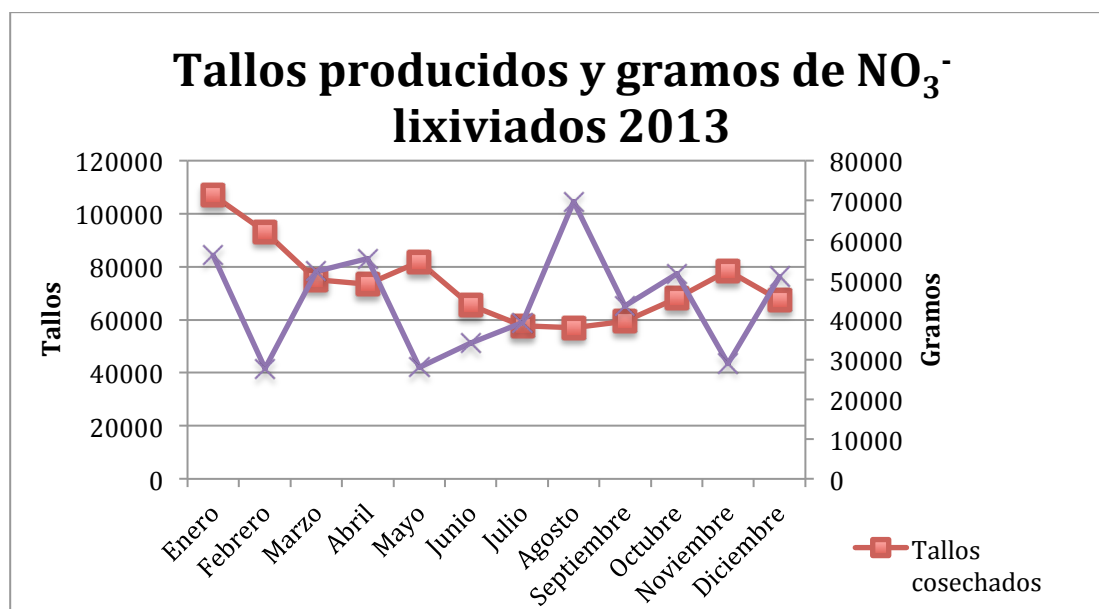
2.3. Relación de variables

Se han realizado dos relaciones entre las variables para determinar si la aplicación del nitrógeno está relacionado con la producción, y el agua suministrada.

2.3.1 Nitrógeno aplicado y producción. La producción total anual por hectárea durante el año 2013 ascendió a 884 063 tallos, lo que implica una producción por planta aproximada de 10.25 flores anuales. Esta cifra varía dependiendo de la formación de la planta, hay plantas con 2-3 basales que producen más que la que solo tiene uno, sin embargo, el espacio de la cama se llena con follaje y la producción suele variar muy poco entre las camas.

El producto que no alcanza la calidad de exportación se lo denomina nacional, este suele alcanzar el 10% de la producción, por lo tanto la producción exportable es de 795 656 tallos. El nacional suele estar compuesto por botones deformes, débiles, cortos o afectados de plagas (enfermedades como la botritis, oidio y veloso, y plagas como ácaros, trips y pulgón).

Gráfico 8. Tallos producidos y gramos de NO_3^- lixiviados durante el año 2013.

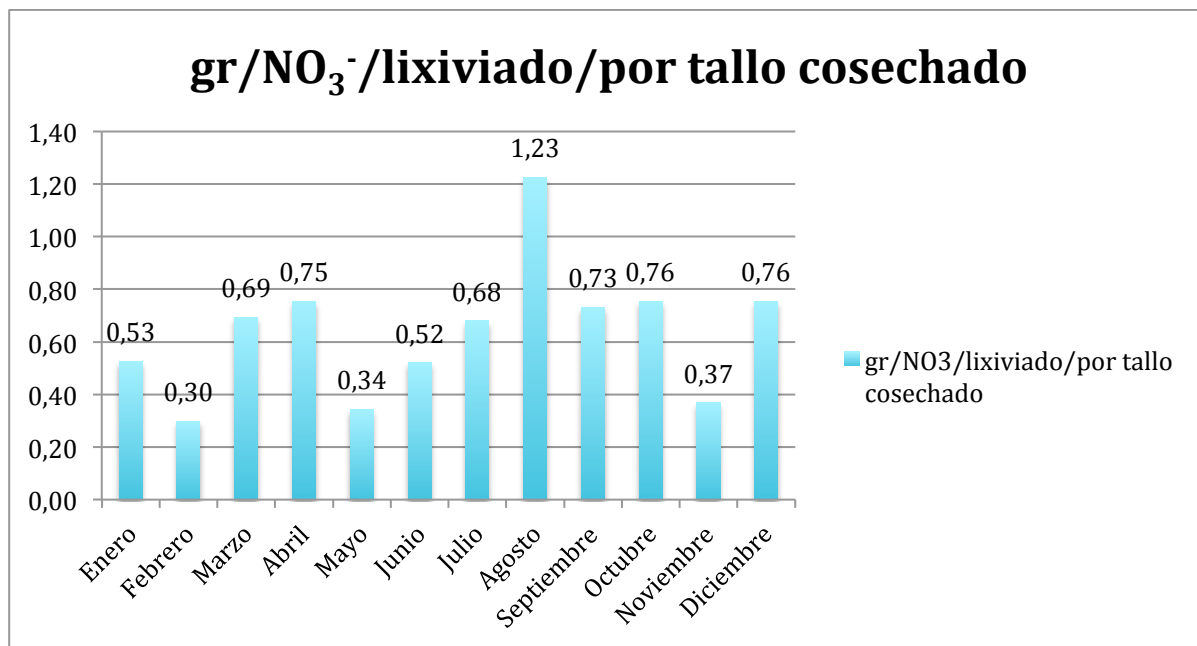


Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

La lixiviación de NO_3^- durante el año 2013 fue de 537 454 g. Se realizó una regresión lineal de la producción cosechada y los nitratos lixiviados (en las independientes la producción en flor/planta/mes y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg), el resultado de la Regresión de Pearson arrojó una $R^2=0.04$ (ver Anexo B), lo que implica la inexistencia de

una alta fuerza de correlación entre las variables, por ende, se puede concluir que no hay relación entre la producción y los nitratos lixiviados.

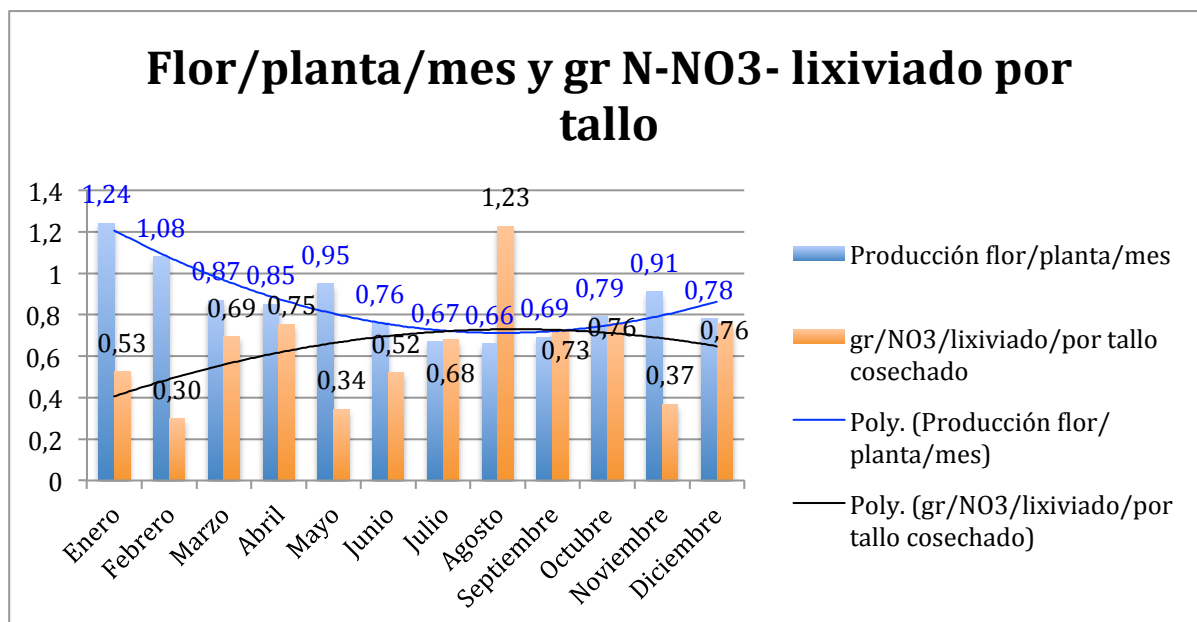
Gráfico 9. Gramos de NO_3^- lixiviado por tallo cosechado durante el año 2013.



Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

El promedio de NO_3^- lixiviado por tallo cosechado es de 0.64 g. En el gráfico 9 se aprecia el promedio de gramos NO_3^- lixiviados tallo/mes.

Gráfico 10. Producción en flor/planta/mes y gramos de NO_3^- lixiviado por tallo cosechado durante el año 2013.



Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

En el gráfico 10 se pueden apreciar las dos variables, flor/planta/mes y los gramos de NO_3^- lixiviados tallo/mes. Las curvas polinómicas muestran la tendencia de disminución de la producción con un incremento de la lixiviación de NO_3^- lixiviados tallo/mes, en julio, agosto y septiembre la tendencia no se mantiene, lo que implica que ambas variables no presentan ningún tipo de correlación.

2.3.2 Nitrógeno aplicado y agua suministrada. La lixiviación de NO_3^- está directamente relacionada con el agua drenada, a más drenaje mayor lixiviación.

Se realizó una regresión lineal del agua drenada y de los NO_3^- lixiviados (en las independientes los m^3 de agua lixiviados y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg), el resultado de la Regresión de Pearson arrojó una $R^2=1$ (ver Anexo C), lo que implica una alta correlación entre las dos variables. Se puede concluir que hay una relación entre el agua drenada y los NO_3^- lixiviados.

Tabla 32. Resumen de los m^3 de agua drenados y los kg de NO_3^- lixiviado.

