



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA**

**EL MODELO SISTÉMICO PARA LA
FERTILIZACIÓN NITROGENADA
EN BRÓCOLI (*Brassica oleracea itálica*)**

YAMIL EVERALDO CARTAGENA AYALA

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

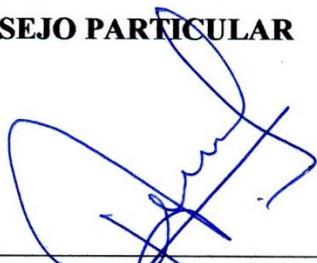
**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
2014**

La presente tesis, titulada: **EL MODELO SISTEMICO PARA LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN BRÓCOLI (*Brassica oleracea itálica*)**, realizada por el alumno: **YAMIL EVERALDO CARTAGENA AYALA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

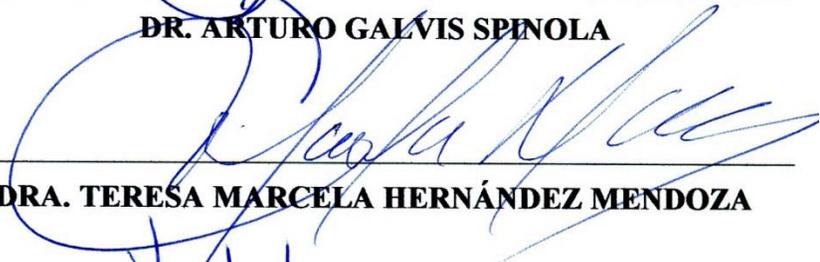
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. ARTURO GALVIS SPINOLA

ASESOR:



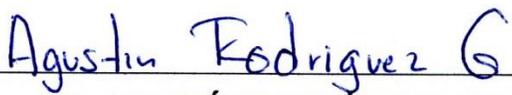
DRA. TERESA MARCELA HERNÁNDEZ MENDOZA

ASESOR:



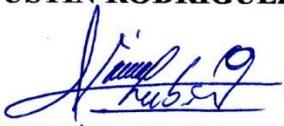
DR. VÍCTOR HUGO VOLQUE HALLER

ASESOR:



DR. AGUSTÍN RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. RUBÉN BUGARÍN MONTOYA

EL MODELO SISTÉMICO PARA LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

EN BRÓCOLI (*Brassica oleracea* itálica)

Yamil Everaldo Cartagena Ayala, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

La aplicación de nitrógeno para la producción de brócoli suele ser ajustada con base en criterios empíricos con el riesgo de llegar a dosis excesivas. En este sentido, una alternativa para precisar la cantidad de nitrógeno que debe agregarse es a través de la evaluación cuantitativa de la demanda nitrogenada del cultivo, el suministro de nitrógeno del suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Se realizaron dos experimentos (octubre de 2012 a enero de 2013 y abril a julio del 2013) en el Campo Experimental Tlapeaxco de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Los factores en estudio para el primer experimento fueron: láminas de riego (3 y 6 mm) y dosis de nitrógeno (80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹), y para el segundo experimento las dosis de nitrógeno residual del ensayo anterior y residuos de la cosecha (sin residuos y con residuos); para ambos experimentos se utilizó un arreglo de parcelas divididas en bloques completamente al azar, dando un total de 8 tratamientos con cuatro repeticiones. En el ensayo 1, el rendimiento más alto fue 28.9 t ha⁻¹ con 6 mm de riego y 160 kg N ha⁻¹, con 217 kg N ha⁻¹, 148 kg N ha⁻¹ y 44% de demanda, suministro y eficiencia de la fertilización nitrogenada, respectivamente. Para el ensayo 2, el rendimiento mayor fue 47.3 t ha⁻¹ con 80 kg ha⁻¹ de nitrógeno residual con residuos de la cosecha, con 350 kg N ha⁻¹, 355 kg N ha⁻¹ y 9% de demanda, suministro y eficiencia de la fertilización nitrogenada, respectivamente.

Palabras clave: Peso fresco, biomasa, nitrógeno acumulado, inflorescencia.

SYSTEMIC MODEL FOR NITROGEN FERTILIZATION

IN BROCCOLI (*Brassica oleracea italica*)

Yamil Everaldo Cartagena Ayala, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

The application of nitrogen for the production of broccoli is usually adjusted based on empirical criteria with the risk of becoming excessive doses. In this sense, an alternative to specify the amount of nitrogen to be added is through the quantitative assessment of the nitrogen demand of the crop, the soil nitrogen supply and efficiency of nitrogen fertilization. Two experiments (October 2012 to January 2013 and April to July 2013) in the Experimental Tlapeaxco, Chapingo Autonomous University, Mexico were performed. Factors studied in the first experiment were: irrigation depths (3 and 6 mm) and nitrogen rates (80, 160, 240 and 320 kg ha⁻¹), and for the second experiment the dose of residual nitrogen from previous test and crop residues (no waste and waste); for both experiments an array of split plot randomized complete block was used, giving a total of 8 treatments with four replications. In experiment 1, the highest yield was 28.9 t ha⁻¹ with 6 mm of irrigation and 160 kg N ha⁻¹, 217 kg N ha⁻¹, 148 kg N ha⁻¹ and 44% of demand, supply and efficiency nitrogen fertilization, respectively. For experiment 2, the highest yield was 47.3 t ha⁻¹ with 80 kg ha⁻¹ of residual nitrogen in crop residues, with 350 kg N ha⁻¹, 355 kg N ha⁻¹ and 9% of demand, supply and efficiency of nitrogen fertilization, respectively.

Keywords: Fresh weight, biomass, accumulated nitrogen, inflorescence.

DEDICATORIA

Al agricultor

Realidad dura de mi país

Por su trabajo diario, para proveernos de alimentos.

A mi Abuelo

Gonzalo

Por enseñarme que es necesario esforzarse todos los días por ser un buen hombre.

A mis hijos:

Emilio y Eric

Por ser mis compañeros inseparables en el camino de la vida.

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de su agradecimiento a todas las personas que impartieron sus conocimientos para la labor de producir alimentos en beneficio de la humanidad, de manera especial:

- Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), por los recursos financieros y permitirme continuar con mis estudios de doctorado, para poder servir mejor a mi pueblo.
- Al Colegio de Postgraduados (CP), por difundir y aplicar sus conocimientos en el manejo sustentable de los recursos naturales y la producción de alimentos.
- Al Dr. Arturo Galvis Spínola, por ser mi Consejero, sus valiosos aportes científicos, experiencias y acertada dirección durante el transcurso de la investigación.
- A Dra. Teresa Marcela Hernández Mendoza Dr. Víctor Hugo Volque Haller, Dr. Agustín Rodríguez González y Dr. Rubén Bugarín Montoya, por ser mis Asesores y las facilidades prestadas en la ejecución de la investigación.
- Al Sr. Gonzalo Galván, por su decidida colaboración en la realización del trabajo de campo y laboratorio.
- A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con sus aportes en la realización de esta investigación.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El nitrógeno en la planta	3
2.1.1. Funciones del nitrógeno en la planta.....	8
2.1.2. Contaminación por nitrato y nitrito.....	10
2.2. El modelo sistémico para generar dosis de fertilizantes	14
2.2.1. Demanda nutrimental.....	25
2.2.2. Suministro de nitrógeno del suelo.....	32
2.2.3. Eficiencia de la fertilización nitrogenada.....	39
2.3. Trabajos de fertilización en brócoli	60
2.4. Resumen de la revisión de literatura	75
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	76
3.1. Objetivo general	76
3.2. Objetivos específicos	76
3.3. Hipótesis	76
4. MATERIALES Y MÉTODOS	77
4.1. Ubicación	77
4.2. Clima	77
4.3. Suelo	79
4.4. Agua de riego	79
4.5. Material vegetal	80
4.6. Experimentos	81
4.6.1. Experimento 1: Láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	81
4.6.2. Experimento 2: Dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	83

	Página
4.7. Manejo del experimento	85
4.7.1. Semillero.....	85
4.7.2. Preparación del terreno.....	85
4.7.3. Establecimiento del experimento.....	85
4.7.4. Fertilización química.....	86
4.7.5. Trasplante.....	86
4.7.6. Riego.....	86
4.7.7. Control de malezas y plagas.....	87
4.7.8. Cosecha.....	87
4.8. Variables	88
4.8.1. Peso fresco.....	88
4.8.2. Biomasa.....	89
4.8.3. Unidades térmicas.....	89
4.8.4. Índice de la raíz.....	89
4.8.5. Índice de la cosecha.....	90
4.8.6. Nitrógeno acumulado.....	90
4.8.7. Nitrateo acumulado.....	91
4.8.8. Nitrito acumulado.....	92
4.9. Análisis estadístico	92
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
5.1. Experimento 1: Láminas de riego y dosis de nitrógeno	96
5.1.1. Condiciones climáticas.....	96
5.1.2. Condiciones edáficas.....	96
5.1.3. Peso fresco aéreo e inflorescencia.....	99
5.1.4. Biomasa aérea e inflorescencia.....	107
5.1.5. Índice de la raíz.....	117
5.1.6. Índice de la cosecha.....	118
5.1.7. Rendimiento de la inflorescencia en el tiempo.....	119
5.1.8. Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea e inflorescencia...	122

	Página
5.1.9. Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia.....	129
5.1.10. Nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia.....	131
5.1.11. Generación de la dosis de fertilización nitrogenada.....	133
5.2. Experimento 2: Dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	136
5.2.1. Condiciones climáticas.....	136
5.2.2. Condiciones edáficas.....	136
5.2.3. Peso fresco aéreo e inflorescencia.....	139
5.2.4. Biomasa aérea e inflorescencia.....	147
5.2.5. Índice de la raíz.....	157
5.2.6. Índice de la cosecha.....	158
5.2.7. Rendimiento de la inflorescencia en el tiempo.....	159
5.2.8. Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea e inflorescencia...	162
5.2.9. Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia.....	169
5.2.10. Nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia.....	171
5.2.11. Generación de la dosis de fertilización nitrogenada.....	173
6. CONCLUSIONES.....	176
7. LITERATURA CITADA.....	177
8. ANEXOS.....	186

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 2.1.	Problemas causados por el exceso de nitrógeno en el ambiente..	13
Cuadro 2.2.	Balance de la fertilización nitrogenada con fertilizantes nitrogenados marcados con ¹⁵ N.....	39
Cuadro 2.3.	Parámetros para el cálculo de la dosis de fertilización en el cultivo de maíz.....	44
Cuadro 2.4.	Cálculo de la dosis de fertilización nitrogenada en chile jalapeño.....	46
Cuadro 2.5.	Requerimientos nutricionales para el cultivo de papa.....	48
Cuadro 2.6.	Análisis químico de suelos con la interpretación de los niveles críticos para el cultivo de papa.....	48
Cuadro 2.7.	Eficiencia de utilización de los fertilizantes (Bertsch, 1998).....	49
Cuadro 2.8.	Consideraciones prácticas que deben ser contempladas para establecer el programa de fertilización con nitrógeno para el cultivo de maíz.....	50
Cuadro 2.9.	Balance de nitrógeno en una explotación de regadío situada en una zona vulnerable al nitrógeno para el cultivo de maíz grano.....	51
Cuadro 2.10.	Análisis químico de suelo del campo Agrícola “San Martín”, Chapingo, Estado de México.....	52
Cuadro 2.11.	Precipitación y temperatura en un ambiente tropical para el cultivo de sorgo.....	55
Cuadro 2.12.	Rendimiento potencial del cultivo de sorgo.....	56
Cuadro 2.13.	Parámetros de suelo, cultivo y fertilizante para sorgo.....	56
Cuadro 2.14.	Rendimiento, densidad de plantas, nitrógeno aplicado y acumulado en el cultivo de brócoli.....	74

	Página
Cuadro 4.1. Condiciones climáticas durante la ejecución de los experimentos.....	77
Cuadro 4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	79
Cuadro 4.3. Propiedades químicas del agua de riego.....	80
Cuadro 4.4. Características del cultivar de brócoli, híbrido Avenger.....	80
Cuadro 4.5. Tratamientos en estudio para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	81
Cuadro 4.6. Dimensiones del experimento para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	82
Cuadro 4.7. Tratamientos en estudio para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	83
Cuadro 4.8. Dimensiones del experimento para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	84
Cuadro 4.9. Épocas de aplicación, fraccionamiento y cantidad del fertilizante nitrogenado, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	86
Cuadro 5.1. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo de brócoli.....	100
Cuadro 5.2. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.....	101
Cuadro 5.3. Función cuadrática del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo e inflorescencia de brócoli.	101
Cuadro 5.4. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo de brócoli.....	103
Cuadro 5.5. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.....	104

	Página	
Cuadro 5.6.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo observado, estimado y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	105
Cuadro 5.7.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.....	108
Cuadro 5.8	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	109
Cuadro 5.9	Función cuadrática del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea e inflorescencia de brócoli.....	109
Cuadro 5.10	Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.....	111
Cuadro 5.11	Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	112
Cuadro 5.12.	Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.....	113
Cuadro 5.13.	Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	114
Cuadro 5.14.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	115
Cuadro 5.15.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el índice de la raíz de brócoli.....	117
Cuadro 5.16.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el índice de la cosecha de brócoli.....	118
Cuadro 5.17.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	122

	Página	
Cuadro 5.18.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	123
Cuadro 5.19.	Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	124
Cuadro 5.20.	Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	125
Cuadro 5.21	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	127
Cuadro 5.22.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	129
Cuadro 5.23.	Función cuadrática inversa del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	130
Cuadro 5.24.	Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	131
Cuadro 5.25.	Función cuadrática inversa del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	132
Cuadro 5.26.	Rendimiento, demanda de nitrógeno, dosis de nitrógeno (aplicado y estimado), suministro del suelo (148 kg ha ⁻¹), eficiencia de aplicación del fertilizante (43%), para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	134
Cuadro 5.27.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo de brócoli.....	140
Cuadro 5.28.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.....	141