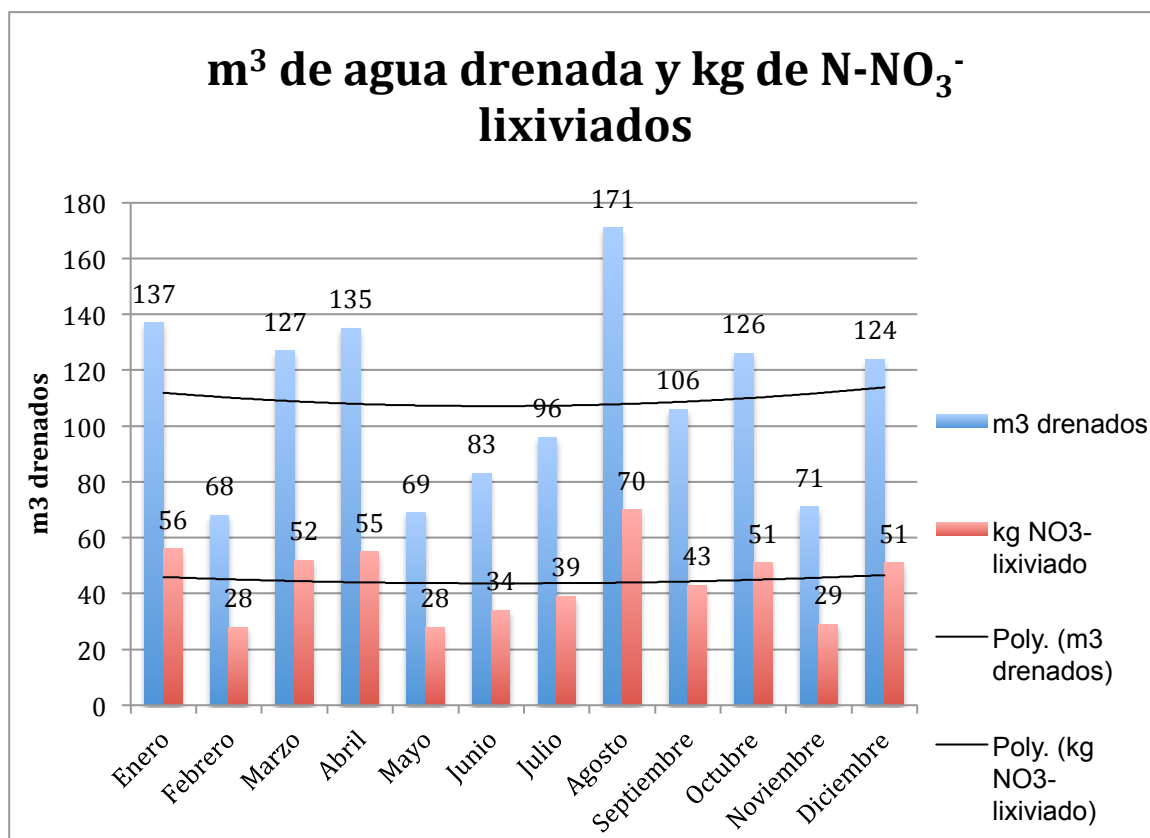
	m^3 drenados	kg NO_3^- lixiviado
Enero	137	56
Febrero	68	28
Marzo	127	52
Abril	135	55
Mayo	69	28
Junio	83	34
Julio	96	39
Agosto	171	70
Septiembre	106	43
Octubre	126	51
Noviembre	71	29
Diciembre	124	51
TOTAL	1313	536

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Una $R^2=1$ nos indica que a mayor drenaje del agua aplicada al cultivo, se presentará mayor lixiviación de NO_3^- . Para disminuir la cantidad de NO_3^- lixiviado, además de disminuir los nitratos aplicados, se debe disminuir el drenaje al mínimo posible asegurando el lavado de sales para evitar procesos de salinización.

En el gráfico 11 se aprecian las dos variables correlacionadas, el agua drenada y los kg de NO_3^- lixiviados, se pueden apreciar las tendencias polinómicas con una tendencia similar, correlacionándose ambas variables.

Gráfico 11. Agua drenada en m³ y kg de NO₃⁻ lixiviado durante el año 2013.



Fuente. Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción

La aplicación diaria de los fertilizantes nitrogenados, con el aporte del agua y bioles, mantiene una alta concentración de NO_3^- cerca del sistema radicular. En la tabla 27 se observa que la concentración de NO_3^- a 30 cm de profundidad oscila entre 250-500 mg/L, con un promedio de 359 mg/L. En total, el aporte de nitratos asciende a $1230 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El aporte de NO_3^- en el agua de riego es alto, los 12 mg/L NO_3^- presentes en el agua aportan al año, entre el riego por goteo y el de aspersión, $233 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, esto demuestra la contaminación del agua con nitratos procedente de las vertientes, el NO_3^- y el NH_4^+ contenido en el agua procede de los diversos cultivos agrícolas de la zona, y en especial, de la ganadería al pie del volcán Cotopaxi.

El suelo también recibe $1368 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, de los cuales $117 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ proceden de los fertilizantes amoniacales, $39 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ del agua, y de los bioles y la materia orgánica $1212 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El mayor aporte de NH_4^+ procede del compost de rosas elaborado en la finca y de la gallinaza. Parte del NH_4^+ es asimilado directamente por la planta, pero la gran mayoría es transformado en NO_3^- . Este proceso, por ser realizado en un suelo arenoso con alta porosidad, se da durante el desplazamiento del NH_4^+ hacia el subsuelo, debido al drenaje del agua aplicada. Por ello, a 1 m de profundidad en el lisímetro de percolación, la cantidad de NO_3^- es de 409 mg/L, mayor a la analizada a 30 cm de profundidad.

Tabla 33. Cantidad de nitrógeno en NO_3^- y NH_4^+ aprovechados y lixiviados en kg durante el año 2013.

	kg aplicados	kg lixiviados	kg aprovechados
NO_3^-	1230	537	639
NH_4^+	1360	2.63	1357

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

El NO_3^- que no es asimilado por la planta, debido a su alta movilidad, se desplaza a través de la zona radicular. De acuerdo a los riegos efectuados comienza a lixivarse con el drenaje del agua aplicada en exceso. La aplicación de riegos por aspersión usualmente es con láminas altas, esto favorece a que los nitratos acumulados en la zona radicular sean lixiviados al subsuelo contaminando las aguas subterráneas.

Todos los aportes de nitrógeno al cultivo, en sus dos formas, $1230 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $1360 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ durante el año 2013, han permitido una producción de 884 063 tallos de rosas $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con un índice de producción de (86 250 plantas ha) 0.85 flores/planta/mes.

Del aporte de $1368 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ aplicados, se lixivian $2.63 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El resto es aprovechado por el suelo (procesos de fijación y volatilización) y la planta, con un aprovechamiento de $1365 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo que implica que cada tallo de rosa producido involucró 1.54 g de NH_4^+ . De los $1230 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ se presentó una lixiviación de $537 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, aprovechándose $693 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, implicando un consumo neto por tallo de 0.78 g NO_3^- .

De los datos anteriores se puede resumir que para la producción de un tallo de rosas se lixivian 0.61 g NO_3^- y 0.003 g NH_4^+ . La Huella de Nitrógeno Lixiviado de un tallo de rosa equivale a 0.613 g de nitrógeno.

Tabla 34. Cantidad de nitrógeno en NO_3^- y NH_4^+ aprovechados y lixiviados por cada tallo producido en gramos durante el año 2013.

	g aprovechados por tallo	g lixiviados por tallo
NO_3^-	0.78	0.64
NH_4^+	1.54	0.003

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Así como se ha determinado la exportación de NO_3^- y NH_4^+ por cada tallo producido, en la que se presenta una relación nula de acuerdo a la regresión lineal realizada con una $R^2=0.04$, la lixiviación del nitrógeno está directamente relacionada con el aporte del agua mediante goteo y aspersión.

Tabla 35. Cantidad de agua aplicada, drenada y aprovechable en m^3 durante el año 2013.

	Aplicada	Drenada	Aprovechable
Total m^3	19404	1313	18091

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

El nitrógeno aplicado permanece en el suelo alrededor del sistema radicular, dependiendo del aporte de agua. Cuando se aumenta la lámina de riego, los NO_3^- se lixivian fácilmente. A mayor drenaje, mayor lixiviación. En el caso de Agrogana, y por la cantidad de sales que posee, se requiere de un drenaje de agua que reduzca la salinización y la sodificación del suelo.

En la zona de los caminos, en la temporada de fuertes lluvias, se forma una costra de sales debido a la capilaridad del suelo. Al secarse el suelo, el agua que asciende por capilaridad muy rica en sales se va acumulando en las zonas más secas. Para conocer su contenido de dichas sales, se realizó un análisis químico del raspado de la misma. En la tabla 36 se

muestran los resultados de los elementos más importantes, y se comparan con los valores óptimos determinados por el laboratorio.

Tabla 36. Análisis del raspado de las costras de sales en zona seca de los caminos.

	C.E. en mmhos/cm	NO ₃ ⁻ ppm	NH ₄ ⁺ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ⁻ ppm	K ⁺ ppm	Ca ⁺⁺ ppm	Mg ⁺⁺ ppm	Na ⁺ ppm
Análisis	9.7	4340	4	461	394	1017	341	389	345
Niveles óptimos	1.1	298	2			70	100	32	

Fuente. Elaboración propia en base a los resultados de los análisis realizados por denHaan

Los resultados del raspado de las costras de sales ubicadas en las zonas secas de los caminos, llaman la atención por su alto contenido en sales. Con una C.E. de 9.7 mmhos/cm, los rosales no se podrían desarrollar adecuadamente. La mayor concentración corresponde a los nitratos con 4340 ppm, una cantidad sumamente alta. Estos análisis comprueban la importancia de realizar lavado de sales para evitar la salinización y sodificación del cultivo.

3.1. Nitratos lixiviados

Toda plantación de flores, incluyendo Agrogana, presenta lixiviación de nitratos resultado de la aplicación de los fertilizantes, bioles, materia orgánica y en muchas ocasiones, por la contaminación con nitratos del agua de riego. Es importante es mantener programas que disminuyan la contaminación de las aguas subterráneas.

En Agrogana, debido a los controles anuales por parte de los sellos que garantizan flores social y ambientalmente responsables, como son FlorEcuador y Fairtede (FLO), ha permitido mantener un registro de los fertilizantes aplicados desde el año 2008, y así poder identificar la tendencia de la empresa en la aplicación de fertilizantes nitrogenados. En la tabla 16 se puede apreciar los fertilizantes nitrogenados aplicados del 2008-2013, en cambio en las tablas 17 y 18, se aprecia la cantidad de nitrógeno en sus tres formas NH₂⁺, NH₄⁺ y NO₃⁻, aplicado desde el año 2008 hasta el año 2010 en la tabla 17 y del año 2010 al año 2013 en la tabla 18.

3.2. Resumen histórico de los fertilizantes nitrogenados aplicados

De los fertilizantes sintéticos aplicados en la tabla 37, se presenta el resumen de las concentraciones de NH₂⁺, NH₄⁺ y NO₃⁻ aplicados desde el año 2008 hasta el año 2013. El

total en la tabla es la sumatoria de los kg de cada forma de nitrógeno, y no la cantidad de nitrógeno total.