	Página	
Cuadro 5.29.	Función cuadrática del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo e inflorescencia de brócoli.....	141
Cuadro 5.30.	Función logística normal de efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo de brócoli.....	143
Cuadro 5.31.	Función logística normal de efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.....	144
Cuadro 5.32.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo observado, estimado y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	145
Cuadro 5.33.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.....	148
Cuadro 5.34.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	149
Cuadro 5.35.	Función cuadrática del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea e inflorescencia de brócoli.....	149
Cuadro 5.36.	Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.....	151
Cuadro 5.37.	Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	152
Cuadro 5.38.	Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.....	153
Cuadro 5.39.	Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	154
Cuadro 5.40.	Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	155

	Página
Cuadro 5.41. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el índice de la raíz de brócoli.....	157
Cuadro 5.42. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el índice de la cosecha de brócoli.....	158
Cuadro 5.43. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	162
Cuadro 5.44. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	163
Cuadro 5.45. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	164
Cuadro 5.46. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	165
Cuadro 5.47. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.....	167
Cuadro 5.48. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrato acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	169
Cuadro 5.49. Función cuadrática inversa del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	170
Cuadro 5.50. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	171
Cuadro 5.51. Función cuadrática inversa del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.....	172
Cuadro 5.52. Demanda de nitrógeno (observada y estimada), dosis de nitrógeno (aplicado y estimado), suministro del suelo (355 kg ha ⁻¹), eficiencia de aplicación del fertilizante (9%), para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	174

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1.	El ciclo del nitrógeno dentro del sistema de producción agrícola (Galvis y Hernández, 2003).....	7
Figura 2.2.	Dinámica de los nutrientes en el suelo (Rodríguez, 1990).....	17
Figura 2.3	Modelo simplificado para generar dosis de fertilización nitrogenada en los cultivos anuales (Galvis, 1990).....	19
Figura 2.4.	Modelo simplificado modificado para generar dosis de fertilización nitrogenada en los para cultivos anuales (Galvis, 2014).....	22
Figura 2.5.	Curvas de rendimiento de un cultivo en relación con la intensidad de la sequía (Volque, 1988).....	23
Figura 2.6.	Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a); nitrógeno acumulado en la planta y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la planta (cuadrante c), para el cultivo de arroz IIRI. Los Baños, Filipinas en la estación seca y húmeda (Tanaka <i>et al.</i> , 1964).....	24
Figura 2.7.	Concentración de nitrógeno en la biomasa aérea en la cosecha de distintos cultivos con una nutrición nitrogenada adecuada (Rodríguez, 1993).....	31
Figura 2.8.	Suministro del nitrógeno en el suelo (Rodríguez, 1993).....	35
Figura 2.9.	Modelo simple de la mineralización del nitrógeno en el suelo (Matus y Rodríguez, 1994).....	38
Figura 2.10.	Relación entre dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la planta, para el cultivo de arroz IIRI. Los Baños, Filipinas en la estación seca y húmeda (Tanaka <i>et al.</i> , 1964).....	42
Figura 4.1.	Ubicación del experimento en el lote Montecillo Dos-Seis, Campo Experimental Tlapeaxco, Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, México.....	78

	Página
Figura 5.1. Temperatura (máxima y mínima) y precipitación diarias, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	97
Figura 5.2. Humedad volumétrica a 0.30 m de profundidad del suelo, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	98
Figura 5.3. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno en el peso fresco de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	102
Figura 5.4. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	110
Figura 5.5. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 80, 85, 90, 95 y 100 días después del trasplante.....	120
Figura 5.6. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	121
Figura 5.7. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.....	126
Figura 5.8. Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a), nitrógeno acumulado en la biomasa aérea y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (cuadrante c) en brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	135
Figura 5.9. Temperatura (máxima y mínima) y precipitación diarias, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	137
Figura 5.10. Humedad volumétrica semanal a 0.30 m de profundidad del suelo, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	138
Figura 5.11. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el peso fresco de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	142

	Página
Figura 5.12. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en la biomasa de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	150
Figura 5.13. Efecto de láminas de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 80 y 90 días después del trasplante.....	160
Figura 5.14. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	161
Figura 5.15. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli a los 100 días después del trasplante.....	166
Figura 5.16. Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a), nitrógeno acumulado en la biomasa aérea y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (cuadrante c), en brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	175

LISTA CUADROS DEL ANEXO

		Página
Cuadro A.1.	Aporte de iones del agua para preparar la solución de Steiner.....	188
Cuadro A.2.	Diseño del balance de la solución de Steiner.....	188
Cuadro A.3.	Solución fertilizante.....	188
Cuadro A.4.	Propiedades físicas del suelo. Lote Montecillo dos-seis.....	189
Cuadro A.5.	Humedad volumétrica ajustada.....	192
Cuadro A.6.	Duración del período vegetativo y fases de desarrollo del brócoli.....	196
Cuadro A.7.	Duración de las fases de desarrollo y coeficiente del cultivo (Kc) del brócoli.....	197
Cuadro A.8.	Alícuotas para la curva de calibración de NO ₃	205
Cuadro A.9.	Alícuotas para la curva de calibración de NO ₂	210
Cuadro A.10.	Datos climáticos diarios, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	216
Cuadro A.11.	Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 3 mm.....	219
Cuadro A.12.	Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 6 mm.....	222
Cuadro A.13.	Peso fresco de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	225
Cuadro A.14.	Peso fresco del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	226
Cuadro A.15.	Peso fresco de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	227

	Página
Cuadro A.16. Peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	228
Cuadro A.17. Peso fresco aéreo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	229
Cuadro A.18. Biomasa de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	230
Cuadro A.19. Biomasa del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	231
Cuadro A.20. Biomasa de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	232
Cuadro A.21. Biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	233
Cuadro A.22. Biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	234
Cuadro A.23. Nitrógeno en la biomasa de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	235
Cuadro A.24. Nitrógeno en la biomasa del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	235
Cuadro A.25. Nitrógeno en la biomasa de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	236
Cuadro A.26. Nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	236
Cuadro A.27. Nitrógeno en la biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	237
Cuadro A.28. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	238

	Página
Cuadro A.29. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	238
Cuadro A.30. Análisis de varianza del peso fresco aéreo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	239
Cuadro A.31. Análisis de varianza del peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	240
Cuadro A.32. Análisis de varianza de la biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	241
Cuadro A.33. Análisis de varianza de la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	242
Cuadro A.34. Análisis de varianza del índice de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	243
Cuadro A.35. Análisis de varianza del índice de la cosecha de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	243
Cuadro A.36. Datos climáticos diarios, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	246
Cuadro A.37. Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 6 mm.....	249
Cuadro A.38. Peso fresco de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	252
Cuadro A.39. Peso fresco del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	253
Cuadro A.40. Peso fresco de las hojas de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	254
Cuadro A.41. Peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	255

	Página
Cuadro A.42. Peso fresco aéreo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	256
Cuadro A.43. Biomasa de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	257
Cuadro A.44. Biomasa del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	258
Cuadro A.45. Biomasa de las hojas de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	259
Cuadro A.46. Biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	260
Cuadro A.47. Biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	261
Cuadro A.48. Nitrógeno en la biomasa de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	262
Cuadro A.49. Nitrógeno en la biomasa del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	262
Cuadro A.50. Nitrógeno en la biomasa de la hoja de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	263
Cuadro A.51. Nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	263
Cuadro A.52. Nitrógeno en la biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	264
Cuadro A.53. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	265
Cuadro A.54. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	265

		Página
Cuadro A.55.	Análisis de varianza del peso fresco aéreo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	266
Cuadro A.56.	Análisis de varianza del peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	267
Cuadro A.57.	Análisis de varianza de la biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	268
Cuadro A.58.	Análisis de varianza de la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	269
Cuadro A.59.	Análisis de varianza del índice de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	270
Cuadro A.60.	Análisis de varianza del índice de la cosecha de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	270

LISTA DE FIGURAS DEL ANEXO

		Página
Figura A.1.	Distribución espacial de la capacidad de campo a 0.30 m de profundidad del suelo.....	190
Figura A.2.	Distribución espacial del punto de marchitamiento a 0.30 m de profundidad del suelo.....	191
Figura A.3.	Curva de calibración de nitrato.....	207
Figura A.4.	Curva de calibración de nitrito.....	211
Figura A.5.	Ubicación del experimento, Campo Experimental Tlapeaxco, Universidad Autónoma Chapingo.....	214
Figura A.6.	Distribución de los tratamientos en el sitio experimental, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.....	215
Figura A.7.	Distribución de los tratamientos en el sitio experimental, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.....	245

LISTA DE PROGRAMACIÓN EN SAS DEL ANEXO

	Página
Programación A.1. Análisis de la varianza del diseño experimental de parcela dividida en bloques completamente al azar.....	272
Programación A.2. Análisis de la función cuadrática.....	273
Programación A.3. Análisis de la función logística normal.....	274
Programación A.4. Análisis de la función cuadrática inversa.....	275
Programación A.5. Análisis de la prueba de t.....	276

1. INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo la mayoría de los agricultores del sector de la producción de alimentos son de pequeña escala, producen a nivel de subsistencia y forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y de tecnologías mejoradas surge como una alternativa viable para mejorar la productividad e ingresos por superficie cultivada.

En el espacio agrícola dominado por cultivos tradicionales como maíz en México, y maíz y papas en Ecuador, se encuentra la mayor cantidad de pequeños productores con superficies que no superan las cinco hectáreas; convirtiéndose en un nicho para el desarrollo del brócoli, con ventajas de adaptación climática, producción de tres ciclos en el año y alta rentabilidad económica.

Entre los principales factores tecnológicos que se encuentran involucrados en el incremento del rendimiento de los cultivos en las últimas décadas, está el uso intensivo de fertilizantes; sin embargo, su empleo indiscriminado puede ocasionar desórdenes nutrimentales en el suelo y los cultivos, lo que no favorece la obtención de altos rendimientos, no asegura la rentabilidad de la inversión e incluso se corre el riesgo de ocasionar problemas en la salud humana y animal.

En un sistema de agricultura sustentable, la aplicación de dosis adecuadas de nitrógeno está orientada a conseguir un alto retorno económico a través de un rendimiento óptimo y de calidad, pero también es importante minimizar los riesgos de contaminación de aguas superficiales o profundas por lixiviación de nitratos que ocasionan problemas en la salud humana y de la atmósfera, con gases derivados de procesos como desnitrificación y volatilización.

Entre las metodologías disponibles para la generación de las recomendaciones de fertilización para los cultivos está el Modelo Simplificado que se basa en la relación cuantitativa entre la demanda nutrimental de la planta, el suministro nutrimental del suelo y

la eficiencia de la fertilización, estableciendo una estrategia de manejo integral agronómico de la fertilización, para incrementar o en su caso mantener el estado nutrimental del suelo para una nutrición rentable de los cultivos sin afectar la sustentabilidad del sistema.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo proponer un método para calcular las necesidades de fertilización nitrogenada para el cultivo de brócoli, con base en la cuantificación directa de la demanda de nitrógeno del cultivo, el suministro de nitrógeno por el suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El nitrógeno en la planta

La población mundial aumentará de seis mil millones de personas en 1999 a siete mil millones en el 2020. Los países en desarrollo tienen las tasas de crecimiento mayores, en este caso, las personas deberían tener vivienda, vestido y sobre todo, alimentado. Hasta 90% de este aumento necesario de la producción de alimentos tendrá que provenir de los campos ya cultivados. Durante el período 1995-1997 alrededor de 790 millones de personas en el mundo en desarrollo no tenía suficiente alimento. Este número ha decaído en los años recientes de un promedio de alrededor de ocho millones de personas por año. En el año 2015, si el ritmo no fuera aumentado, habría aún 600 millones de personas hambrientas. La mayoría de los países están lastrados por múltiples tipos de malnutrición, que pueden coexistir dentro de un mismo país, familia o individuo (FAO, 2013).

En los países en desarrollo, la mayoría de los agricultores activos del sector de la producción de alimentos son agricultores de pequeña escala, que forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y tecnologías mejoradas es muy importante, dado que la mejora de la productividad resulta no sólo en más alimentos sino también en más ingreso (FAO e IFA, 2002; FAO, 2013).

En consecuencia, las actividades agrícolas tienen dos objetivos principales:

- Suministrar a la población creciente de su país (o también a la de otros países) con las cantidades crecientes de alimentos y de fibras necesarias.
- Proveer un ingreso satisfactorio para el agricultor y su familia.

En los últimos años, las tecnologías aplicadas a la agricultura han generado avances, se logró incrementar la producción de los principales productos agrícolas a una tasa superior al aumento de la población mundial durante las últimas décadas. Así, por ejemplo, la producción de arroz aumentó 51%, maíz 49% y oleaginosas básicas 122%, mientras que la

población mundial creció 36%. Por otra parte la superficie cosechada de estos cultivos se incrementó sólo 6, 11 y 38%, respectivamente. La producción de hortalizas también aumentó a un ritmo superior al de la población mundial (FAOSTAT, 2001).