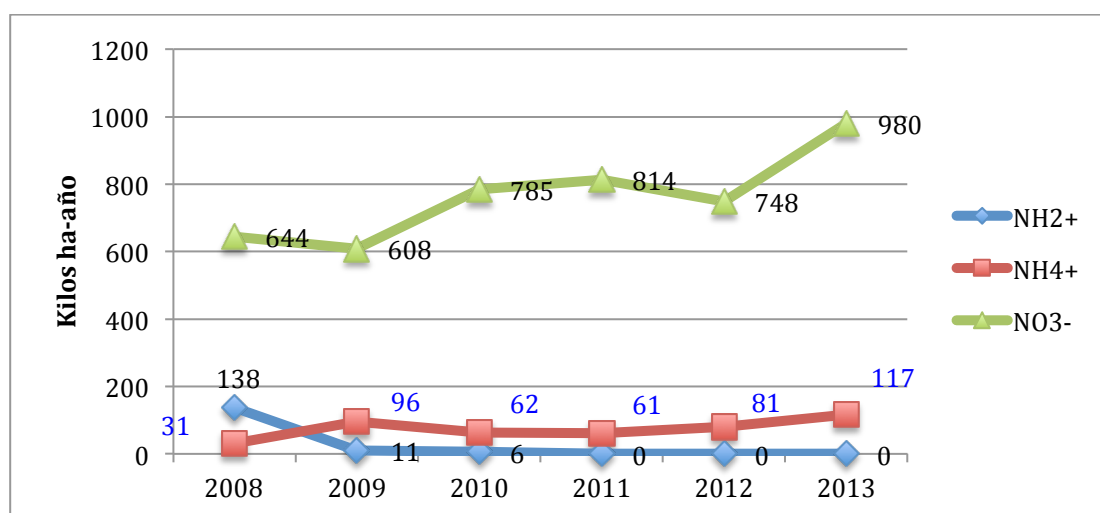
Tabla 37. Resumen de los aportes de las tres formas de nitrógeno aplicados por kg/ha/año.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
NH ₂ ⁺	138	11	6	0	0	0
NH ₄ ⁺	31	96	62	61	81	117
NO ₃ ⁻	644	608	785	814	748	980
Total	813	715	853	874	829	1098

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Es notorio el aumento en el año 2013 del NO₃⁻, debido principalmente al cambio de fuente de ácido, se disminuyó el ácido sulfúrico y se aumentó el ácido nítrico. Para la neutralización de los bicarbonatos del agua, el año con menor aplicación fue el 2009 con 608 kg/ha/año. El NH₂⁺ en el año 2008 se aplicó 138 kg/ha/año para bajar a 0 kg/ha/año en el año 2010. El NH₄⁺ presenta, asimismo, un notorio incremento de un promedio de 66 kg/ha/año desde el año 2008 al 2013, sube a 117 kg/ha/año, debido al incremento del NH₄NO₃ en los fertilizantes.

Gráfico 12. Nitrógeno en sus tres formas aplicado del año 2008 al 2013 en kg/ha/año

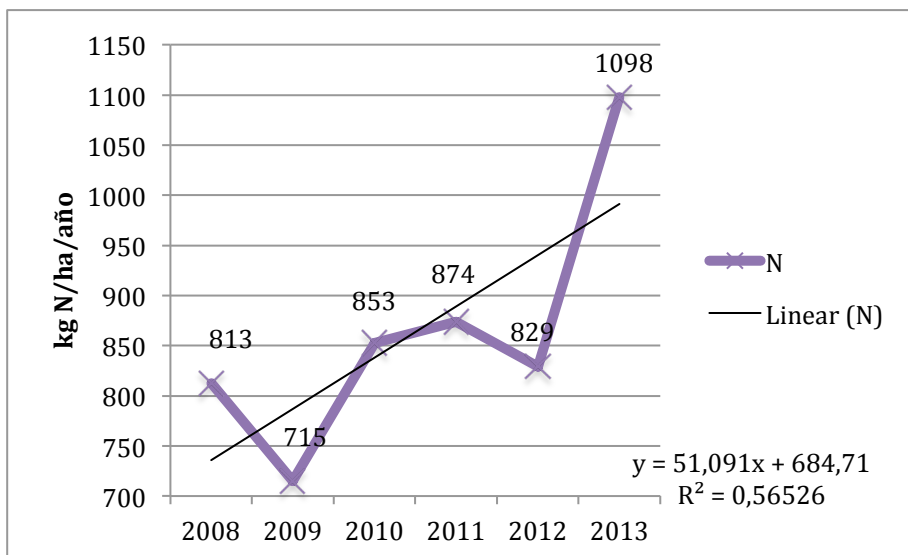


Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

3.3. Tendencia en la aplicación de nitrógeno

La tendencia de aplicación de fertilizantes con nitrógeno en Agrogana es a la alza, el año de menor cantidad aplicada corresponde al año 2009 con 715 kg N/ha/año, y el de mayor, el año 2013 con 1098 kg N/ha/año.

Gráfico 13. Tendencia aplicación nitrógeno en kg/ha/año.



Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

El alza en la aplicación de nitrógeno se ve reflejada en la lixiviación de NO_3^- , si se compara con el 2012, año en el que se instaló el lisímetro de percolación y se registró el drenaje y lixiviación de NO_3^- y NH_4^+ se lixivió un total de $348 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $2.87 \text{ kg NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Los meses de mayor lixiviación fueron enero con 38 kg NO_3^- y octubre con 37 kg NO_3^- , coincidente con los mayores drenajes del año, y el menor en abril con 18 kg NO_3^- .

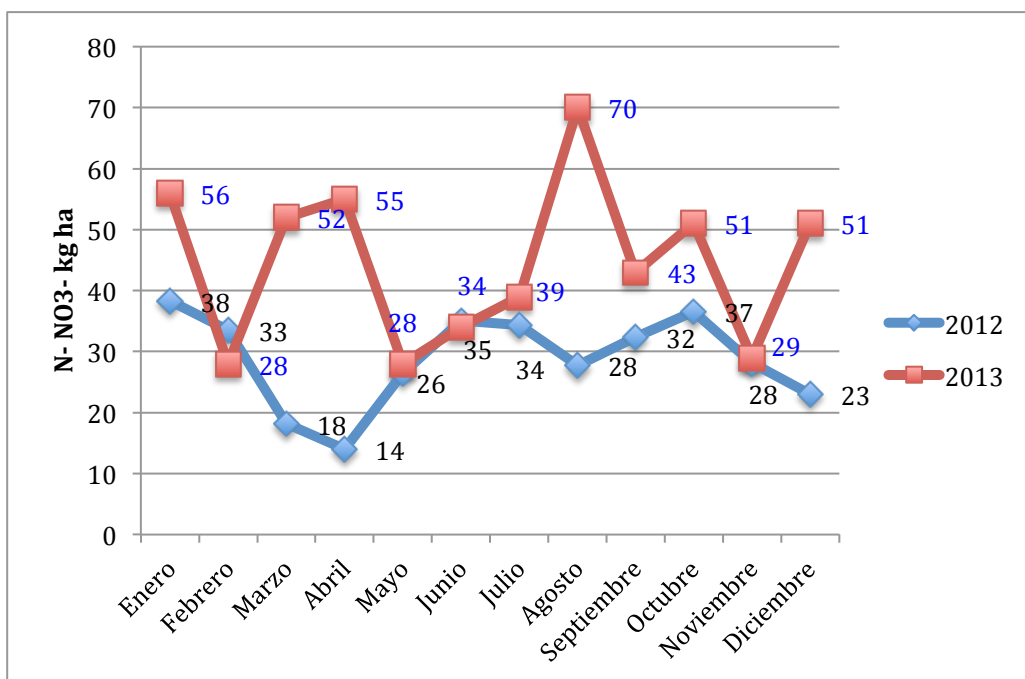
Tabla 38. Lixiviación de NO_3^- y NH_4^+ durante el año 2012.

	kg NO_3^-	kg NH_4^+
Enero	38	0.32
Febrero	33	0.28
Marzo	18	0.15
Abril	14	0.12
Mayo	26	0.22
Junio	35	0.29
Julio	34	0.28
Agosto	28	0.23
Septiembre	32	0.27
Octubre	37	0.30
Noviembre	28	0.23
Diciembre	23	0.19
	348	2.87

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

Durante el año 2013 la lixiviación de NO_3^- alcanzó $536 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}$, mayor que el año 2012 con $348 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}$, debido a la mayor aplicación de fertilizantes.

Gráfico 14. Lixiviación de NO_3^- en kg/ha/año durante los años 2012 y 2013.



Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

En la gráfico 14 se puede apreciar que en los meses de febrero, mayo, junio, julio y noviembre, la lixiviación de NO_3^- de los años 2012 y 2013, mantiene cantidades aproximadas, meses comprendidos en un manejo normal de cultivo con drenajes bajos. En cambio, en los meses de mayor drenaje y aplicación de nitrógeno del año 2013, enero, marzo, abril y agosto, la lixiviación de NO_3^- es mayor.

Tabla 39. Lixiviación de NO_3^- kg/ha durante 2012-2013.

	2012	2013
Enero	38	56
Febrero	33	28
Marzo	18	52
Abril	14	55
Mayo	26	28
Junio	35	34
Julio	34	39
Agosto	28	70
Septiembre	32	43
Octubre	37	51
Noviembre	28	29
Diciembre	23	51
	348	536

Fuente: Elaboración propia en base a los registros de Agrogana.

3.4. Nitratos lixiviados en las aguas drenadas

Cuando las características del agua empleada para el riego presentan el riesgo de salinización y sodificación, como el agua empleada en Agrogana, se realizan drenajes en espina de pescado en toda el área sembrada, recogiendo el agua drenada, así se evita la acumulación de sales.

Durante el año 2013, en el que se realizó el presente estudio, se analizó el agua del drenaje y la concentración de NO_3^- , la cual alcanzó 570 mg L^{-1} , concentración mayor a la registrada en el lisímetro de percolación de 409 mg L^{-1} . Lo que implica una acumulación de nitratos en los conductos de drenajes.

En un estudio realizado por Dahan *et al.* (2013) se demostró que las fincas con una amplia utilización de materia orgánica como fuente de nitrógeno, presentaban una mayor concentración y lixiviación de nitratos que las que utilizaban el sistema tradicional de fertilización. La concentración de NO_3^- en la zona con cultivos orgánicos alcanzó 724 mg L^{-1} NO_3^- , en la que se utilizaron fertilizantes líquidos alcanzó 37.5 mg L^{-1} NO_3^- .

Agrogana utiliza un sistema mixto, emplea fertilizantes disueltos en el sistema de fertirriego y materia orgánica. A pesar de esto no alcanzó los 724 mg L^{-1} NO_3^- lixiviados en un invernadero con cultivo de vegetales.

Se realizó un nuevo análisis en marzo 2014 de las aguas drenadas y se pudo comprobar que las técnicas utilizadas para disminuir la lixiviación de NO_3^- funcionaron adecuadamente. La concentración alcanzó 477 ppm NO_3^- .

CAPÍTULO IV: PROGRAMA PARA DISMINUIR LIXIVIACIÓN DE NITRATOS

Introducción

En muchos países, incluido Ecuador, se ha sustituido el cultivo en suelo por el cultivo en macetas con sustratos como: la fibra de coco, cascarilla de arroz y pomina (también denominado chasqui en la provincia de Cotopaxi). El agua sobrante drenada es recogida al final de la cama para su posterior tratamiento y reutilización mediante un filtrado que utiliza la tecnología de osmosis inversa. Algunas fincas, por el alto costo del uso de los equipos de osmosis inversa no tratan el agua, la cual es enviada a los canales de drenaje, contaminando las aguas superficiales, y posteriormente los ríos.