Entre los principales factores tecnológicos involucrados en el aumento del rendimiento alcanzado en las últimas décadas, se encuentra el uso intensivo de fertilizantes. El uso de los fertilizantes constituye uno de los principales factores en un programa destinado a lograr incrementos en las cosechas. Sin embargo su empleo indiscriminado puede ocasionar como resultado desbalances nutrimentales. Este desequilibrio no favorece la obtención de altos rendimientos ni asegura la rentabilidad de la inversión de fertilizantes. Mientras que el mejoramiento genético permitió aumentar el potencial de producción de los cultivos, el uso de fertilizantes, junto con el riego y la protección química, permitió la expresión de dicho potencial. Sin fertilizantes, el rendimiento de las variedades mejorados sería inferior al de las tradicionales. Dada esta complementariedad, es difícil separar del resto de las tecnologías utilizadas, el efecto de los fertilizantes sobre el rendimiento. Sin embargo, se estima que aproximadamente 44% del incremento en el rendimiento de los cereales entre 1961 y 1990, se debió al uso de nitrógeno; este efecto fue mayor en los países en desarrollo (Byrnes y Bumb, 1998). De hecho, éste es el principal elemento mineral utilizado en la fertilización agrícola y su consumo en la agricultura mundial se incrementó 36% en los últimos veinte años, mientras que el del fósforo aumentó sólo 4% y el de potasio se mantuvo relativamente constante (Smil, 1999; FAOSTAT, 2001).

Generalmente los cultivos responden a la fertilización nitrogenada. A medida que la dosis crece, el aumento de la producción por unidad de fertilizante adicional disminuye hasta llegar a un valor a partir del cual (dosis crítica) los incrementos del fertilizante ya no aumentan la producción. Sin embargo, cuando la cantidad de nitrógeno aplicado excede a la dosis crítica, la lixiviación del nitrato se incrementa. Así pues, la dosis de nutriente nitrogenado debería ser próxima a esta dosis crítica, la cual depende del cultivo, nitrógeno mineral presente en el suelo, contenido en materia orgánica de los suelos y otros factores, pero en suelos normales oscila aproximadamente entre 150-300 kg ha⁻¹ de nitrógeno para la mayoría de los cultivos hortícolas (Andrew, 2006).

Para comprender el uso del nitrógeno es necesario analizar el ciclo del nitrógeno, que es un recurso teórico en el cual se evalúa la interconexión de sus diferentes formas y las transformaciones que sufre en el aire, suelo, agua y organismos vivos. Esto permite entender la variación y magnitud de la capacidad de aporte de este nutrimento por el medio donde se desarrolla el cultivo y sus salidas o pérdidas como consecuencia de las prácticas de manejo agrícola. Los principales procesos que participan en el ciclo del nitrógeno son la amonificación, nitrificación, fijación biológica, inmovilización, volatilización, desnitrificación y lixiviación. Los cuatro primeros incrementan el nitrógeno que pueden aprovechar los cultivos; la inmovilización es una pérdida temporal de la disponibilidad del nitrógeno porque nuevamente quedará disponible al cabo del tiempo a través de la amonificación (mineralización), y finalmente los tres últimos procesos son de pérdida porque sale el nitrógeno del suelo. La representación de los principales componentes del nitrógeno y su interconexión en el sistema de producción se presenta en la Figura 2.1 (Arévalo, 2005).

Los procesos que rigen la formación, descomposición y transformación de las reservas orgánicas del suelo, son la misma que originan los diferentes compuestos orgánicos nitrogenados, en formas muy lábiles (aminoácidos y proteínas) o estabilizados (ligninas, taninos y quinonas). La biomasa macro y microbiana abunda principalmente en los primeros 0.05 m de profundidad, formando una verdadera cadena alimenticia, que inicia con los residuos orgánicos que se encuentra atacados por microorganismos (bacterias y hongos), que a su vez sirven de alimento para nematodos, protozoarios que son consumidos por ácaros e insectos, que también sirven de alimento para escarabajos y hormigas, contribuyendo a la fertilidad del suelo con sus excretas que liberan nutrientes que fueron mineralizados en su tracto digestivo, modificando notablemente la tasa de descomposición de los materiales orgánicos (Arévalo, 2005).

La conversión de las formas orgánicas de nitrógeno del tejido de plantas y animales a amonio se denomina amonificación que es una consecuencia directa de la mineralización y se realiza a través de diversos microorganismos heterótrofos y aerobios, involucrándose gran cantidad de hongos y bacterias, y posteriormente el amonio se convierte a nitrato

debido a un proceso biológico denominado nitrificación (nitrosomonas y nitrobacter). La tasa con la que el amonio es oxidado hasta la formación de nitratos varía de acuerdo a las condiciones de humedad y temperatura óptimas, por lo que se considera en general que mientras más altas son la humedad y la temperatura del suelo, más rápida será la reacción y viceversa. Dada la rapidez de estas transformaciones, el nitrato es la forma de nitrógeno inorgánico que predomina en el suelo (90%) y el resto es prácticamente amonio, ya que el tiempo de residencia de los nitritos es efímero. Por lo tanto, es muy frecuente el referirse al nitrógeno inorgánico sólo como nitratos, ocasionando el riesgo de subestimar la cuantificación del nitrógeno del suelo. En donde no exista suficiente humedad u oxígeno libre la nitrificación se detendrá, favoreciendo una mayor abundancia de amonio respecto a los nitratos del suelo, incluso permitir una cierta acumulación de nitritos, los cuales son tóxicos para las plantas (Arévalo, 2005).

De acuerdo a lo anterior, en todo suelo agrícola bien aireado se corre el riesgo de que ocurra la lixiviación de los nitratos, que por su naturaleza química son repelidos por las cargas negativas de los coloides quedando en el flujo gravitacional del agua y cuando esto ocurre, quedarán fuera del alcance de las raíces, ocasionando pérdidas con implicaciones económicas y ecológicas importantes enriqueciendo los mantos freáticos con consecuencias nocivas para animales y humanos (Arévalo, 2005).

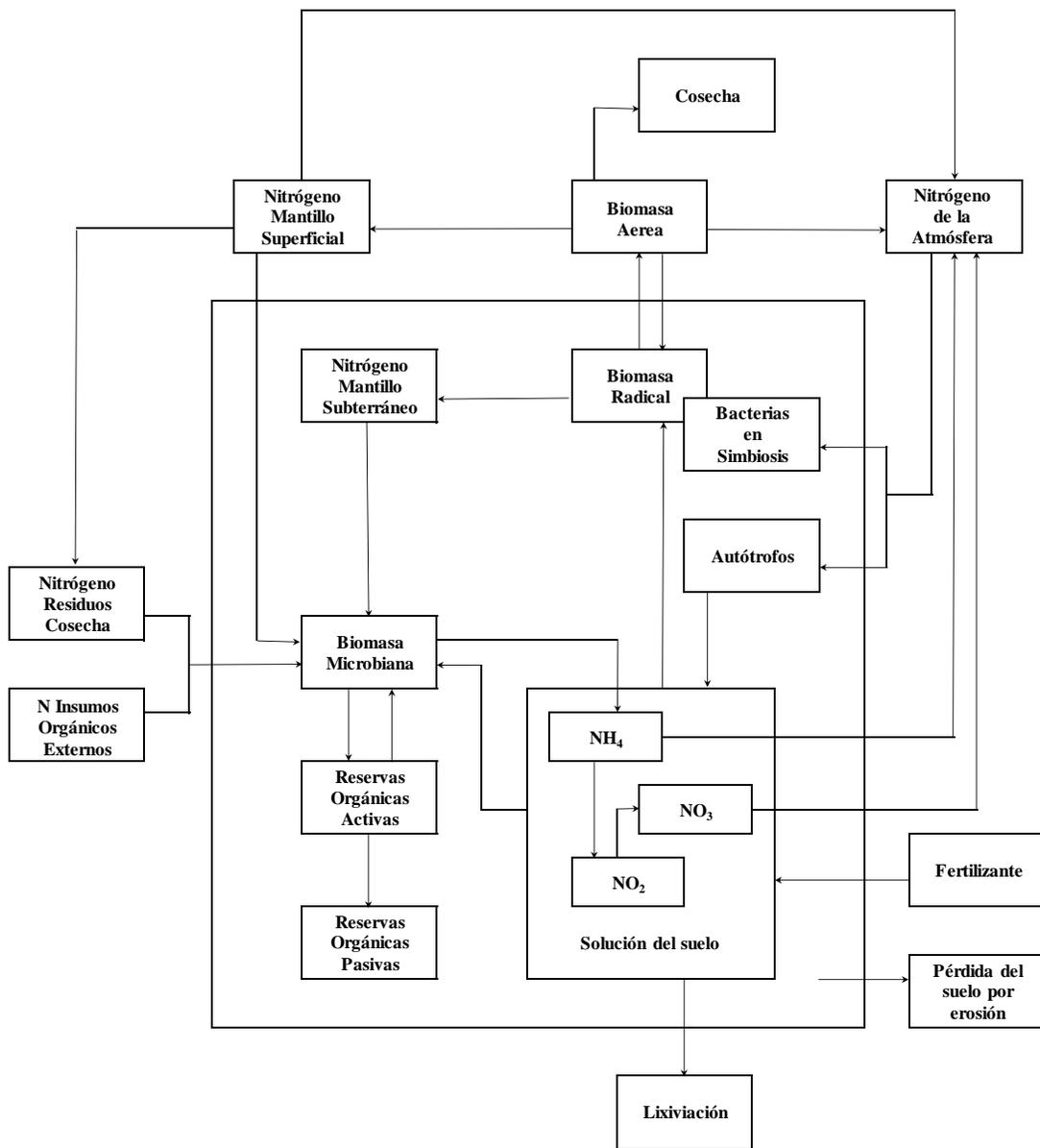


Figura 2.1. El ciclo del nitrógeno dentro del sistema de producción agrícola (Galvis y Hernández, 2003).

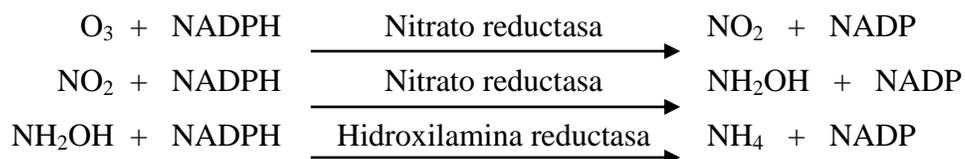
2.1.1. Funciones del nitrógeno en la planta

Cárdenas *et al.*, (2004), mencionan que de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, el nitrógeno es considerado el más importante, por ser el que se encuentra generalmente en mayor proporción, 1 a 3% con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, etapa fenológica, órgano y otros. Las funciones del nitrógeno son de tipo estructurales y osmóticas.

- Las funciones estructurales son de tipo específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides.
- La función osmótica está asociada al efecto del ion nitrato y otras formas reducidas del nitrógeno en la reducción del potencial hídrico de la vacuola, dentro del proceso de osmoregularización.

El nitrato, al igual que el amonio, una vez absorbido es incorporado en compuestos orgánicos que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, a esta incorporación le denomina asimilación. La asimilación del nitrato es muy costosa en términos de energía, debido a una serie compleja de reacciones bioquímicas que demandan un alto gasto energético. Este proceso necesita 12 moles de ATP para reducir un mol de nitrato y cinco moles de ATP para asimilar el amonio (Pereyra, 2001; Taíz y Zeiger, 2007).

El nitrógeno en la planta se halla en forma reducida en todos los compuestos. Por lo tanto, la primera reacción que debe sufrir cuando se absorbe en forma nítrica es su reducción a la forma amoniacal, lo que se realiza en tres fases, en la que interviene como fuente de electrones la coenzima nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADPH) en su forma reducida:



En esta reacción actúa como catalizador el molibdeno, que sirve de enlace en la transferencia de electrones entre la coenzima y el nitrato. La reducción del nitrato puede efectuarse en las raíces o en la parte aérea.

La conversión de N-NO_3 a N-amino incluye tres procesos reductivos y un proceso no reductivo; las cuatro enzimas involucradas son nitrato reductasa (NR), nitrito reductasa (NiR), glutamino sintetasa (GS) y la glutamato sintetasa (GOGAT) (Salisbury y Ross, 1994).

El proceso de asimilación del ion nitrato sucede de la siguiente manera: el nitrato es primeramente convertido a una forma de energía superior, nitrito cuya reacción es catalizada por la enzima nitrato reductasa, esta enzima es regulada por el nitrato y la luz entre otros factores. Posterior a esta reacción, el nitrito obtenido es transformado en su mayor forma de energía, amonio y para que esta reacción ocurra es necesario la participación de la enzima nitrito reductasa. Finalmente el amonio, obtenido como resultado de la segunda reacción es incorporado rápidamente en los esqueletos carbonados para formar aminoácidos, evitando de esta forma la toxicidad de este ión. En esta última reacción están involucradas las enzimas glutamino sintetasa y la glutamato sintetasa. Por el contrario el amonio, una vez absorbido por la raíz, el siguiente proceso para la asimilación en su incorporación a los aminoácidos o en otros compuestos que contengan nitrógeno reducido (Salisbury y Ross, 1994).

Después de esta fase el metabolismo del nitrógeno se puede desglosar en dos etapas. En la primera se forman compuestos orgánicos de bajo peso molecular: aminoácidos, aminas y amidas. En una segunda etapa se sintetizan los compuestos de gran peso molecular: proteínas y ácidos nucleicos (Soto, 2002).