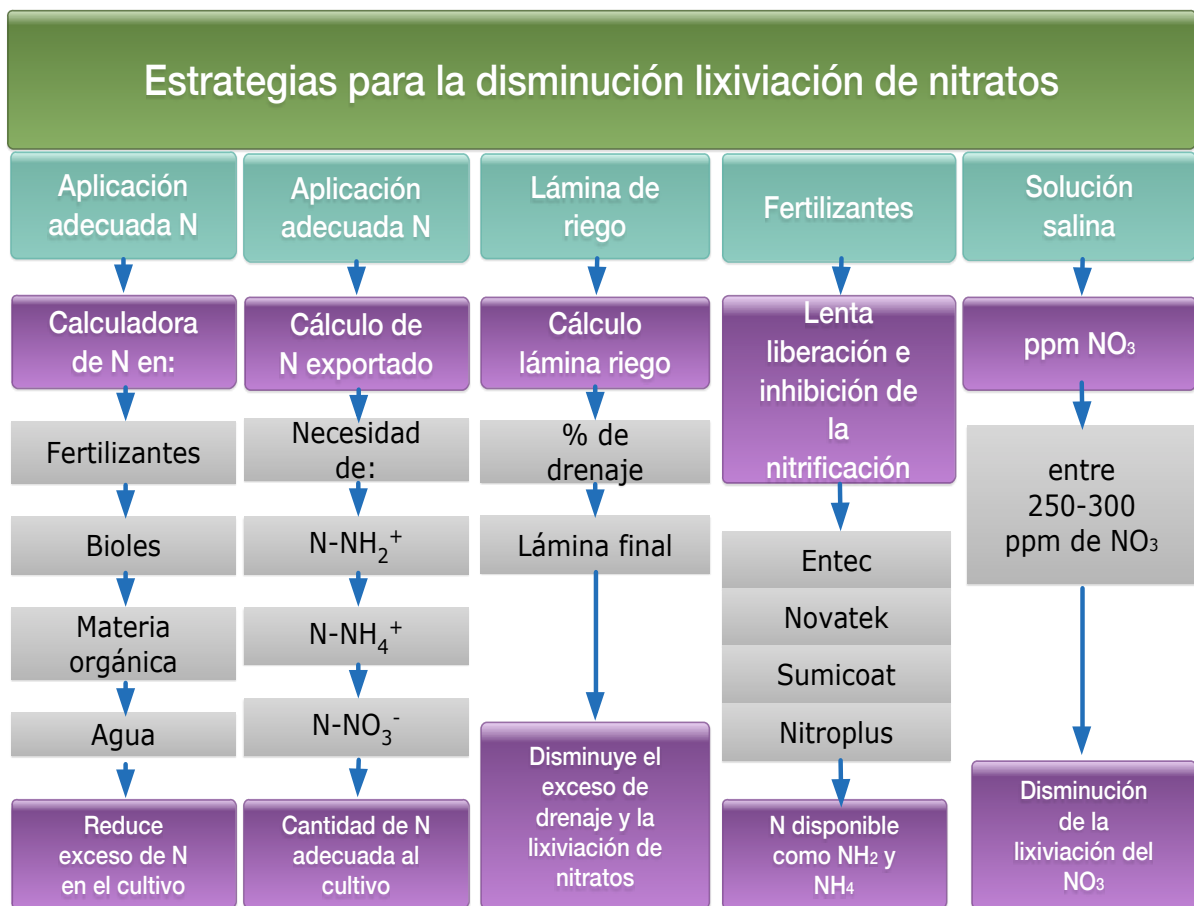


Figura 8. Estrategias para disminuir lixiviación de nitratos en un cultivo de rosas.

Fuente. Elaboración propia

El cultivo de rosas hidropónico (uso de agua) todavía no se ha empleado en Ecuador. Se han realizado pequeños ensayos, la producción es menor al reducirse el sistema radicular. En este sistema, el agua es reciclada una y otra vez, el drenaje es 0, evitándose en un 100% la lixiviación de NO₃⁻.

Para el cultivo tradicional en suelo, sistema mayoritario en Ecuador, utilizado en Agrogana, los nitratos lixiviados no pueden ser tratados antes de incorporarse a las aguas subterráneas. En la actualidad no existe tecnología que evite su lixiviación con las aguas de drenaje, ni su posterior tratamiento, en especial si se requiere recolectar y tratar todo el agua lixiviada a 1 m de profundidad de un área cultivada.

Por ello, la disminución de la lixiviación de nitratos requiere de técnicas de reducción de fertilizantes con NO_3^- en base a la aplicación necesaria para mantener un adecuado desarrollo del cultivo. Las técnicas más empleadas son:

- Determinación del nitrógeno en cada aplicación de:
 - fertilizantes
 - bioles
 - materia orgánica
 - agua aplicada.
- Realización de un programa que permita determinar la cantidad de nitrógeno a ser aplicado y, que se ajuste a la demanda del cultivo
- Control de la lámina de riego de acuerdo a la necesidad del cultivo (K_c) y la evaporación diaria

Las técnicas mencionadas permiten, en forma adecuada, tener el control del nitrógeno que se aplica al suelo para evitar los excesos que generan salinidad y contaminación de las aguas subterráneas y del agua aplicada, para reducir al mínimo la lixiviación de los NO_3^- .

4.1. Control del agua aplicada

Son varios los sistemas empleados para determinar la lámina de riego a ser aplicada, entre los más utilizados están los tensiómetros (miden tensión del suelo), evaporímetro clase A (mide la evaporación diaria), acumulación de energía lumínica (medición de joules) o mediante la evapotranspiración (evaporación más transpiración).

El sistema a emplearse en Agrogana sería la evapotranspiración (ET), calculada de acuerdo al clima. Según los estudios realizados con el evaporímetro clase A, se ha podido determinar la evaporación (EV) en mm de acuerdo al clima. En la tabla 40 se puede apreciar la oscilación de la evaporación de acuerdo al clima en la provincia de Cotopaxi.

Tabla 40. Evaporación en mm de acuerdo al clima en la provincia de Cotopaxi.

Estado de clima	lectura mínima (mm)	lectura máxima (mm)	lectura media (mm)
Día lluvioso y frío	0.5	1.0	0.75
Soleado y lluvia	2.0	3.0	2.5
Día soleado con nubes	4.0	5.0	4.5
Día soleado	6.0	8.0	7.0

Fuente. Elaboración propia en base a las lecturas de la estación meteorológica Latacunga/Cotopaxi.

Otro coeficiente necesario es el Kc de cultivo (ver Anexo C), este varía dependiendo del desarrollo de las plantas. De acuerdo a Agrobiolab (1998), los Kc de cultivo en la rosa se resumen en la tabla 41.

Tabla 41. Kc en diferentes estados en el cultivo de la rosa.

Estado desarrollo del cultivo	Kc
Inicio (siembra de las plantas)	0.55
Desarrollo (durante la formación)	0.75
Final (planta formada en inicio de producción)	0.95
Floración (en picos)	1.2
Producción abierta	0.85

Fuente. Elaboración propia en base a Agrobiolab (1998).

La cobertura vegetal (CV) corresponde al porcentaje de superficie total cubierta por el follaje de los rosales, se divide el ancho del camino entre las camas, por su ancho. En Agrogana, las camas tienen un ancho de 0.76 m y los caminos 0.80 m, por lo tanto la cobertura vegetal es de 1.05.

La fórmula de la evapotranspiración (ET) para el cálculo de la lámina de riego es:

$$ET = EV \times Kc \times CV \quad [27]$$

Como ejemplo, si se presenta una EV de 8 mm en un día soleado, con un Kc 0.82 correspondiente a un cultivo abierto y una CV de 1.05, tendríamos la siguiente lámina:

$$ET = 8 \times 0.82 \times 1.05 = 6.88 \text{ mm}$$

A dicha lámina se le debe añadir la ND que es de 8.1 % (ver página 52), de la lámina obtenida equivalente a 0.56 mm, que sumados a los 6.88 mm se debería regar un total de 7.44 mm entre goteo y aspersión para reducir el drenaje y la lixiviación de NO_3^- , evitando así los procesos de salinización y sodificación.

4.2. Cálculo del nitrógeno necesario

Para el cálculo del nitrógeno necesario en cultivo, es necesario conocer la producción tanto a cosecharse, como la que viene en brotación nueva en el índice flor/planta/mes (f/p/m) que presenta el cultivo. En la tabla 12 se presentan las necesidades de nitrógeno en sus tres formas según Manzanares (1992). Si la producción promedio de Agrogana es de 0.8 f/p/m, las necesidades de nitrógeno serían de 0.42 g/tallo, equivalente en sus tres diferentes formas a:

- g/ NO_3^- /tallo – 1.85
- g/ NH_4^+ /tallo – 0.54
- g/ NH_2^+ /tallo – 0.48

En una fertilización de rosas, el porcentaje por cada forma de nitrógeno es el siguiente:

- NO_3^- – 85%
- NH_4^+ – 10%
- NH_2^+ – 5%

En una hectárea con 83 950 plantas sembradas se requeriría un total mensual de:

- kg/ NO_3^- – 131
- kg/ NH_4^+ – 4.5
- kg/ NH_2^+ – 2

Estas cantidades de nitrógeno a ser aplicadas mensualmente, serán obtenidas de las siguientes fuentes:

- Fertilizantes sintéticos
- Biol de la hacienda
- Materia orgánica (compostaje de rosas y gallinaza)
- Agua de riego

Para determinar la cantidad, es necesario realizar una calculadora de nitrógeno, la que se detalla en el siguiente apartado.

4.3. Calculadora de nitrógeno

La calculadora elaborada en éste estudio se ha realizado en el programa Microsoft Excel y consta de 3 partes.

La parte 1 (figura 9) está conformada por la información necesaria para realizar los cálculos. Los datos a ingresar más importantes (en recuadros con márgenes rojos) son:

- Número de camas, largo y ancho
- Densidad aparente y real del suelo
- Área del cultivo a ser fertilizada
- Análisis del agua utilizada para el riego
- Detalles de los días a ser regados, fertilizados y m3 de agua utilizados

La entrada de los datos anteriores refleja la lámina de riego bruta y neta, los bicarbonatos a neutralizar y el aporte de ácido, también la base de los cálculos para determinar el aporte total de nitrógeno en sus tres formas con los fertilizantes aplicados.