La forma en la que se encuentra el nitrógeno tiene un efecto en la composición química de los tejidos de la planta además del crecimiento y desarrollo de la planta. Por ejemplo, al aplicar amonio como única fuente de nitrógeno se obtiene como resultado bajos niveles de cationes, mientras que los nitratos elevan los niveles de cationes. La cantidad y calidad de

los cationes acumulados en el tejido de las plantas también dependen de las especies. La forma del nitrógeno influye significativamente en la producción de biomasa de las diferentes partes de la planta. La biomasa es alta cuando se suministra nitratos en un cien por ciento. El contenido de nitrógeno de las diferentes partes de la planta es influenciado grandemente por las formas de nitrógeno suministradas. El amonio incrementa significativamente el contenido de nitrógeno en la mayoría de las partes de la planta. El contenido de nitrógeno de las hojas y raíces se incrementa con el aumento en urea y amonio en la solución. En general, las partes de la planta crecidas en nitratos son bajas en el contenido total de nitrógeno que cuando las plantas crecen con amonio y urea. Cuando el amonio es usado únicamente como fuente de nitrógeno se acumula en hojas y estomas, causando toxicidad. En las hojas se observa necrosis cuando se aplica 50% de urea como fuente de nitrógeno en la solución. Síntomas necróticos pueden ser causados por la urea cuando ésta incrementa el contenido de nitrógeno en las hojas disminuyendo su contenido de calcio (Alan, 1989).

2.1.2. Contaminación por nitrato y nitrito

Abelenda *et al.*, (1996), denominan contaminación a todo proceso que contribuya a que un determinado medio o recurso sea inapropiado para su uso, considerándose contaminadas las aguas cuando se altera su composición, de suerte tal que resulte menos apta para cualquiera o todas las funciones y propósitos para las que sería apropiada en estado natural. En este sentido, Hallberg (1989), Merino y Arozarena (1991), Sagardoy (1993), entre otros, plantean que la agricultura que utiliza elevadas aplicaciones de fertilizantes minerales, especialmente los nitrogenados, es la principal responsable del contenido de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas. Este proceso puede ser lento y con el paso de los años trae como consecuencias riesgos en la salud humana: meta hemoglobinemia o síndrome del bebe azul y cáncer gástrico (Soares, 2000).

La concentración de nitrato puede llegar a ser tóxica con más de 44 mg L^{-1} , y se considera no apta para el consumo humano (USEPA, 1989; Domínguez y Domínguez, 1994).

Otro factor es la mineralización del nitrógeno que juega un papel importante en el ciclo del nitrógeno, ya que convierte el amoníaco a su forma oxidada de nitrato, que es un ion más fácilmente asimilado por las plantas. El amoníaco se produce naturalmente en la mineralización de la materia orgánica nitrogenada del suelo o se aplica directamente como fertilizante químico, el cual, si no es manejado de forma adecuada, puede causar problemas de contaminación de agua por nitratos, lo que finalmente afecta la calidad del agua (O'Leary *et al.*, 1997).

El exceso de nutrición de la planta en nitrógeno produce una vegetación excesiva que conlleva algunos inconvenientes como puede ser el aumento del número y tamaño de las células de las hojas, con un incremento general en la producción de hojas, retraso en la maduración, la planta continúa desarrollándose pero tarda en madurar, en perjuicio de la producción de semillas. El exceso también produce mayor sensibilidad a enfermedades, los tejidos permanecen verdes y tiernos más tiempo, siendo más vulnerables, inclusive restringen el aprovechamiento del potasio y producir síntomas de deficiencia de potasio (Devlin, 1970; Havlin *et al.*, 1993; MIRAT, 2006).

La acumulación de nitratos es función del tipo de planta de que se trate (especie, variedad, edad, parte y otros.) y de las condiciones de cultivo (temperatura, luz, humedad, tipo y cantidad de fertilizante, época de cosecha, tratamientos post-cosecha y otros) (Mayor *et al.*, 1993).

Los factores ambientales de cultivo, especialmente la luz y la temperatura, son las principales causas de la acumulación de nitratos, aunque también se han de tener en cuenta la humedad, fertilización y otros (Domínguez *et al.*, 2004).

El problema de los nitratos en los vegetales radica en que tras su ingesta pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano, especialmente en los niños de menos de tres meses de edad y en adultos con ciertos problemas. Los nitritos producen la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina y esta impide la correcta oxigenación del organismo. Una vez formado los nitritos, pueden reaccionar con las aminos

presentes en nuestro organismo originando las nitrosaminas que tienen una acción cancerígena (Dittrich y Leitzmann, 1998).

Teniendo en cuenta lo anterior, los expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) han fijado una ingesta diaria admisible sin riesgo aparente para la salud de 3.65 mg de nitrato y 0.113 mg de nitrito, por kilogramo de peso corporal, reduciendo a cero los nitritos en el caso de lactantes (Anton y Lizasio, 2001; Domínguez *et al.*, 2004).

Méndez y Costa (1996), indican que 86% de la ingesta de nitratos proviene de las hortalizas, 9% de las carnes, 2% del pan, 1.4% de las frutas y zumos, y tan sólo 0.7% del agua.

En el caso del brócoli, el exceso de nitrógeno ocasiona el tallo hueco, que es una alteración fisiológica que origina un resquebrajamiento interno en forma elíptica en el tallo floral y deja un espacio vacío que disminuye la calidad. Este daño es visible, por lo tanto afecta la comercialización del producto fresco y está asociado con una decoloración indeseable en la preparación del producto congelado para exportación (Cutcliffe, 1972; Dufault y Waters, 1985). Se ha mencionado que la incidencia de este daño aumenta con la aplicación de nitrógeno al brócoli y se presenta con mayor frecuencia en las primeras cosechas, lo que sugiere que las plantas con crecimiento más acelerado son más propensas a presentarlo. A pesar de ella, el semincremento en el rendimiento por la adición del elemento es mayor que las pérdidas debidas a tallo hueco (Cutcliffe, 1972; Dufault y Waters, 1985; Hipp, 1974); la proporción adecuada de nitrógeno y boro para cada suelo y clima, reduce la presencia de tallo hueco en el brócoli (Moniruzzaman *et al.*, 2007).

Aunque el uso de fertilizantes nitrogenados ha sido uno de los principales promotores del aumento en el rendimiento en la agricultura actual, su utilización implica riesgos de contaminación ambiental, por la lixiviación del nitrógeno no absorbido hacia aguas subterráneas. Además, su aplicación excesiva conlleva a la degradación de la calidad del suelo por salinidad (ensalitramiento) y un incremento infructuoso en los costos de producción. De esta manera, los fertilizantes se han convertido en una tecnología que puede

propiciar grandes beneficios, cuando se utilizan de manera razonada, pero que al mismo tiempo puede causar severos daños al medio ambiente y pérdidas económicas cuando se usa de forma indiscriminada (Cuadro 2.1). Ante esta situación, se hace necesario contar con tecnologías aplicables a la gestión razonada del nitrógeno en los sistemas de producción agrícola, con el fin de hacerlos sustentables, aportando las cantidades mínimas necesarias para alcanzar el rendimiento potencial de los cultivos (Cárdenas *et al.*, 2004).

Cuadro 2.1. Problemas causados por el exceso de nitrógeno en el ambiente.

Problema	Causa
Metahemoglobinemia en infantes	Exceso de NO ₃ y NO ₂ en el agua y alimentos
Cáncer	Nitrosaminas de NO ₂
Problemas respiratorios	Nitrato peoxicil, aerosoles de NO ₃ , vapor de HN ₃ en la atmósfera urbana
Salud animal (abortos de los terneros, disminución en la producción de leche)	Exceso de NO ₃ y NO ₂ en el agua y alimentos
Eutroficación	Nitrógeno inorgánico y orgánico en el agua superficial
Daños materiales y ecológicos	Aerosoles con HNO ₃ en la lluvia
Excesivo crecimiento de las plantas	Altos niveles de NO ₂
Disminución del ozono estratosférico	Óxido nitroso, desnitrificación y por emisiones de aviones
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas	Exceso de NO ₃ y por descarga de NO ₃ y NH ₄ de los terrenos agrícolas

2.2. El modelo sistémico para generar dosis de fertilizantes

La producción de los cultivos agrícolas, es un componente de un sistema en que la máxima expresión de su potencialidad depende de la heterogeneidad del suelo, variabilidad del clima y el manejo a que se somete la unidad de producción. Debido a lo anterior, la medición de la variación de la respuesta a la nutrición de los cultivos, para poder establecer recomendaciones de fertilización, en un problema metodológico complejo (Galvis, 1990).

Entre los factores limitantes de la producción que se puede intervenir de manera efectiva está la condición nutrimental edáfica. Para esto se deben adicionar oportunamente y en cantidades adecuadas los nutrimentos que le falten al cultivo cuando el suelo no los suministre en cantidades y tiempo requeridos. Por lo tanto, si la aplicación de fertilizantes se realiza racionalmente, contribuirá al incremento de la producción y rentabilidad de sistema de producción (López, 2001).

Es fundamental hacer énfasis en que es necesario aplicar los fertilizantes de manera racional, puesto que su uso desmedido, además de afectar la economía del productor, incrementa el riesgo de contaminar los mantos freáticos, saliniza el suelo u ocasiona efectos nocivos al agroecosistema (López, 2001).

Existen distintas metodologías que se utilizan para la generación de recomendaciones de fertilización sobre prácticas de producción, siendo necesario establecer una estrategia para determinar el rendimiento. Este parámetro está estrechamente ligado a los requerimientos nutricionales de los cultivos (Rodríguez y Álvarez, 2010).

Para realizar las recomendaciones de fertilización se utilizan modelos empíricos y mecanísticos:

- En los modelos empíricos se relaciona el rendimiento como índice de sitio, incremento en volumen o peso, con distintas variables de clima y suelo del sitio, para esto se utilizan técnicas de correlación y calibración de métodos analíticos y

los ensayos de respuesta de fertilización de cultivo a la fertilización, aplicando análisis estadísticos como regresión múltiple, análisis de componentes principales, análisis discriminador y otros para proponer una dosis de fertilización específica (López, 2001; Rodríguez y Álvarez, 2010).

- Los modelos mecanísticos o de procesos se centran principalmente en el balance del carbono y/o nitrógeno, que permite estimar las tasas de acumulación de biomasa de los cultivos restringidos por distintos factores de clima y suelo. Entre los modelos mecanísticos está la propuesta por Rodríguez (1993), denominado Modelo sistémico.

Tradicionalmente se ha llegado a una generalización de las normas de fertilización a partir de una serie de casos empíricos, Ahora se propone establecer los principios de la nutrición de los cultivos y en base a esto simular, predecir o explicar los principios de la nutrición de los cultivos a la fertilización en cualquier caso particular.

Los modelos simplificados deben ser eficientes y realistas, capaces de describir el sistema en su totalidad con un mínimo de postulados (Rodríguez y Álvarez, 2010).

En una región o zona agrícola se encuentran diferentes agroecosistemas y por lo tanto, diferentes potenciales productivos. Por otra parte, dentro de cada uno de ellos existe una variada disponibilidad de nutrientes, sitio específico, producto de diverso manejo de los agroecosistemas en ellos incorporados como residuos de la cosecha, historial de fertilización y otros (Rodríguez, 1993).

La biomasa del cultivo alcanzable en un delimitado agroecosistema genera una demanda de nutrientes para satisfacer sus necesidades metabólicas. La demanda de nutrientes de la biomasa de los cultivos, en especial de nitrógeno y fósforo no es satisfecha con el suministro de nutrientes que es capaz de entregar el suelo y se produce un déficit nutricional del cultivo. El objetivo de la fertilización es satisfacer este déficit, para obtener la producción alcanzable del cultivo, en un determinado agroecosistema (Rodríguez, 1993).

El cultivo no recupera todo el fertilizante aplicado, debido a que este sufre distintas pérdidas en su interacción con el suelo. Esto conduce a considerar una cierta eficiencia de la fertilización de los cultivos en los distintos agroecosistemas. En la eficiencia se considera, la proveniente de las interacciones suelo-fertilizante y suelo-planta. Por lo tanto, la norma de fertilización de acuerdo a lo señalado anteriormente, está dada por la demanda de nutrientes de un cultivo, el suministro de nutrientes del suelo y a la eficiencia de la fertilización (Stanford, 1973; Rodríguez, 1993).

La formulación del modelo es la siguiente:

$$DFN = \frac{DN - SNS}{EFN}$$

Dónde:

DFN = Dosis del fertilizante nitrogenado (kg ha^{-1}).

DN = Demanda de nitrógeno (kg ha^{-1}).

SNS = Suministro de nitrógeno del suelo (kg ha^{-1}).

EFN = Eficiencia de la fertilización nitrogenada (%).

El planteamiento general del sistema descansa sobre un análisis racional simplificado de la nutrición de los cultivos, que lo vincula, en su enfoque general, a los modelos racionales comprensivos de la nutrición de los cultivos. Un esquema general de la dinámica de los nutrientes en el suelo su estructura y componentes, se presenta en la Figura 2.2.

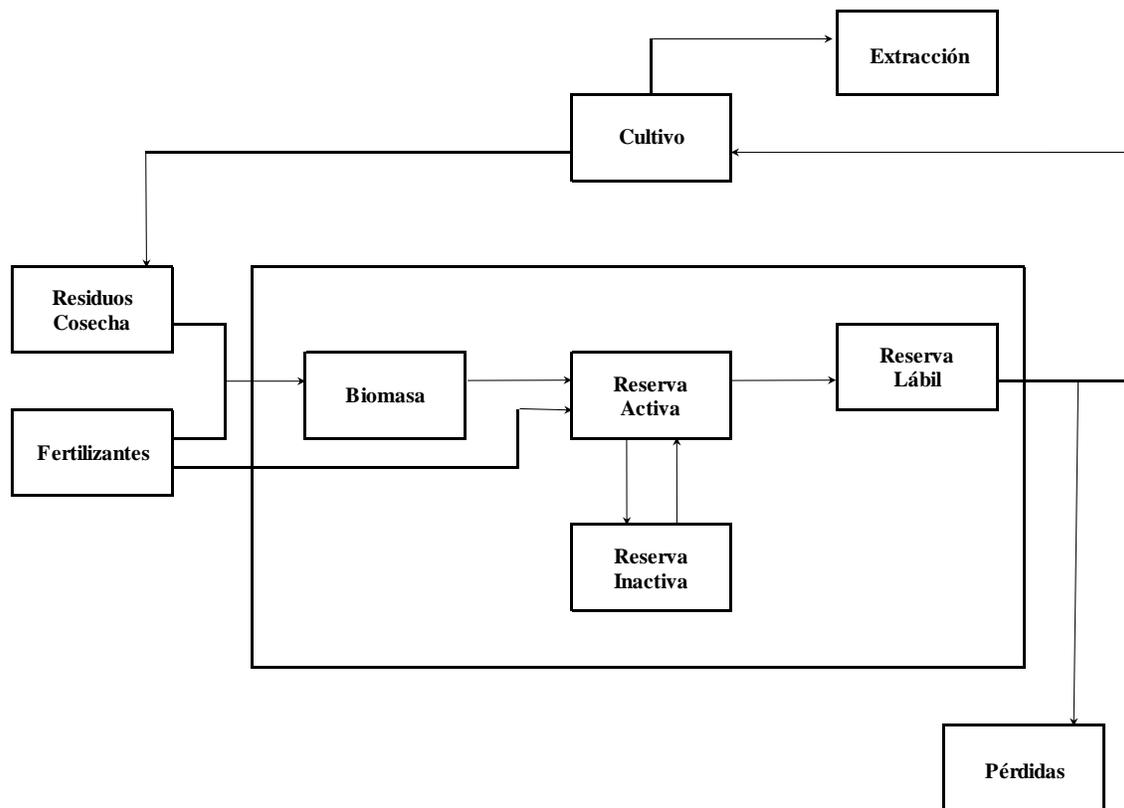


Figura 2.2. Dinámica de los nutrientes en el suelo (Rodríguez, 1993).

El esquema de síntesis presentado, es válido para todos los nutrientes. Las entradas al sistema están dadas por el reciclaje de los residuos orgánicos, por la biomasa del suelo y por la fertilización. Por otra parte, las salidas del sistema derivan las pérdidas de nutrientes por lixiviación, volatilización o desnitrificación y por la extracción de nutrientes en las cosechas (Rodríguez, 1993).

Según Galvis (1990), el planteamiento metodológico requiere de un periodo de tiempo previo en el desarrollo en el cual consta de cinco etapas:

- Caracterización de los parámetros necesarios para la estratificación de la región en agroecosistemas (factores no controlables).
- Hipótesis cuantificada con el mayor detalle posible con la información existente de la estratificación de la región en agroecosistemas (demandas y eficiencias homogéneas).
- Estimación de la demanda de nutrientes y de la eficiencia de la fertilización con base en la caracterización de los diferentes agroecosistemas.
- Estimación de las normas de fertilización para los diferentes agroecosistemas.
- Validación de las normas estimadas con un reducido número de experimentos de dosis de fertilizantes en los principales agroecosistemas.

Los parámetros que se requieren para validar la predicción de las normas de fertilización son las siguientes:

- Agrosistema (demanda de nutrientes o eficiencia de la fertilización).
- Eficiencia de absorción (cultivo).
- Residuos de cosecha del cultivo anterior (suministro de nitrógeno).
- Eficiencia de la fertilización (eficiencia de la fertilización).

Galvis (1990), propone una estructura del modelo de estimación de las normas de fertilización, es un modelo estático que puede ser manipulado tanto en forma discreta como continua (Figura 2.3).

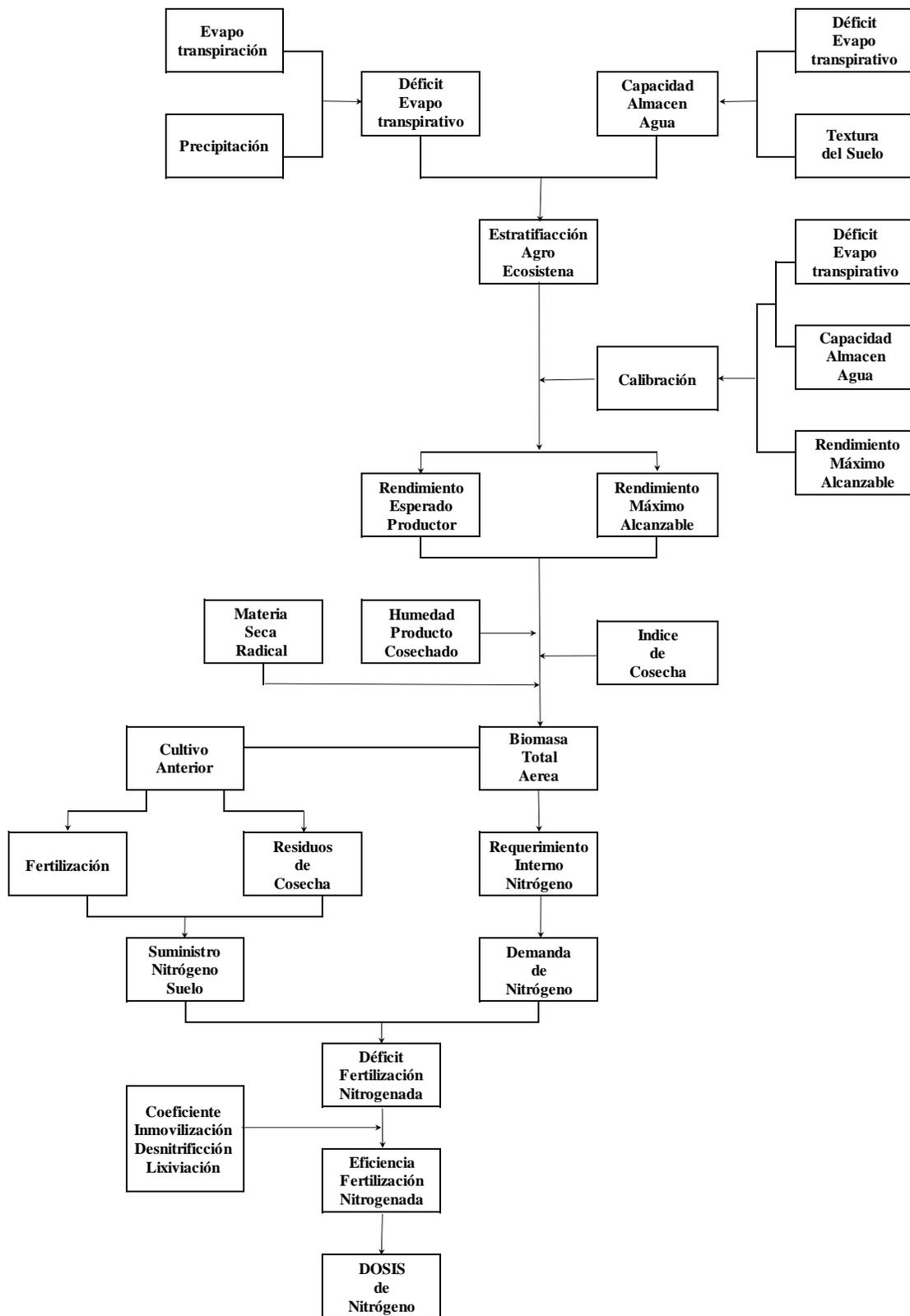


Figura 2.3. Modelo simplificado para generar dosis de fertilización nitrogenada en los cultivos anuales (Galvis, 1990).

- En una primera etapa se calcula el déficit evapotranspirativo, utilizando parámetros climatológicos (precipitación y evaporación) y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo tomado en cuenta las propiedades físicas del suelo (textura y profundidad). Estas características edafoclimáticas condicionan la expresión del rendimiento máximo alcanzable. Posteriormente se transforma con el índice de cosecha, humedad del producto cosechado y con la materia seca de la raíz en la biomasa total máxima alcanzable.
- En la segunda etapa, el modelo estima la demanda del cultivo, considerando la biomasa total máxima alcanzable y el requerimiento interno. También determina el suministro de nitrógeno en el suelo a partir de la fertilización nitrogenada y los residuos de la cosecha anterior. La relación entre la demanda y el suministro genera un déficit que debe ser resuelto mediante la aplicación de un fertilizante en caso de requerirlo.
- Para la tercera etapa se calcula la eficiencia de la fertilización nitrogenada considerando los coeficientes de desnitrificación, inmovilización y lixiviación. Con todos los parámetros resultantes el modelo calcula la dosis de fertilizante nitrogenado.

Galvis (2014), realizó una modificación al modelo sistémico de estimación de las normas de fertilización (Figura 2.4).

- En la primera etapa del modelo se obtiene la demanda nutrimental del cultivo, la cual resulta de realizar un experimento de respuesta del nutriente en estudio (Figura 2.5), en el que se aplica dosis crecientes, con el objeto de conocer el rendimiento máximo alcanzable, la biomasa aérea y la concentración del nitrógeno.
- Para la segunda etapa, establece relaciones con la dosis de nitrógeno aplicado, rendimiento y nitrógeno acumulado en la biomasa aérea, y se representan en el plano cartesiano utilizando los tres ejes en los cuales en los que el cuadrante a) establece la relación entre la dosis de nitrógeno aplicado (eje horizontal izquierdo) y rendimiento (eje vertical superior), el cuadrante b) describe la variación entre el nitrógeno acumulado en la biomasa (eje horizontal derecho) y el rendimiento (eje

vertical superior) y en el cuadrante c) muestra la variación entre el nitrógeno acumulado en la planta (eje horizontal derecho) y la dosis de nitrógeno aplicado (eje vertical inferior) y se utiliza para determinar el suministro de nitrógeno en el suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada aplicado un modelo de regresión (Figura 2.6). Las variaciones en las relaciones han sido descritas por Van Keulen (1981) para arroz, Loomis y Connor (1992), Rouanet (1994) para maíz y trigo y Berti *et al.*, (2000) en quinua.

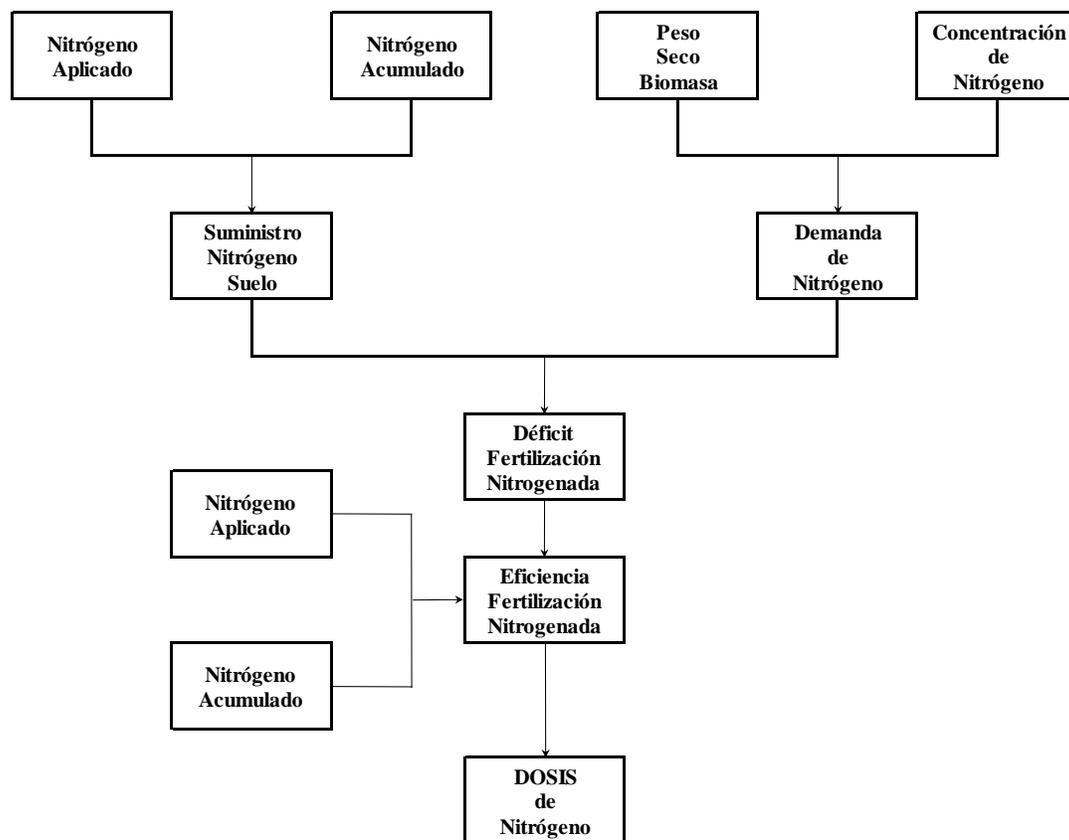


Figura 2.4. Modelo simplificado modificado para generar dosis de fertilización nitrogenada en los para cultivos anuales (Galvis, 2014).