CAMAS		Número	230
	Largo (m)	30	
	Ancho (m)	0,76	
	Densidad r.	1,2	
	Densidad a.	1,69	
ÁREA DE CULTIVO		Ha.	1

Acidificante	%	A	C	Litros	Kilos
Ácido nítrico	74,0	1,0	0,0	4	5
Ácido sulfúrico	26,0	1,0	0,0	1	1
Poner el % de cada ácido y el tanque donde debe ir.					
El valor del % entre los dos ácidos debe ser siempre 100.	1	100 % en el tanque			
	0,5	50% en el tanque			
	0	0% en el tanque			

DATOS FERTIRRIEGO	Fertilizados	Riego	Enraizantes	Duchas	Riegos	Tiempo (m)
Lunes	1	1		1	4	12,43
Martes	1	1			4	12,43
Miércoles	1	1			4	12,43
Jueves	1	1			4	12,43
Viernes	1	1			4	12,43
Sábado	1	1			4	12,43
Domingo	1	1			4	12,43
	5	7	0	1	28	

AGUA APLICADA	25,2	M3	Días/año	264	mm/ha/día
FERTIRRIEGO	4,81	2,63	7,44	mm/día	2,52
	767	420	1186,96	l/cama/sem.	1,38
Duchas	13,8	M3	Días/año	53	3,90
Litros por cama	60				

ANÁLISIS DEL/A		FECHA		22/04/12						
ppm	N-NO3	CL	S-SO4	HCO3	P	NH4	K	Na	Ca	Mg
	12	18	19	189	1	2	8	30	16	17
meq/l										
	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu	MO	PH	CE	RAS
	29	0,02	0,01	0,01	0,06	0,01	0,02	7,5	0,4	

meq HCO3	
Total	3,1
Sin neutra.	0,00
Neutralizar	3,1
Nunca debe ser -	

Días fertilizados al mes	
	22,00

Figura 9. Entrada de datos en la calculadora de nitrógeno, corresponde a la parte 1.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 9, el ejemplo se ha realizado con una lámina neta de 7.44 mm (lámina bruta de 3.90 mm) que proporciona 1186.96 L/H₂O/cama/semana.

En la parte 2 (figura 10) de la calculadora se incorporan (en las celdas con márgenes rojos) los siguientes datos:

- Kilos de fertilizantes nitrogenados
- Kilos/litros de biol, compost de finca y gallinaza
- Producción esperada y número de plantas sembradas por hectárea

JOSÉ M. MANZANARES		Agrogana			General					
FECHA	21-May-14		Producción esperada	0,8	ppm en disolución del agua de riego				% de N	
ELEMENTO/ABONO	KILOS / ácido kilos		Plantas	83950	fertiliriego			Real		
	Fertiliriego		g/tallo/NO3	1,85	85					
NITROGENO	A	B	C							
Acido Nitrico			g/tallo/NH4	0,54	10	NO3	127,23	12	139	89,2
Nitrato de Amonio	1,8		g/tallo/NH2	0,48	5	NH4	11,17	2	13	8,4
Sulfato de Amonio						NH2	3,65		3,7	2,3
Urea Verde	0,2									
Entec 21(DMPP)										
Root Feed										
Nitroplus										
POSFORO										
Fosfato MonoAmónico										
POTASIO										
Nitrato de Potasio	8									
CALCIO										
Nitrato de Calcio	8,6									
MAGNESIO										
Nitrato de Magnesio	1,2									

FERTILIZANTES	CANTIDAD	MES	APORTES	NO3	NH4	Kg/N/ha/año
Biol	50	l/cama	Biol	1,38	3,91	955
Compost de rosas	15	kg/cama	Materia orgánica		79,93	
Gallinaza	1,25	kg/cama	Agua	9,54	1,59	

Desviación del Óptimo Porcentual	CANTIDAD DE N EN SUS 3 FORMAS KG/MES/HA			
	Formas N	Necesarios	kg/ha/mes	Déf./Sup.
Suelo	NO3	106	81,45	(24)
Foliar	NH4	4	91,37	88
	NH2	2	2	0

Figura 10. Entrada de datos en la calculadora de nitrógeno, corresponde a la parte 2.

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro “CANTIDAD DE N EN SUS 3 FORMAS KG/MES/HA” se puede apreciar una columna con la cantidad de nitrógeno en sus tres formas necesarias para alcanzar la producción necesaria. La segunda columna representa lo incorporado con los fertilizantes y materia orgánica, finalmente, la tercera columna muestra el déficit o superávit de nitrógeno en sus tres formas. En la figura 10, para el caso de Agrogana, se puede apreciar que exista un déficit de 24 kg/NO₃⁻, un exceso de 88 kg/NH₄⁺ y un ajuste ideal para el NH₂⁺.

En el cuadro de “APORTES”, está la cantidad de NO₃⁻ y NH₄⁺ procedente del biol, materia orgánica y del agua de riego. Otro cuadro importante es el de “kg/N/ha/año” que nos alerta lo siguiente: si se mantiene la fertilización actual mes a mes sin realizar cambios, el aporte de nitrógeno total anual al cultivo es de 955 kg/N/ha/año. Al cambiar las cantidades aplicadas variará también dicha cantidad.

Una de las guías más importantes al momento de planificar las aplicaciones de nitrógeno, son los análisis de suelo y foliares, para que puedan ayudar a cuantificar las necesidades de nitrógeno. En el cuadro de “Desviación del Óptimo Porcentual” se aprecian 2 columnas, la primera “Suelo” y la segunda “Foliar”, en ambos casos se presenta la desviación del óptimo porcentual sobre el resultado del análisis comparado con el ideal. En el suelo el NH₄⁺ el resultado es ideal y el NO₃⁻ está un 66% menos que el ideal; en el foliar no se mide el NH₄⁺ y el NO₃⁻ está un 33% por encima del ideal.

Casi todas las fincas de flores en el Ecuador emplean el sistema de partes por millón (ppm) o mg/L del nutriente en sus programas de fertirrigación, por esto se ha incorporado a la calculadora el cuadro “ppm en la disolución del agua de riego” que está compuesto por todos los fertilizantes, orgánicos e inorgánicos aplicados en el programa. La actual formulación permite mantener en la solución del suelo de la que se nutre la planta 139 ppm NO_3^- , 13 ppm de NH_4^+ y 3.7 ppm de NH_2^+ , en la columna contigua de la derecha se encuentra el % de cada nutriente, para poder compararlos con los ideales.

La calculadora de nitrógeno presenta mayor complejidad para los cálculos del exceso de NH_4^+ , 84 kg/ha/mes y la deficiencia de 26 kg NO_3^- ha/mes. Para resolverlo, se ha establecido el siguiente sistema:

- Inmovilización y volatilización, 50% del NH_4^+
- Transformación del NH_4^+ a N (multiplicado por el factor 0.8224)
- Transformación del N a NO_3^- (multiplicado por el factor 4.4266)

Los 84 kg/ NH_4^+ /ha/mes, menos el 50% por inmovilización y volatilización, nos aportarían al suelo 4 kg de nitrógeno, que transformados a NO_3^- implicaría un total de 153 kg/ NO_3^- /ha/mes, lo que superaría al déficit de los 26 kg/ NO_3^- /ha/mes.

4.4. Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta

Los fertilizantes nitrogenados son una solución práctica para evitar la lixiviación de los nitratos, estos consisten en formulaciones especialmente diseñadas para liberar el fertilizante en pequeñas dosis en un periodo de tiempo más o menos largo (entre 3 y 12 meses).

La diferencia entre los fertilizantes convencionales y los de lenta liberación, consiste en que los primeros están disponibles de inmediato una vez son aplicados, en cambio, los de lenta liberación, liberan lentamente el nutriente. Los primeros sí son aplicados en sobredosis o la planta no los asimila de inmediato, son lixiviados, en cambio los segundos no.

Por ello, las principales ventajas de utilizar fertilizantes de liberación lenta residen en (Ballester, 1994):

- Mayor eficiencia en el uso

- Menor lixiviación, fijación y descomposición
- Reducción riesgo de toxicidades por excesos
- Aporte continuo de nutrientes
- Disminución en aplicaciones

De acuerdo a Ballester (1994), en el mercado se encuentran cuatro tipos de fertilizantes de liberación lenta, dependiendo de su composición química y forma de liberar los nutrientes:

- Orgánicos (condensados de urea)
- Compuestos poco solubles, o de mineralización lenta (inorgánicos de baja solubilidad como el fosfato de amonio magnésico)
- Encapsulados (limita la entrada del agua al interior del grano del fertilizantes)
- Fertilizantes corrientes con adición de inhibidores de la nitrificación (se incorporan sustancias que limitan los procesos de nitrificación y desnitrificación)

Entre los fertilizantes con nitrógeno más utilizados están los compuestos derivados de la urea como: urea-formaldehído (UF), crotonilidendiurea (CDU o Crotodur), isobutilidendiurea (IBDU o Isodur) y urea recubierta de azufre (SCU). Entre el 28-38% de nitrógeno que contienen, aproximadamente entre el 1-10% se libera una vez aplicado, el resto se encuentra en forma de liberación lenta. Son varios los factores que influyen en su liberación, entre los más importantes se encuentran: la temperatura, el pH del suelo, la humedad, la actividad microbiana y la aireación (Ballester, 1994).

El ritmo de nitrificación de los fertilizantes nitrogenados de lenta liberación es menor a los fertilizantes convencionales, según Ballester (1994) a las 7 semanas de haber aplicado un fertilizante nitrogenado, la cantidad de nitrógeno liberado al suelo es la siguiente: Urea 98%, Crotodur 73%, Isodur 72% y urea-formaldehído 38%. El sulfato de amonio, durante el mismo periodo de tiempo, ha liberado hasta el 82% de nitrógeno contenido.

El mayor problema de los fertilizantes derivados de condensados de urea es que no se encuentran en el Ecuador. El más utilizado es la Urea con una tasa de liberación del nitrógeno rápida que favorece la lixiviación y la contaminación de las aguas subterráneas.

Los fertilizantes recubiertos están formados por dos componentes básicos: la sal y la cubierta que limita su disponibilidad, la urea recubierta de azufre es un ejemplo. También se pueden utilizar películas plásticas, como es copolímero de dicitlopentanodieno con éster de

glicerol empleado en el Osmocote, fertilizante liberado al suelo mediante el intercambio osmótico. En Ecuador se puede encontrar el clásico 14-14-14 (14% de N, 14% P, 14% K) con liberación total del fertilizantes a los 3-4 meses. La aplicación del Osmocote sólido cada 3 meses puede disminuir la fertilización nitrogenada diaria a cantidades mínimas que reduzcan la lixiviación de los NO_3^- .

Otro fertilizante de fácil adquisición en Ecuador es el Novatek Premiun 15-3-20 2, del 15% de nitrógeno 7% es NO_3^- y 8% NH_4^+ , lo importante del fertilizante es la molécula inhibidora del proceso de nitrificación DMPP (3-4 Dimetilpirazol fosfato), que retrasa la transformación del NH_4^+ a NO_3^- , por la inhibición temporal de las bacterias nitrosomonas.

Un fertilizante utilizado en Agrogana fue el Nitroplus, compuesto de NH_2^+ con una molécula que impide el proceso de nitrificación. Como muchos otros compuestos que inhiben la nitrificación, este también está compuesto por cloro y aporta con el tiempo grandes cantidades, su uso es recomendado para alargar los tallos de las rosas. También reduce considerablemente la contaminación por nitratos.