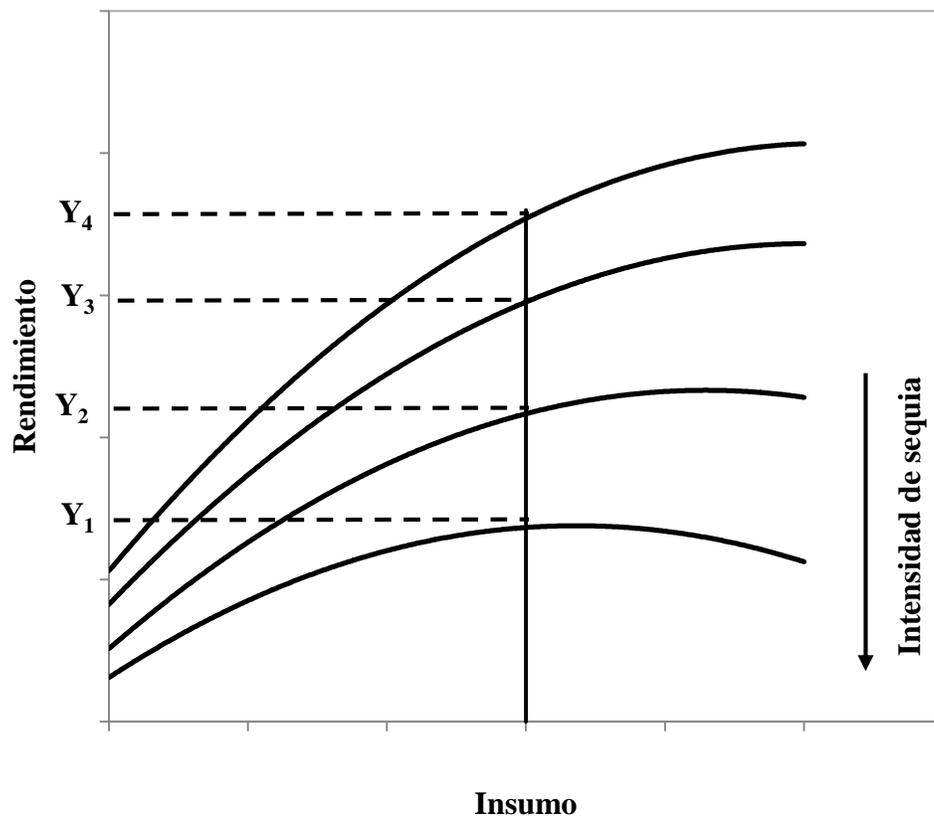


Figura 2.5. Curvas de rendimiento de un cultivo en relación con la intensidad de la sequía (Volque, 1988).

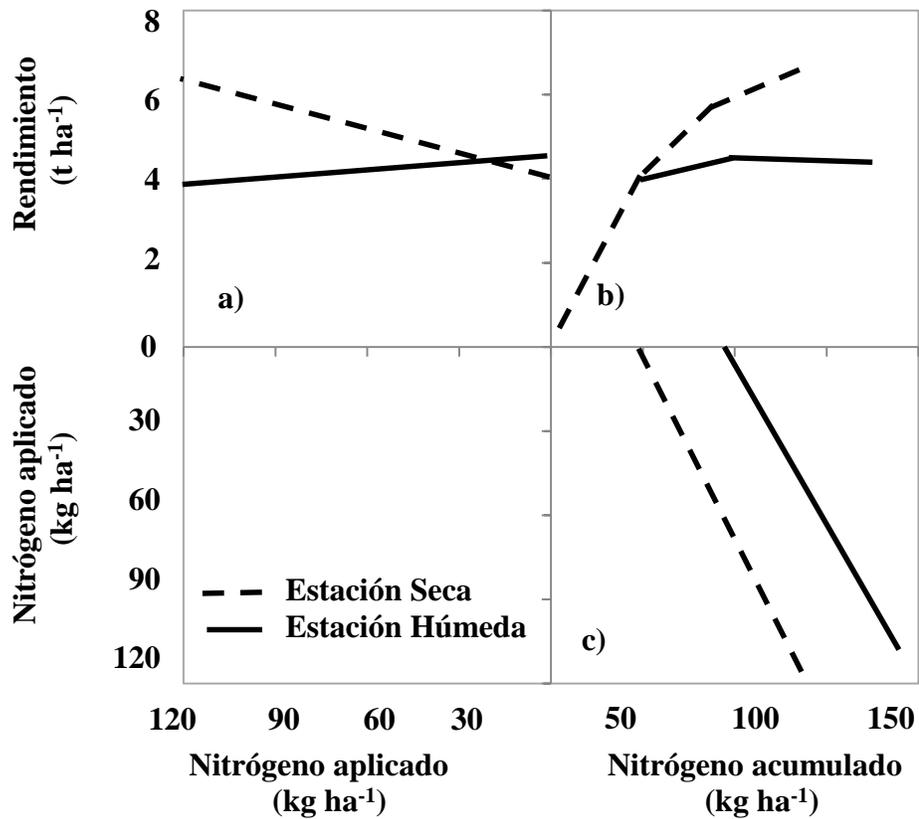


Figura 2.6. Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a); nitrógeno acumulado en la planta y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la planta (cuadrante c), para el cultivo de arroz IIRI. Los Baños, Filipinas en la estación seca y húmeda (Tanaka *et al.*, 1964).

2.2.1. Demanda nutrimental

La demanda de los nutrientes en un cultivo, varía en función de la biomasa total más el producto económico que se pueda obtener en una condición dada. Lo anterior depende de las características genéticas del cultivo que determinan un potencial de acumulación de biomasa y rendimiento, de las condiciones edafoclimáticas del medio en que se desarrolla e interaccionan con la planta para que se acumule la biomasa; y también las prácticas agrícolas que realiza el hombre que facilitan la mencionada acumulación. La demanda de nitrógeno por los cultivos se expresa mediante la siguiente fórmula propuesta por Rodríguez (1993):

$$DN = \frac{a \times RE \times (1 - H) \times RIN}{IC}$$

Dónde:

- DN = Demanda de nitrógeno (kg ha⁻¹).
- a = Coeficiente radicular (1.15 biomasa aérea).
- RE = Rendimiento esperado (kg ha⁻¹).
- H = Humedad de producto cosechado (%).
- RIN = Requerimiento interno de nitrógeno (%).
- IC = Índice de cosecha (%).

Simplificando la fórmula anterior se obtiene:

$$DN = a \times BTA \times RIN$$

Dónde:

- DN = Demanda de nitrógeno (kg ha⁻¹).
- a = Coeficiente radicular (1.15 biomasa aérea).
- BTA = Biomasa total alcanzable por la parte aérea (kg ha⁻¹).
- RIN = Requerimiento interno de nitrógeno (%).

En el caso de ciertos cultivos que el producto comercial son las raíces se debe incluir en la biomasa.

Posteriormente Rodríguez *et al.*, (2001), propone una variación a la fórmula anterior eliminando el coeficiente radicular.

$$DN = \frac{RE \times (1 - H)}{IC} \times RIN$$

Dónde:

DN = Demanda nutrimental en términos de la unidad edafoclimática (kg ha⁻¹).

RE = Rendimiento esperado (kg ha⁻¹).

H = Porcentaje de humedad (%).

RIN = Requerimiento interno de nitrógeno (%).

IC = Índice de cosecha.

El rendimiento esperado, corregido por un determinado porcentaje de humedad es expresado en términos de la biomasa y todo esto relacionado para el índice de cosecha corresponde a la biomasa total del cultivo, quedando en la siguiente expresión:

$$BAT = \frac{RE \times (1 - H)}{IC}$$

Dónde:

BAT = Biomasa aérea total (kg ha⁻¹).

RE = Rendimiento esperado (kg ha⁻¹).

H = Porcentaje de humedad (%).

IC = Índice de cosecha.

Simplificando el cálculo de la demanda nutrimental en:

$$DN = BAT \times RIN$$

Dónde:

DN = Demanda de nitrógeno (kg ha⁻¹).

BAT = Biomasa aérea total (kg ha⁻¹).

RIN = Requerimiento interno de nitrógeno (%).

Para Bertsch (1998), la demanda del cultivo se refieren a la cantidad (kg ha⁻¹) de elemento puro que consume una plantación desde la siembra hasta la cosecha, y se obtienen al multiplicar la concentración de cada elemento en una planta entera al final de su ciclo productivo por la biomasa de la planta, considerando la densidad de la población.

$$DN = \frac{N \times BA}{100} \times D_p$$

Dónde:

DN = Demanda de nitrógeno (kg ha⁻¹).

N = Concentración de nitrógeno (%).

BA = Biomasa aérea en peso seco (kg ha⁻¹).

D_p = Densidad de población (plantas ha⁻¹).

Bouzo (2003), menciona que la demanda de nitrógeno del cultivo se establece a partir del rendimiento esperado, índice de cosecha, proporción en peso de la materia seca del producto a cosechar y requerimiento interno de nitrógeno.

$$DN = \frac{RE}{IC} \times B \times RIN$$

Dónde:

DN = Demanda de nitrógeno (kg ha⁻¹).

RE = Rendimiento esperado (kg ha⁻¹).

IC = Índice de cosecha.

B = Biomasa (%).

RIN = Requerimiento interno de nitrógeno (%).

Villalobos *et al.*, (2009), indican que la determinación de la demanda de nitrógeno o nitrógeno absorbido en la biomasa, se realiza en función de la producción prevista de biomasa (rendimiento más residuo) y de la concentración de nitrógeno de esa biomasa.

$$N_c = Y \times NC_g + (B - Y) \times NC_r$$

$$N_c = Y \times \left[NC_g + \frac{(1 - IC)}{IC} \times NC_r \right]$$

Dónde:

- N_c = Nitrógeno absorbido en la biomasa (kg ha^{-1}).
- Y = Rendimiento (kg ha^{-1}).
- NC_g = Concentración del nitrógeno producto a cosechar (%).
- B = Biomasa producida.
- NC_r = Concentración del nitrógeno en el residuo (%).
- IC = Índice de cosecha.

En el cálculo de la demanda de nutrientes se requiere establecer además del rendimiento esperado bajo una condición edafoclimática, el requerimiento interno del cultivo y el índice de cosecha.

El índice de cosecha indirectamente indica la eficiencia de la energía metabólica utilizada por el cultivo para sintetizar los productos orgánicos (carbohidratos, lípidos o proteínas) para su desarrollo. Los cultivos de oleaginosas presentan bajos índices de cosecha, debido a que destinan la mayor parte de la energía que sintetizan (glucosa) a la producción de lípidos (constituyentes primordiales de la semilla) y menos a la acumulación de fotoasimilados como carbohidratos estructurales o de reserva. En el caso de otros cultivos como tubérculos y raíces, cuyos productos cosechados acumulan carbohidratos, requiere menor energía de conversión, producen y conservan más biomasa, por lo que sus índices de cosecha son más altos (Rodríguez, 1993).

Este índice de cosecha suele ser bastante constante para un cultivo dado bajo condiciones óptimas de manejo, y sus variaciones están dadas principalmente por la variedad y factores climáticos y de suelo relacionados con el régimen hídrico (Etchevers *et al.*, 1991; Rodríguez, 1993, Beltrán *et al.*, 1996).

$$IC = \frac{PE}{BA}$$

Dónde:

- IC = Índice de cosecha
PE = Producto económico (kg ha⁻¹).
BA = Biomasa aérea (kg ha⁻¹).

Para Galvis (1990) y Rodríguez (1993), el requerimiento interno es la concentración del nutriente de interés en la biomasa total, en la oportunidad de la cosecha, con una nutrición óptima y es independiente del rendimiento.

El porcentaje promedio de nitrógeno orgánico en la biomasa total de las plantas disminuye a medida que crecen aunque su desarrollo sea adecuado. Esta disminución ocurre porque al desarrollarse en las plantas una mayor proporción de los fotosintatos es dirigido a la síntesis de los materiales libres de nitrógeno requeridos como soporte estructural (Rodríguez, 1993).

En una simplificación de los procesos bioquímicos, el CO₂ fijado fotosintéticamente se convierte primero en glucosa, la cual es utilizada:

- Para la síntesis de materiales estructurales y de almacenamiento que están libres de nitrógeno y requieren de energía para su mantención.
- Para la síntesis y la mantención de las proteínas.

Durante el crecimiento existe un balance entre las proporciones de la glucosa metabolizada por estos materiales. Por otra parte, la masa de la glucosa metabolizada por unidad de masa

de materiales libres de nitrógeno y por unidad de masa de proteínas es más alta que la de glucosa metabolizada a materiales libres de nitrógeno. En el periodo de crecimiento se presenta una disminución de la concentración de nitrógeno o del contenido de proteínas; que al acumularse una mayor proporción de materiales no proteicos disminuye exponencialmente la concentración de nitrógeno a medida que se incrementa la biomasa total del cultivo (Rodríguez, 1993).

Las relaciones alométricas bioquímicas son validadas por las distintas especies vegetales y por lo tanto se presenta una relación entre la concentración de nitrógeno y la acumulación de la biomasa total, estableciéndose una función entre ambos parámetros (Figura 2.7).

La función indica que las concentraciones de nitrógeno en la biomasa total fluctúan entre 5% en el inicio del crecimiento y 1% después de alcanzar una biomasa de 10 t ha⁻¹.

Mediante la función es posible predecir la concentración crítica de nitrógeno para los distintos cultivos durante el periodo de crecimiento y en cualquier oportunidad de cosecha.

Para todos aquellos cultivos que alcanzan la senescencia en la oportunidad de la cosecha, el requerimiento interno de nitrógeno se encuentra alrededor 1.2% (Rodríguez, 1993).

$$(\%) = 0.011 + [1 + 5e^{(-0.26 \times BAT)}]$$

Dónde:

(%) = Concentración de nitrógeno (%)

BAT = Biomasa aérea total (t ha⁻¹).

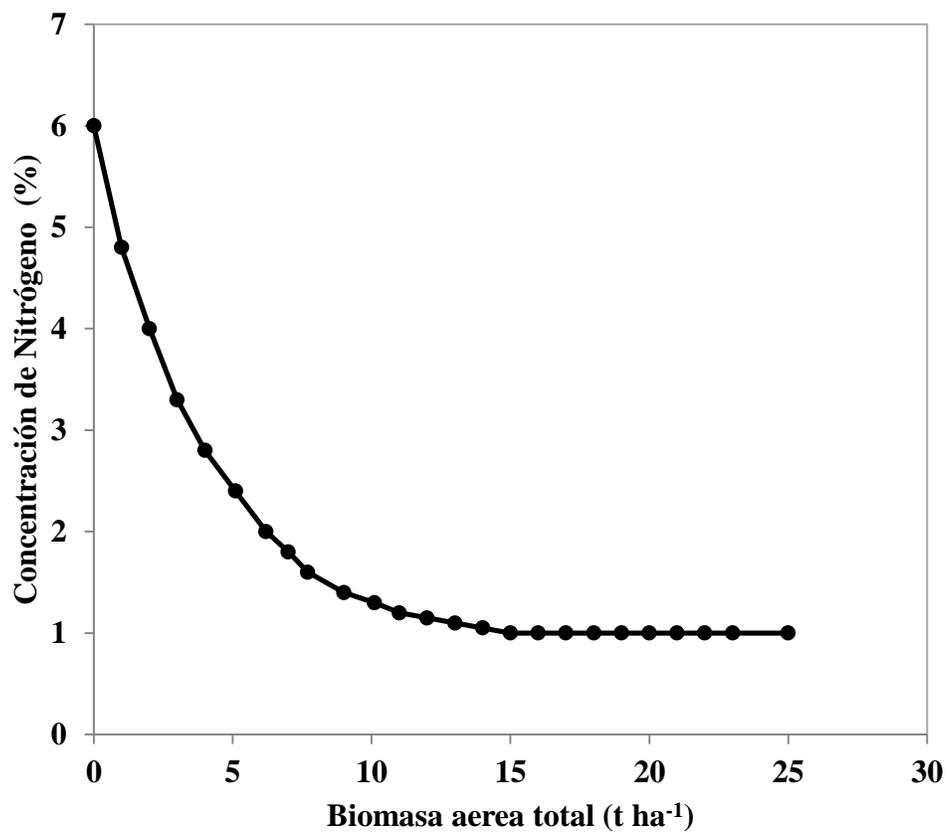


Figura 2.7. Concentración de nitrógeno en la biomasa aérea en la cosecha de distintos cultivos con una nutrición nitrogenada adecuada (Rodríguez, 1993).

2.2.2. Suministro de nitrógeno del suelo

Para Bouzo *et al.*, (2003), para el cálculo del suministro del nitrógeno del suelo se necesita conocer la secuencia de cultivos habitual que se realiza y para cada uno se calcula el aporte que realiza al suelo en residuos y el contenido promedio de nitrógeno (%) del material (Figura 2.8). El aporte de residuos al suelo se estima a partir del rendimiento promedio alcanzado, la proporción de la biomasa y el índice de cosecha, según la siguiente ecuación:

$$RO = \frac{RTO \times B}{IC} \times (1.15 - IC)$$

Dónde:

RO = Residuos del suelo (kg ha⁻¹).

RTO = Rendimiento promedio alcanzado (kg ha⁻¹).

B = Biomasa (kg ha⁻¹).

IC = Índice de cosecha.

El porcentaje de nitrógeno del residuo de la cosecha varía con el cultivo, no obstante una manera aproximada de calcularlo es con relación a la biomasa final estimada del cultivo (BF) en toneladas.

$$(\%) = 0.011 + [1 + 5 (e^{-0.26 \times BF})]$$

$$BF = \frac{RTO}{IC} \times B \times 10^{-5}$$

Dónde:

BF = Biomasa final (kg ha⁻¹).

RTO = Rendimiento promedio alcanzado (kg ha⁻¹).

B = Biomasa (kg ha⁻¹).

IC = Índice de cosecha.

El aporte de nitrógeno suelo resulta:

$$ApN = \frac{(\%)}{100} \times RO$$

Dónde:

ApN = Aporte de nitrógeno al suelo (kg ha^{-1}).

(%) = Porcentaje de nitrógeno en el rastrojo (kg ha^{-1}).

RO = Residuos del suelo (kg ha^{-1}).

El nitrógeno que retorna al suelo es dividido en resistente y lábil. La fracción resistente depende básicamente de los residuos, medido a través de la relación carbono/nitrógeno indica una mayor o menor facilidad de descomposición del material orgánico.

La fracción lábil que es el resultado de las fracciones orgánicas de fácil descomposición tanto de los residuos de la cosecha como de los subproductos microbiales (Matus, 1997).

El nitrógeno estabilizado es el resultante de las fracciones orgánicas resistentes de los residuos y subproductos microbiales, acumulados en la matriz arcillosa del suelo (Matus, 1997).

En este procedimiento, el aporte de nitrógeno por mineralización del almacenamiento del nitrógeno pasivo no es considerado como tampoco las pérdidas por lixiviación, suponiendo entre estos un efecto compensatorio (Matus, 1997).

El cálculo del almacenamiento y nitrógeno estabilizado depende del nitrógeno resistente, siendo éste función de la relación carbono/nitrógeno del residuo:

$$NRo = 0.5408 + 0.0053 \times \left(\frac{C}{N}\right)$$

Dónde:

NR_0 = Nitrógeno resistente (kg ha^{-1}).

C/N = Relación carbono/nitrógeno.

$$NL = \left(1 - \frac{NR_0}{100}\right) \times ApN$$

Dónde:

NL = Nitrógeno lábil (kg ha^{-1}).

NR_0 = Nitrógeno resistente (kg ha^{-1}).

ApN = Aporte de nitrógeno al suelo (kg ha^{-1}).

$$NE = \left(\frac{NR_0}{100}\right) \times ApN$$

Dónde:

NE = Nitrógeno estabilizado (kg ha^{-1}).

NR_0 = Nitrógeno resistente (kg ha^{-1}).

ApN = Aporte de nitrógeno al suelo (kg ha^{-1}).

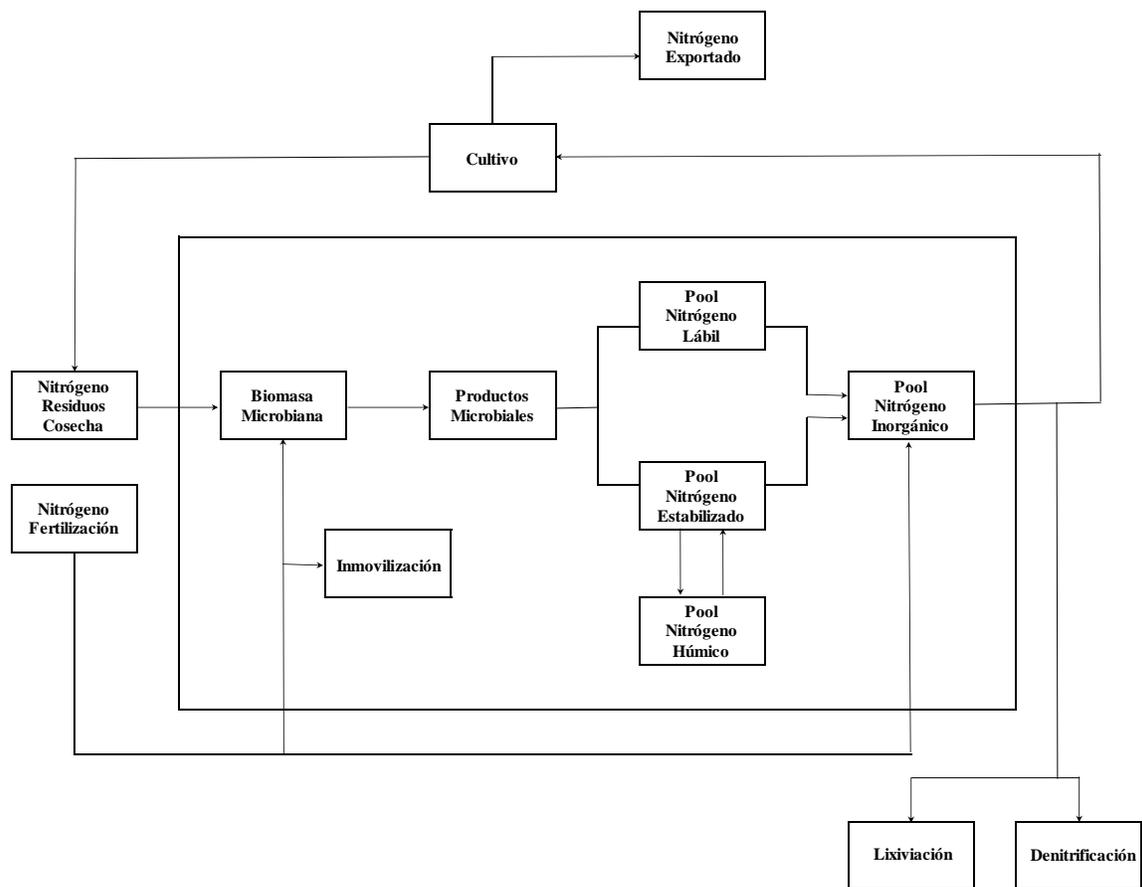


Figura 2.8. Suministro del nitrógeno en el suelo (Rodríguez, 1993).

La relación carbono/nitrógeno es variable según el cultivo del que provenga el residuo de la cosecha; para los agrosistemas en condiciones de equilibrio, resultantes de una misma secuencia de cultivos y manejo de residuos de varios años, se supone que las entradas de almacenamiento del nitrógeno estabilizado son iguales a la salida por mineralización. El aporte de nitrógeno a un cultivo desde el almacenamiento del nitrógeno estabilizado y resulta de un promedio del reportado por la secuencia “n” de cultivos considerados (Figura 2.9).

$$NE = \frac{NE_1 + NE_2 + \dots + NE_n}{n}$$

Dónde:

NE = Nitrógeno estabilizado (kg ha⁻¹).

NE₁ = Entradas de Nitrógeno estabilizado (kg ha⁻¹).

n = Secuencia de los cultivos.

La proporción de nitrógeno que proviene del almacenamiento lábil, resulta del aportado por el cultivo inmediatamente anterior (NL_{i-1}) al cultivo actual (i). El suministro de nitrógeno por el suelo por lo tanto estará dado por la suma del nitrógeno estabilizado promedio de la secuencia de cultivos y del lábil del cultivo anterior.

$$SNS = NL_{(n-1)} \times NE$$

Dónde:

SNS = Suministro de nitrógeno por el suelo (kg ha⁻¹).

NL_(n-1) = Nitrógeno lábil del cultivo anterior.

NE = Nitrógeno estabilizado (kg ha⁻¹).

En agrosistemas recientes y con condiciones alejadas del equilibrio, el almacenamiento de nitrógeno estabilizado actual se estima a partir de la fracción de nitrógeno resistente que adiciona cada cultivo. Par esto se considera la tasa de mineralización corregida por temperatura y humedad. Una forma de simplificar el nitrógeno estabilizado proveniente de

todos los cultivos de la secuencia resulta de considerar un promedio del aporte de nitrógeno de cada cultivo y del almacenamiento de nitrógeno resistente:

$$NE = (ApN_{prom} \times NRo_{prom}) \times \frac{1 - e^{[-K \times (n - 1)]}}{1 - e^{(-K)}}$$

Dónde:

- NE = Nitrógeno estabilizado (kg ha⁻¹).
 ApN_{prom} = Aporte de nitrógeno en cada cultivo (kg ha⁻¹).
 NRo_{prom} = Almacenamiento de nitrógeno resistente (kg ha⁻¹).
 k = Tasa de mineralización.
 n = Secuencia de los cultivos.

$$SNS = NRSPA + BNRSR \times 0.15FN$$

Dónde:

- SNS = Suministro de nitrógeno del suelo (kg ha⁻¹).
 NRSPA = Contenido de nitrógeno en la parte aérea (kg ha⁻¹).
 BNRSR = Contenido de nitrógeno en las raíces (kg ha⁻¹).
 0.15FN = Nitrógeno inmovilizado de la fertilización nitrogenada anterior (%).

$$SNS = 0.15 \times FN + NRES$$

Dónde:

- SNS = Suministro de nitrógeno del suelo (kg ha⁻¹).
 0.15 x NF = 15% fertilización nitrogenada anterior (kg ha⁻¹).
 NRES = Nitrógeno en los residuos de la cosecha (kg ha⁻¹).

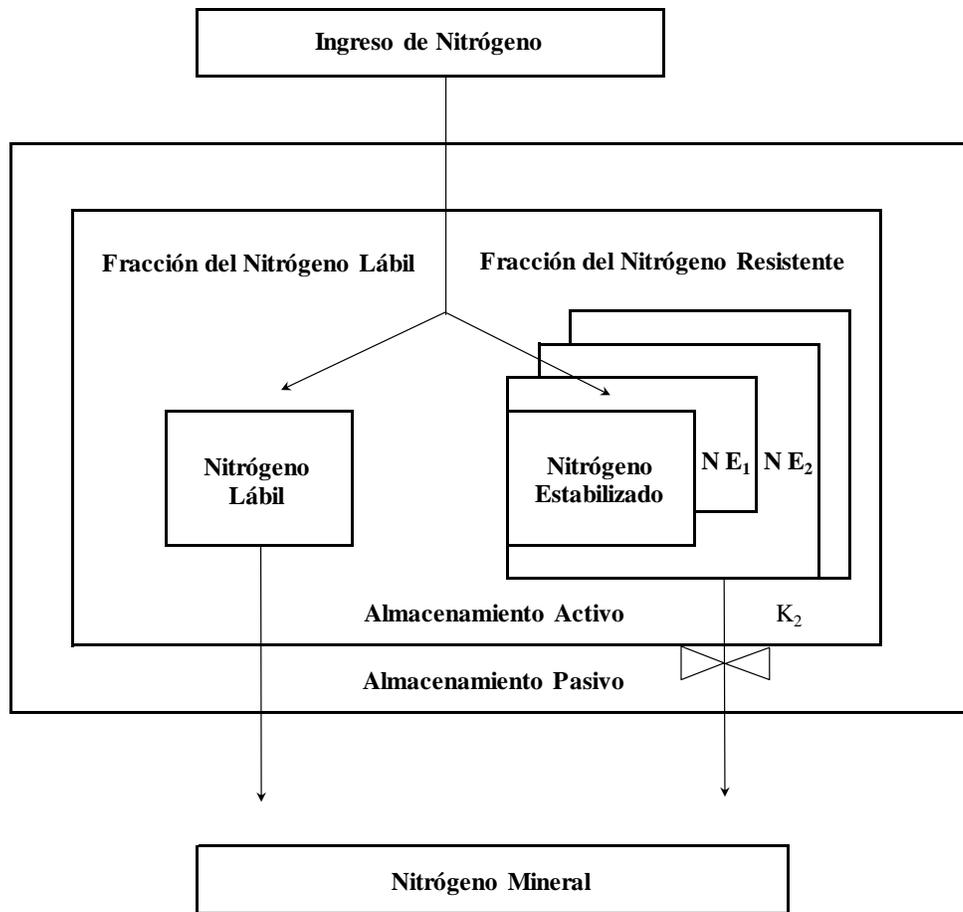


Figura 2.9. Modelo simple de la mineralización del nitrógeno en el suelo (Matus y Rodríguez, 1994).