Sumitomo del Ecuador pone a disposición su fertilizante de liberación lenta Sumicoat, este fertilizante está recubierto por una capa de resina de poliuretano liberando lentamente los nutrientes al suelo. Las formulaciones más utilizadas son: Sumicoat I 19-8-12 + 2 Mg para fomentar el desarrollo de la planta, Sumicoat II 12-7-23 + 2 Mg para mejorar el tamaño y la calidad de la rosa. También se encuentran el Sumicoat King rico en P 16-19-16, Sumicoat King rico en K 11-8-24 y el Sumicoat Root 16-9-11. La liberación de los nutrientes puede darse hasta el año de la aplicación, lo que garantiza una mínima lixiviación de NO_3^- .

Un ejemplo del uso de fertilizantes con inhibición de la nitrificación es el Novatek Solub 45 de COMPO, posee un 45% de NH_4^+ con 3,4-dimetilpirazolfosfato, que impide la nitrificación, por lo cual por cada kilo que se aplique por cama, tendremos 450 g de NH_4^+ y no se presentará la nitrificación que transforme el NH_4^+ a NO_3^- .

Una aplicación del Sumicoat 19-8-12 + 2 Mg, garantiza en una sola aplicación una cantidad constante de nitrógeno durante todo el año (Agrociencias, 2012). Los componentes nitrogenado son:

- Urea 42 %
- Difosfato de amonio 20%

Lo que implica que por cada 1000 g de Sumicoat adicionados a la cama tendremos 193 g de NH_2^+ procedente de la urea y 36 g de NH_4^+ procedente del difosfato de amonio. Esta cantidad se liberará lentamente al suelo durante aproximadamente un año.

Tanto los fertilizantes que inhiben el proceso de nitrificación, como los de liberación lenta, deben ser aplicados al cultivo para disminuir la lixiviación de nitratos.

4.5. Lisímetro de succión de la solución salina

El lisímetro de succión de la solución salina del suelo es una herramienta importante para el control de los NO_3^- y NO_2^- en la solución del suelo. Consiste en un tubo con una cabeza de porcelana porosa, que al crearse un vacío en el interior del tubo succiona la solución del suelo. El vacío se mantiene por 24 horas, se recoge la solución y se mide el contenido de NO_3^- y NO_2^- de la solución.

4.5.1. Medición de los nitratos y nitritos. La concentración de NO_3^- en la solución salina debe oscilar entre 250-300 ppm, cuando esta supera dicha lectura, se deben suspender las aplicaciones de nitrógeno en la fertirrigación. La lectura de NO_2^- debe ser de 0 ppm, cuando se presentan lecturas altas, implica que el suelo está saturado y falta aireación debido a la compactación de las camas.

En estudios realizados en Almería, España, para la reducción de la lixiviación de NO_3^- , se recomienda mantener la concentración entre 8-12 mmol L^{-1} a lo largo del ciclo del cultivo (Granados *et al.*, 2007). Los 8 mmol L^{-1} NO_3^- equivalen a 496 ppm y 12 mmol L^{-1} NO_3^- equivalen a 744 ppm, cantidades muy elevadas en relación a la propuesta de mantener la solución salina entre 250-300 ppm.

Granados *et al.* (2007), en su estudio realizado en cultivos de tomate y pimiento, concluye que el seguimiento de la concentración de nitratos en la solución salina del suelo, mediante los lisímetros de succión es adecuada para determinar si la fertilización es la recomendada para el cultivo y su estado fenológico o excesiva.

4.5.2. Disponibilidad de nitratos de acuerdo a lecturas en la solución salina.

Con las lecturas de la solución salina se puede conocer en todo momento la cantidad de NO_3^- en el suelo.

Para realizar el cálculo, se le ha añadido a la calculadora de nitrógeno una entrada para la lectura del NO_3^- en la solución salina, que determina mediante la porosidad del suelo su densidad real y aparente, la superficie radicular (rizósfera) activa la cantidad en $\text{kg}/\text{NO}_3^-/\text{ha}$. En la figura 11 se aprecia el cálculo con una concentración de 250 ppm/ NO_3^- en la solución salina obtenida mediante el lisímetro de succión.

JOSÉ M. MANZANARES			Agrogana			General				
FECHA	21-May-14		Producción esperada	0,8		ppm en disolución del agua de riego				
ELEMENTO/ABONO	Fertilizante		Plantas	83950	% distribución	fertilizante	agua	total	% de N Real	
NITROGENO	A	B	g/tallo/ NO_3	1,85	85	NO_3	127,22	12	139	89,2
Acido Nítrico			g/tallo/ NH_4	0,54	10	NH_4	11,14	2	13	8,4
Nitrato de Amonio	1,8		g/tallo/ NH_2	0,48	5	NH_2	3,65		3,7	2,3
Sulfato de Amonio			FERTILIZANTES	CANTIDAD	MES	APORTES	NO_3	NH_4	Kg/N/ha/año	
Urea Verde	0,2		Biol		l/cama	Biol	0	0	955	
Entec 21(DMPP)			Compost de rosas	15	kg/cama	Materia orgánica		79,93		
Root Feed			Gallinaza	1,25	kg/cama	Agua	9,54	1,59		
POSFORO			Desviación del Óptimo Porcentual			CANTIDAD DE N EN SUS 3 FORMAS KG/MES/HA				
Fosfato MonoAmónico			Analisis	Suelo	Foliar	Formas N	Necesarios	kg/ha/mes	Def./Sup.	
POTASIO			NH_4+	0		NO_3	106	80,07	(26)	
Nitrato de Potasio	8		NO_3-	(67)	33	NH_4	4	87,46	84	
CALCIO			Lisímetro succión	NO_3-	250	Cantidad	114,71	kg/ NO_3^-/ha		
Nitrato de Calcio	8,6									
MAGNESIO										
Nitrato de Magnesio	1,2									

Figura 11. Calculadora de nitrógeno con cálculo del NO_3^- kg/ha obtenido de las lecturas de NO_3^- del lisímetro de succión.

Fuente. Elaboración propia.

Mediante éste cálculo se conoce la cantidad exacta de NO_3^- en el suelo y así se pueden evitar los excesos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Después de haber realizado el presente estudio, se concluye que el actual manejo de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, bioles y materia orgánica, en Agrogana contamina las aguas subterráneas, con un aporte elevado de nitratos. La lixiviación a 1 m de profundidad del agua drenada posee 409 mg/L NO_3^- . Por lo tanto, en Agrogana anualmente se lixivian 537 kg $\text{NO}_3^- \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ y 2.63 kg $\text{NH}_4^+ \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$.

La lixiviación de los NO_3^- y el NH_4^+ está relacionada con los siguientes factores:

- Cantidad de NO_3^- incorporados en el plan de fertilización (fertilizantes, bioles y materia orgánica).
- Tasa de mineralización de la materia orgánica incorporada.
- Proceso de nitrificación de NH_4^+ incorporado con los fertilizantes y procedente de la aplicación de biol y la materia orgánica.
- Volumen de agua drenada.
- Producción de los rosales.

Todos los factores mencionados interactúan aumentando o disminuyendo la lixiviación de NO_3^- , el exceso de fertilización nitrogenada aumenta la acumulación de los NO_3^- en el suelo, con una producción alta, la gran mayoría son asimilados por los rosales. En cambio, si las plantas están en brotación, la asimilación se ve reducida; la mayor o menor cantidad de NO_3^- en la solución del suelo es lixiviada con excesos de riego, al aumentar el volumen del agua drenada el NO_3^- es lixiviado fácilmente por su alta movilidad.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones agronómicas para disminuir la lixiviación de NO_3^- son:

- Calcular la cantidad de nitrógeno que requiere el cultivo
- Mediante la Calculadora de Nitrógeno configurar las cantidades a ser aplicadas para alcanzar la cantidad requerida
- Utilizar fertilizantes de liberación lenta de nitrógeno e inhibidores del proceso de nitrificación
- Aplicar la lámina de riego de acuerdo a las necesidades del cultivo y de la evapotranspiración
- Monitorear los NO_3^- en la solución salina diariamente mediante el lisímetro de succión para determinar la cantidad utilizando la Calculadora de Nitrógeno
- Realización de análisis de suelo y foliares para determinar el estado nutricional del cultivo con las medidas tomadas
- Monitorear diariamente los NO_3^- en el lisímetro de percolación y comprobar si bajan con las medidas adoptadas

Es importante realizar el seguimiento del plan de manejo agronómico para la disminución de NO_3^- lixiviado. De acuerdo a los resultados obtenidos, realizar las correcciones al programa de fertirrigación mediante la Calculadora de Nitrógeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albert, L., 1997. *Nitratos y nitritos. Capítulo 17*. En <<http://www.bvsde.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a17.pdf>>. Bajado 8 de marzo 2014.
- Agrociencias, 2012. Sumicoat. En <<http://agrociencias.com.ec/index.php/component/k2/itemlist/user/42-superuser.html?start=10>>. Bajado 30 de mayo 2014.
- Applied Plant Research (APR), 2001. *Hanbdook for Modern Greenhouse Rose Cultivation*. Praktijkonderzoek, Plant & Omgeving. Netherlands.
- Arce, A., 1994. *Contaminación de nitratos en aguas superficiales y subterráneas. Efectos sobre el medio natural y medidas correctoras*. Mapre Seguridad 56: 37-43.
- Ballester, J., 2006. *Abonos nitrogenados de liberación lenta*. Hojas Divulgadoras: 3/94:1-20-Madrid.
- Black, C., 1975. *Relaciones suelo-planta*. Tomo II. Ediciones Hemisferio Sur.
- Blancas, C., y E. Hervás, 2001. *Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud*. Manuales de Salud Ambiental; 3. Manual Divulgativo Consejería de Salud de Andalucía.
- Bouwman, A., D. van Vuuren, R. Derwent y M. Posch. 2002. *A global analysis of acidification and eutrophication of terrestrial ecosystems*. Water Air Soil Pollut. 141, 349–382.
- Bouwman et al., 2005. *Nitrogen surface balances in intensive agricultural production systems in different world regions for the period 1970–2030*. Pedosphere 15 (2005) (2), pp. 137–155.
- Burden, R., 1982. *Nitrate contamination of New Zealand aquifers: A review*. New Zealand Journal of Science, 25, 205-220.
- Bustos, F., 2010. *Manual de Gestión y Control Ambiental*. Tercera edición. R.N. Industria Gráfica. Ecuador.
- Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1993. *Leaching losses of N from container-grow roses*. Scientia Horticulturae 53: 333-345.
- Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1995a. *Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses*. Scientia Horticulturae 63: 57-66.
- Cabrera, R., R. Evans y J. Paul, 1995b. *Nitrogen partitioning in rose plants over flowering cycle*. Scientia Horticulturae 63: 67-76.
- Chapagain, A. y A. Hoekstra, 2004. 'Water footprints of nations', Value of Water Research Report Series No. 16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- CICEANA, 2014. Saber más...Ciclo del Nitrógeno. <<http://www.ciceana.org.mx/recursos/ciclo%20del%20nitrogeno.pdf>>. Bajado 7 febrero 2014.
- Collao, G., 2008. *Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos provenientes de la utilización de purines de cerdo en la agricultura*. Tesis de Grado para la

obtención del título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Santiago de Chile.

- Conover C. y R. Poole, 1986. *Effects of nitrogen source and potting media on growth of Chamaedorea elegant, Dieffembachia maculata "Camile" and Peperomia obtusifolia*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 99: 281-284.
- Dahan O., A. Babad, N. Lazarovitch, E. Russak y D. Kurtzman, 2013. *Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater*. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 10: 9915–9941.
- Dillon, P., S. Ragusa y S. Richardson, 1991. *Biochemistry of a plume of nitrate-contaminated groundwater*. In: Bogardi, I. and Kuzelka, R.D. Editors, 1991. Nitrate Contamination: Exposure, Consequence and Control. NATO ASI Serial G: Ecological Sciences 309 Springer, Berlin, 173-180.
- Eickhout, B., A. Bouwman y H. van Zeijts, 2006. *The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability*. Agriculture, Ecosystems and Environment 16: 4-14.
- Feral, C., H. Epstein, L. Otter, J. Aranibar, J. Shugart, S. Macko y J. Ramontshoz, 2003. *Carbon and nitrogen in the soil–plant system along rainfall and landuse gradients in southern Africa*. Arid Environments 54:327-343.
- Fernández, M. y A. Soria, 2011. *La contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes de tipo agrario*. Edita Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Finck, A., 1988. *Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España.
- Flores, J., 1997. *Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios*. p. 123-147. En: L. Albert (ed.). *Introducción a la Toxicología Ambiental*.
- Gilli, G., G. Corrao, y S. Favilli, 1984. *Concentrations of nitrites in drinking water and incidence of gastric carcinomas: First descriptive study of the Piedmonte Region, Italy*. Sci. Total Environ. 34, 35-48.
- Gómez, J., 2000. *Abonos orgánicos*. Impresora Feriva S.A. Colombia.
- Granados, M., R. Thompsom, M. Fernández, J. Gázquez, M. Gallardo y C. Martínez, 2007. *Reducción e la lixiviación de nitratos y manejo mejorado de nitrógeno con sondas de succión en cultivos hortícolas*. Colección Agrocicola, Fundación Cajamar. Almería, España.
- Groeneveld R., L. Bowman, S. Krwitwagen y E. Van Ierland. 2001. *Land Cover Changes as a Result of Environmental Restrictions on Nitrate Leaching in Dairy Farming*. Environmental Modeling and Assessment 6(2):101-109
- Hauck, R., 1981. *Nitrogen fertilizer effects in nitrogen cycle processes*. p. 551-562. In F. Clark & T. Roswall (ed.). *Terrestrial nitrogen cycles*. Ecol. Bull. 33. Swedish Natural Science Research Council. Stockholm.
- Heathwaite, A., T. Burt y S. Trudgill, 1993. Overview – The nitrate issue. En: Nitrate: Processes, Patterns and Management. Eds.: Burt, T.P., Heathwaite, A.L. y Trudgill, S.T. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.

- INEN, 2006. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108; Agua Potable, Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito.
- INEN, 2011. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108; Agua Potable, Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito.
- INTA, 2006. *Reacción de los fertilizantes el suelo. Volatilización de amoníaco a partir de la urea*. <<http://www.engormix.com/MA-agricultura/soja/articulos/fertilizantes-en-el-suelo-t701/415-p0.htm>>. Bajado 15 marzo 2014.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, 881 pp.
- Jansson, S. y J. Parsson, 1982. *Mineralization and immobilization of soil nitrogen*. p. 229-252. In F. Stevenson (ed.). *Nitrogen in Agriculture Soils*. Monography N° 22. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Joiner, J., R. Poole y C. Conover, 1983. *Nutrition and fertilization of ornamental greenhouse crops*. Hort. Rev., 5: 317-403.
- Juma, N., 1998. *The pedosphere and its dynamics: a systems approach to soil science*. Volumen 1. Quality Color Press Inc. Edmonton, Canada.
- Krupnik, T., Six, J., K. Ladha, M. Paine y C. van Kessel, 2004. *An assessment of fertilizer nitrogen recovery efficiency by grain crops*. In: Mosier, A.R., Syers, J.K., Freney, J.R. (Eds.), *Agriculture and the Nitrogen Cycle*. Island Press, Washington, D.C., pp. 193–207.
- Le Scienze, 2008. *Eutrofizzazione dei laghi: non solo de azoto*. <http://www.lescienze.it/news/2008/07/22/news/eutrofizzazione_dei_laghi_non_solo_azoto-578799/>. Bajado 11 marzo 2014.
- Lincoln, S., 2014. *Our need for nitrogen, and essential element in feeding the world*. E-Science 8: febrero 2014.
- López, J., 1981. *Cultivo del Rosal en Invernadero*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Marschner, P., 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Third Edition. Edited by Petra Marschner. Academic Press, Elsevier.
- Medina, E., 2001. *Cáncer Gástrico. Capítulos escogidos*. Editor Dr. Pedro Llorens Sabaté. Santiago de Chile.
- Mallarino, A., W. Wedin, R. Goyenola, C. Perdomo y C. West, 1990. *Legume species and proportion effects on symbiotic dinitrogen fixation in legume-grass mixtures*. Agron. J. 82: 785-790.
- Mantell, C., 1980. *Ingeniería electroquímica*, (4 ed.). Editorial Reverté, Barcelona.
- Manzanares, J., 1992. *Exportación de Nutrientes en el Cultivo de Rosas bajo Invernadero*. Escuela de Postgrado de la Universidad Central del Ecuador, Especialización en Suelos y Nutrición de Plantas. Quito, Ecuador.
- Morisot, A., 1978. *Repartition des elements fertilisants dans les sols de serres florales du*

midi de la France (oeilletes et rosiers). Ann. Agron., 29:177-192.

- Navarro, G. y S. Navarro, 2014. *Química Agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Mundi Prensa. Madrid.
- Oertli, J. 1996. *Nutrient deficiencies in rose plants*. Mich. State Univ. Quart. Bul. 44(1): 61-66.
- Perdomo, C., M. Barbazán y J. Durán, 1998. *Nitrógeno*. Área de Suelos y Aguas, Cátedra de Fertilidad. Facultad de Agronomía, Universidad de la República de Uruguay, Montevideo.
- Pisano, R. y A. Venturelli, 1980. *Cáncer gástrico incipiente: experiencia del Hospital John Kennedy en Valdivia*. Rev. Méd. Chile 120: 407-414.
- Post, K., 1950. *Florist Crop Production and Marketing*. Orange Judd Publications, New York, pp. 758-803.
- Prado, Y., 2002. *Acumulación de Nutrientes en tres variedades de Rosa (Rosa sp.) en tres épocas fenológicas*. Tesis de Grado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, Universidad central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Rivers, C., K. Hiscock, N. Feast, M. Barrett y P. Dennis, 1996. *Use of nitrogen isotopes to identify nitrogen contamination of the Sherwood sandstone aquifer beneath the City of Nottingham, UK*. Hydrogeology Journal, 4, 90-102.
- Rodriguez, C., F. Sevillano y P. Subramaiam, 1984. *La Fijación del Nitrógeno Atmosférico: Una Biotecnología en la Producción Agraria*. Consejo Superior de Investigaciones y Ciencias. Salamanca.
- Sauchelli, V. (ed), 1964. *Fertilizer Nitrogen. Its Chemistry and Technology*. ACS Monograph 161. Reinhold Publishing, New York.
- Sierra, C. y C. Rojas, 2009. *La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejorador de la productividad de los cultivos*. Centro Regional de Investigación (CRI) Intihuasi. Chile.
- Speijers, G. *et al.*, 1989. *Integrated criteria document nitrate; effects*. Appendix to RIVM Report No. 758473012. Bilthoven, Rijksinstituut voor de Volksgenozondheid en Milieuhygiëne (National Institute of Public Health and Environmental Protection) (RIVM Report No. A758473012).
- Stahr, K., F. Rück y T. Gaiser, 1994 *Soil Nitrogen-Reserves and Mineralisation as Affected by Climate, Soil and Land use*.- In: Köhler, W. (Ed.): The Terrestrial Nitrogen Cycle as Influenced by Man. Nova Acta Leopoldina. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale), Bd. 70, Nr. 288, S. 213-235.
- Tisdale, S. & W. Nelson, 1970. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Montaner y Simon, S.A. Barcelona.
- Tsujita, M., 1987. *Hugh Intensity Supplementary Radiation of Roses*. In: Langhans R. (Ed), *Roses: A Manual on the Culture, Management, Diseases and Insects of Greenhouse Roses*. Roses Incorporated, Michigan.
- UHU, 2012. *El nitrógeno en la planta y en el suelo*. Universidad de Huelva. <www.uhu.es/>. Bajado 1 marzo 2014.

- Unavarra, 2014. *Fijación del nitrógeno atmosférico*. En: http://www.unavarra.es/herbario/leguminosas/htm/fijacion_nitrogeno_L.htm. Bajado 8 febrero 2014.
- UNEP's GEO Yearbook, 2003
- U.S. EPA 1991. *Integrated Risk Information System (IRIS): Nitrate (CASRN 14797-55-8)*. Washington, DC:U.S. Environmental Protection Agency. En: <http://www.epa.gov/iris/subst/0076.htm>. Bajado 9 de marzo 2014.
- Van Drecht et al. 2003. *Global modeling of the fate of nitrogen from point and nonpoint sources in soils, groundwater and surface water*. *Global Biogeochem. Cycl.* 17 (4), 1115.
- Ward, M, T. deKok, P. Levallois, J. Brender, G. Gulis, B. Nolan y J. VanDerslice, 2005. Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health-Recent Findings and Research Needs. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1310926/>. Bajado 9 de marzo 2014.
- White, J., 1987. *Fertilization*. In: Langhans R. (Ed), *Roses: A Manual on the Culture, Management, Diseases and Insects of Greenhouse Roses*. Roses Incorporated, Michigan.
- WHO 2004. *Nitrates and Nitrites in Drinking-Water*. WHO/SDE/WSH/04.08/56. Rolling revision of the WHO guidelines for drinking-water quality. Draft for review and comments. Geneva:World Health Organization. En: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/nitratesfull.pdf. Bajado 9 marzo 2014.
- Wikipedia, 2013. *Óxido nítrico*. [http://es.wikipedia.org/wiki/Óxido_de_nitrógeno_\(I\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Óxido_de_nitrógeno_(I)). Bajado 7 febrero 2014.
- Wikipedia, 2014. *Población Mundial*. http://es.wikipedia.org/wiki/Población_mundial. Bajado 8 marzo 2014.
- Wikipedia, 2014b. *Eutrofización*. <http://es.wikipedia.org/wiki/Eutrofización>. Bajado 11 marzo 2014.
- Woodsom, W. y J. Boodley, 1982. *Effects of nitrogen form and potassium concentration on growth, flowering and nitrogen utilization of greenhouse roses*. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107(2): 275-278.
- Wikipedia, 2014a. *Troposfera*. http://es.wikipedia.org/wiki/Atmósfera_terrestre#Troposfera. Bajado 7 febrero 2014.
- Yara International, 2011. *Nitrate fertilizer. Optimizing yield, preserving the environment*. http://www.yara.com/doc/33521_Nitrate_-_Pure_Nutrient.pdf. Bajado 15 marzo 2014.
- Zaldivar, R y H. Robinson, 1973. *Epidemiological investigation on stomach cancer mortality in Chileans: association with nitrate fertilizer*. *Z Kresbforsch* 80: 289-295.

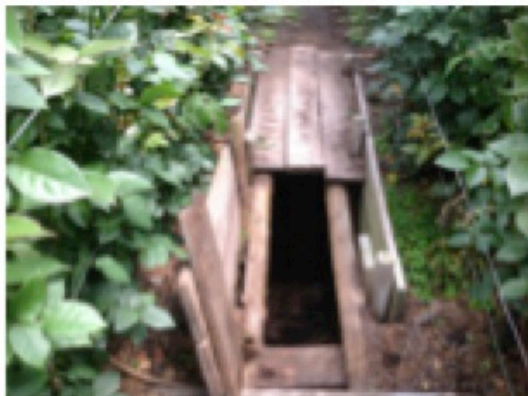
ANEXOS

Anexo A.

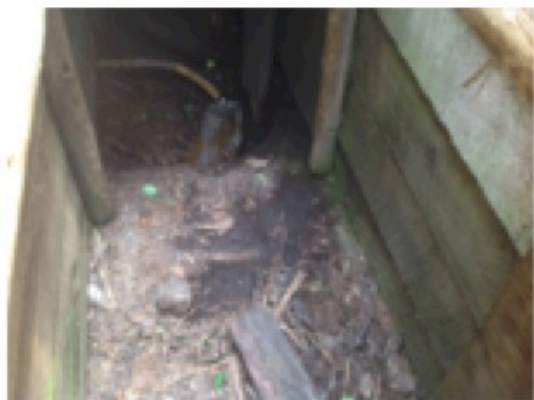
Registro fotográfico



Cultivo de rosas en Agrogana.



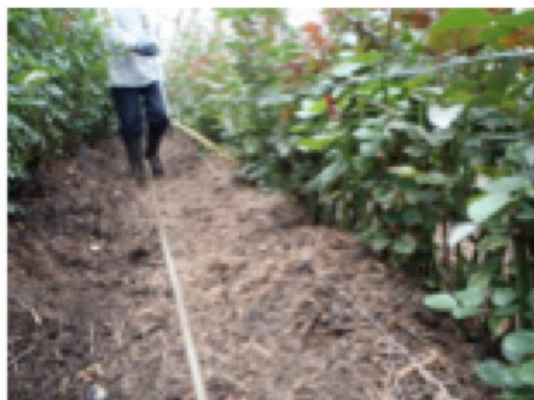
Acceso al lisímetro de percolación.



Toma de muestras del lisímetro.



Sistemas de riego, goteo y aspersión.



Riego de ducha.



Riego por goteo y detalle raíces.



Drenaje del bloque.



Detalle del agua drenada del bloque.



Aplicación de biol.



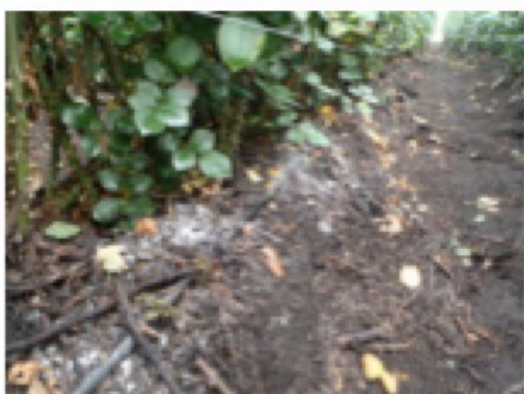
Área de compostaje residuos vegetales.



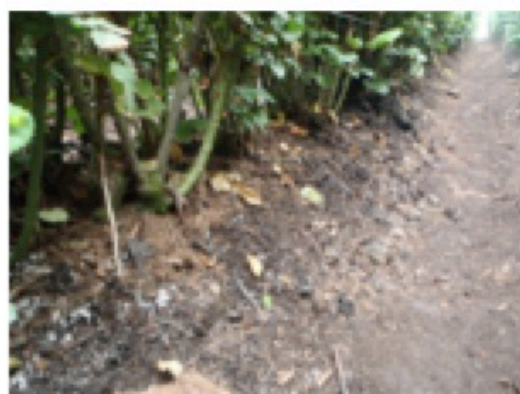
Gallinaza a ser aplicada al cultivo.



Camas con compostaje finca y gallinaza.



Aplicación fertilización edáfica.



Incorporación de gallinaza.



Producción de rosas de calidad.



Ing. Jorge Gómez, gerente técnico.

Anexo B.

Regresión lineal de la producción cosechada y los nitratos lixiviados (en las independientes la producción en flor/planta/mes y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg).

	X	Y	XY	x ²	X - μX	Y - μY	(X-μX)(Y-μY)	(X-μX) ²	(Y - μY) ²	Y _a	Y-Y _a
Enero	1,24	56	69,44	1,54	0,39	11,33	4,37	0,15	128,44	-836,24	892,24
Febreo	1,08	28	30,24	1,17	0,23	-16,67	-3,76	0,05	277,78	-388,96	416,96
Marzo	0,87	52	45,24	0,76	0,02	7,33	0,12	0,00	53,78	-772,34	824,34
Abril	0,85	55	46,75	0,72	0,00	10,33	-0,04	0,00	106,78	-820,26	875,26
Mayo	0,95	28	26,60	0,90	0,10	-16,67	-1,60	0,01	277,78	-388,96	416,96
Junio	0,76	34	25,84	0,58	-0,09	-10,67	1,00	0,01	113,78	-484,81	518,81
Julio	0,67	39	26,13	0,45	-0,18	-5,67	1,04	0,03	32,11	-564,68	603,68
Agosto	0,66	70	46,20	0,44	-0,19	25,33	-4,92	0,04	641,78	-1059,88	1129,88
Septiembre	0,69	43	29,67	0,48	-0,16	-1,67	0,27	0,03	2,78	-628,58	671,58
Octubre	0,79	51	40,29	0,62	-0,06	6,33	-0,41	0,00	40,11	-756,37	807,37
Noviembre	0,91	29	26,39	0,83	0,06	-15,67	-0,87	0,00	245,44	-404,94	433,94
Diciembre	0,78	51	39,78	0,61	-0,07	6,33	-0,47	0,01	40,11	-756,37	807,37
	10,25	536,00	452,57	9,08	0,00	0,00	-5,26	0,33	1960,67	-7862,38	8398,38
	0,85	44,67									
	β	-15,97									
	α	58,31									
Ecuación de la recta	Y =	α	+	β	×						
Correlación	R =	-5,26	+	25,41698896	=						-0,21
Coefficiente de Pearson	R ² =				=						0,04
X	Producción flor/planta/mes durante el 2013										
Y	Nitratos en kg/ha lixiados durante el 2013										
Fuerza de relación r ²											
0	0,25	0,5	0,75	1							
nula	baja	moderada	media	alta							

Con un coeficiente de Pearson (R^2) de 0.04 indica que la fuerza de correlación entre las dos variables (la producción en flor/planta/mes y la lixiviación de nitratos en kg/ha) es nula.

Anexo C.

Regresión lineal del agua drenada y de los $N-NO_3^-$ lixiviados (en las independientes los m^3 de agua lixiviados y en las dependientes los nitratos lixiviados en kg).

	X	Y	XY	x^2	$X - \mu X$	$Y - \mu Y$	$(X-\mu X)(Y-\mu Y)$	$(X-\mu X)^2$	$(Y - \mu Y)^2$	Y_a	$Y-Y_a$
Enero	56,0	138	7728,00	3136,00	11,33	28,50	323,00	128,44	812,25	338,18	-200,18
Febreo	28,0	68	1904,00	784,00	-16,67	-41,50	691,67	277,78	1722,25	166,67	-98,67
Marzo	52,0	127	6604,00	2704,00	7,33	17,50	128,33	53,78	306,25	311,23	-184,23
Abril	55,0	135	7425,00	3025,00	10,33	25,50	263,50	106,78	650,25	330,83	-195,83
Mayo	28,0	69	1932,00	784,00	-16,67	-40,50	675,00	277,78	1640,25	169,12	-100,12
Junio	34,0	83	2822,00	1156,00	-10,67	-26,50	282,67	113,78	702,25	203,42	-120,42
Julio	39,0	96	3744,00	1521,00	-5,67	-13,50	76,50	32,11	182,25	235,28	-139,28
Agosto	70,0	171	11970,00	4900,00	25,33	61,50	1558,00	641,78	3782,25	419,04	-248,04
Septiembre	43,0	106	4558,00	1849,00	-1,67	-3,50	5,83	2,78	12,25	259,78	-153,78
Octubre	51,0	126	6426,00	2601,00	6,33	16,50	104,50	40,11	272,25	308,78	-182,78
Noviembre	29,0	71	2059,00	841,00	-15,67	-38,50	603,17	245,44	1482,25	174,02	-103,02
Diciembre	51,0	124	6324,00	2601,00	6,33	14,50	91,83	40,11	210,25	303,88	-179,88
	536,00	1314,00	63496,00	25902,00	0,00	0,00	4804,00	1960,67	11775,00	3220,25	-1906,25
	44,67	109,50									
	β	2,450187									
	α	0,06									
Ecuación de la recta	Y =	α	+	β	x						
Correlación	R =	4804,00	÷	4804,87773		=				1,00	
Coefficiente de Pearson	$R^2 =$					=				1,00	
X	Producción flor/planta/mes durante el 2013										
Y	Nitratos en kg/ha lixiados durante el 2013										
Fuerza de relación r^2											
0	0,25	0,5	0,75	1							
nula	baja	moderada	media	alta							

Con un coeficiente de Pearson (R^2) de 1 indica que la fuerza de correlación entre las dos variables (m^3 de agua lixiviados y los nitratos lixiviados en kg) es muy alta.

Anexo D.

El K_c del cultivo es un coeficiente que se determina experimentalmente y no es constante durante las diferentes fases del desarrollo del rosal.

El K_c del cultivo es la relación existente entre las necesidades diarias de riego del cultivo (ET_c) y la evaporanspiración de referencia (ET_o):

$$K_c = \frac{ET_c \text{ (mm/día)}}{ET_o \text{ (mm/día)}}$$

El K_c en el cultivo del rosal varía dependiendo de la masa foliar que presente el cultivo, $a <$ tamaño del rosal $< K_c$, las plantas recién sembradas tienen un K_c de 0.55 y las que están en plena producción 1.2 y baja durante el proceso de maduración.