2.2.3. Eficiencia de la fertilización nitrogenada

El tópico del uso eficiente de nutrientes ha ganado recientemente más atención con el incremento de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua, asociada con el uso inapropiado de nutrientes. El incremento de las regulaciones gubernamentales y de programas de incentivos a todos los niveles también aumenta el interés del tema. Es consenso general que mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes es una labor valiosa que potencialmente puede entregar abundantes beneficios. Sin embargo es necesario definir precisamente que significa uso eficiente de nutrientes y si la diferencia difiere entre nutrientes. También es importante precisar cómo y cuándo se puede mejorar la eficiencia. Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen que tan bien las plantas o un sistema de producción usan los nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción (Stewart, 2007).

En el estudio del aprovechamiento del nitrógeno por las plantas se pueden usar tres métodos: directo o isotópico, indirecto o diferencia (eficiencia de recuperación del nitrógeno, eficiencia fisiológica del nitrógeno, eficiencia interna del nitrógeno, eficiencia agronómica del nitrógeno y factor parcial de productividad) y regresión (Boaretto *et al.*, 2007).

Un balance típico de la fertilización nitrogenada en el sistema del nitrógeno se presenta en el Cuadro 2.2 (Rodríguez, 1993).

Cuadro 2.2. Balance de la fertilización nitrogenada con fertilizantes nitrogenados marcados con ^{15}N .

Balance del nitrógeno en el suelo	Porcentaje
Absorción del cultivo	65
Inmovilización	15
Lixiviación	5
Desnitrificación	10
N-inorgánico	5

En una situación de bajo riesgo la eficiencia de fertilización se puede estimar mediante la siguiente formulación:

$$EFN = cI \times cD \times cL$$

Dónde:

EFN = Eficiencia de la fertilización nitrogenada (%).

cI = Coeficiente de inmovilización (%).

cD = Coeficiente de desnitrificación (%).

cL = Coeficiente de lixiviación (%).

$$EFN = 0.85 \times 0.85 \times 0.95$$

$$EFN = 0.65$$

En casos en que exista la posibilidad de una baja eficiencia las medidas en el manejo de la fertilización deben extremarse y a través de técnicas establecidas para las distintas situaciones es posible mantener la eficiencia en un nivel adecuado. La incorporación de fertilizantes como la urea para evitar la volatilización, la parcialización de las aplicaciones y la época oportuna y otras, son técnicas en que la mayoría de los casos, aún en condiciones de riesgo de una disminución de la eficiencia, permiten mantener en un nivel normal (Rodríguez, 1993).

La eficiencia de recuperación del nitrógeno manifiesta la capacidad de la planta en absorber el nitrógeno del suelo y depende de las propiedades de la raíz, la distribución en el suelo, el área superficial de la raíz y el consumo por unidad de área (Novoa y Loomis, 1981; Sattelmancher *et al.*, 1990). Para calcular la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado en el campo, frecuentemente se emplea el método de la diferencia, el cual compara la planta testigo (sin fertilizante) con los tratamientos fertilizados, utiliza la fórmula propuesta por Bortholomew y Clark (1965).

Se supone que la absorción de nutrimentos de la parcela control indica la cantidad de nutrimentos disponibles del suelo, en tanto que los tratamientos fertilizados indica la cantidad de nutrimentos disponibles del suelo y del fertilizante. Este método supone, además, que todas las transformaciones de nutrimentos disponibles en el suelo, o sea la mineralización, la inmovilización y otros procesos en el caso de nitrógeno, son iguales tanto en los suelos fertilizados como en los no fertilizados (Salgado *et al.*, 2001).

$$ERN = \frac{N_{ATF} - N_{ATO}}{N_{apl}} \times 100$$

Dónde:

- ERN = Eficiencia de recuperación del nitrógeno (%).
- N_{ATF} = Nitrógeno acumulado en el tratamiento con fertilización (kg ha^{-1}).
- N_{ATO} = Nitrógeno acumulado en el tratamiento sin fertilización (kg ha^{-1}).
- N_{apl} = Nitrógeno aplicado (kg ha^{-1}).

Van Keulen (1981), considera que la eficiencia de la fertilización nitrogenada se puede obtener por un método de regresión en el que se relaciona la dosis de nitrógeno aplicado y el nitrógeno acumulado, ajustándose una regresión lineal que se caracteriza por tener una pendiente que corresponde a la eficiencia de la fertilización nitrogenada y la ordenada en el origen es el suministro de nitrógeno en el suelo. Es necesario indicar que la técnica descrita únicamente se utiliza para el nitrógeno (Figura 2.10).

$$N_a = EFN \times N_{apl} + SNS$$

Dónde:

- N_a = Nitrógeno acumulado (kg ha^{-1}).
- EFN = Eficiencia de la fertilización nitrogenada.
- N_{apl} = Nitrógeno aplicado (kg ha^{-1}).
- SNS = Suministro de nitrógeno en el suelo (kg ha^{-1}).

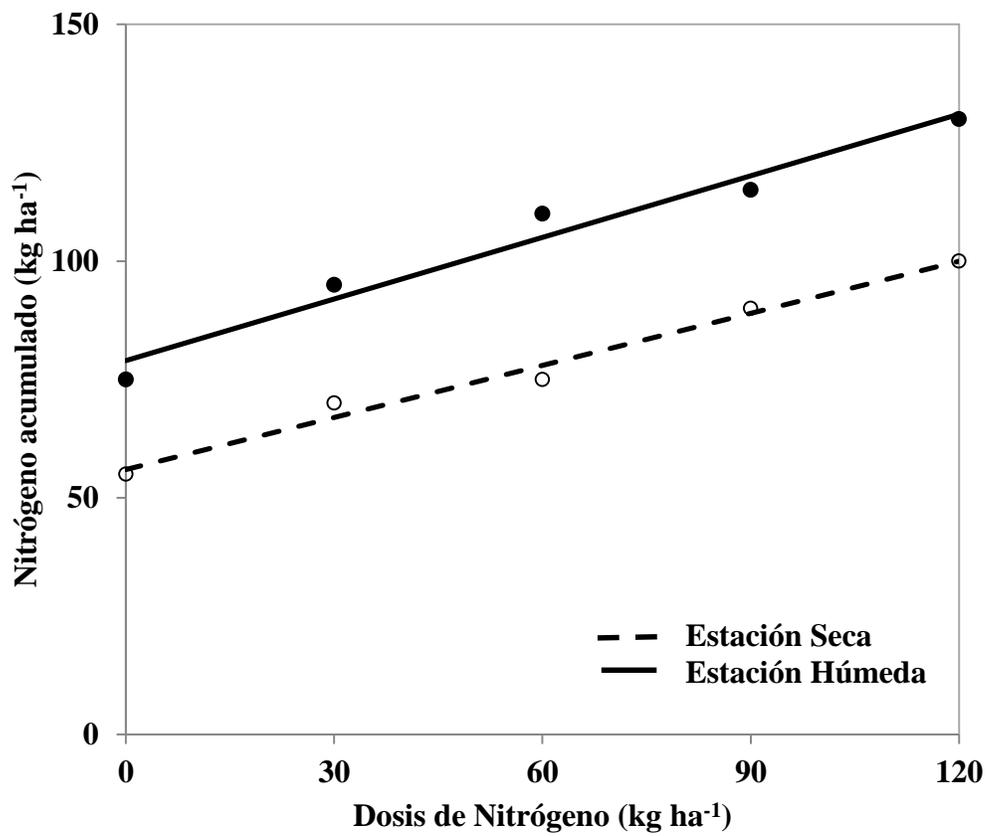


Figura 2.10. Relación entre dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la planta, para el cultivo de arroz IIRI. Los Baños, Filipinas en la estación seca y húmeda (Tanaka *et al.*, 1964).

Ejemplo 1

Rodríguez (1990), utiliza el modelo simplificado para calcular la dosis de fertilizante nitrogenado:

$$DFN = \frac{DN - SN}{EFN}$$

Dónde:

DFN = Dosis del fertilizante nitrogenado (kg ha^{-1}).

DN = Demanda de nitrógeno (kg N ha^{-1}).

SNS = Suministro de nitrógeno del suelo (kg N ha^{-1}).

EFN = Eficiencia de la fertilización nitrogenada (%).

Con los antecedentes del rendimiento esperado del cultivo y del requerimiento interno de nitrógeno, es posible estimar la demanda de nitrógeno.

El suministro de nitrógeno, estando el sistema de nitrógeno en equilibrio determinado por la acumulación de nitrógeno estabilizado está dado por los contenidos de nitrógeno de los residuos del cultivo anterior incorporados y por el nitrógeno inmovilizado de la fertilización nitrogenada.

Finalmente la eficiencia depende del riesgo de lixiviación y de los coeficientes de desnitrificación e inmovilización.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de la dosis de nitrógeno para el cultivo de maíz de la Zona Central de Chile (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Parámetros para el cálculo de la dosis de fertilización en el cultivo de maíz.

Parámetros	Valores
Cultivo próximo	Maíz
Rendimiento esperado	150 qq ha ⁻¹
Cultivo anterior	Trigo
Rendimiento obtenido	75 qq ha ⁻¹
Fertilización aplicada	150 qq ha ⁻¹
Residuos trigo (75 qq ha ⁻¹)	40 kgN ha ⁻¹
15% de la fertilización	23 kgN ha ⁻¹
Coefficiente de lixiviación	0.95
Coefficiente de desnitrificación	0.85
Coefficiente de inmovilización	0.85

- Cálculo de la demanda de nitrógeno.

$$DN = \frac{b \times RE \times (1 - H) \times RIN}{IC}$$

$$DN = \frac{1.15 \times 150 \times 0.85 \times 1.0}{0.46}$$

$$DN = 320 \text{ kg ha}^{-1}$$

- Cálculo del suministro de nitrógeno.

$$SN = N - \text{residuos de trigo} + 0.15 \times N - \text{fertilización trigo}$$

$$SN = 40 + 23$$

$$SN = 63 \text{ kg ha}^{-1}$$

- Cálculo de la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

$$EFN = cL \times cD \times cI$$

$$EFN = 0.95 \times 0.85 \times 0.85$$

$$EFN = 0.65$$

- Cálculo de la dosis de nitrógeno.

$$DFN = \frac{DN - SN}{EFN}$$

$$DFN = \frac{320 - 63}{0.65}$$

$$DFN = 395 \text{ kg ha}^{-1}$$

Ejemplo 2

Sánchez (1999), toma el enfoque del balance nutrimental, proponiendo una hoja de cálculo en la que se vierte toda la información disponible: análisis químico del suelo (para determinar los contenidos en % del nitrógeno), cultivo, edafoclimática y del fertilizante, para calcular y recomendar la dosis adecuada de fertilización (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Cálculo de la dosis de fertilización nitrogenada en chile jalapeño.

Parámetros	Nitrógeno
a. Extracción de nutrimentos por tonelada de producto (kg t ⁻¹ o kg ha ⁻¹)	8.4
b. Rendimiento estimado (t ha ⁻¹)	45.0
c. Extracción de nutrimentos con el rendimiento estimado (kg ha ⁻¹)	380.2
d. Contenido de formas disponibles de nutrimentos en el suelo (mg kg ⁻¹)	147.6
e. Reservas de nutrimentos en la capa arable del suelo (kg ha ⁻¹)	369.0
f. Aprovechamiento de nutrimentos del suelo por el cultivo (kg ha ⁻¹)	50.0
g. Cantidad de nutrimentos disponibles del suelo para el cultivo (kg ha ⁻¹)	-
h. Efecto residual de los rastrojos y raíces de cultivos anteriores (kg ha ⁻¹)	-
i. Efecto residual de los fertilizantes aplicados anteriormente (kg ha ⁻¹)	-
j. Se aplican _____ t ha ⁻¹ de abono orgánico	-
k. Aprovechamiento de nutrimentos de los fertilizantes orgánicos (%)	-
l. Cantidad de nutrimentos disponibles de los fertilizantes orgánicos para el cultivo (kg ha ⁻¹)	-
m. Requerimientos de nutrimentos por el cultivo con base en el rendimiento estimado (kg ha ⁻¹)	195.2
n. Aprovechamiento de nutrimentos de los fertilizantes minerales (%)	50.0
ñ. Necesidades en nutrimentos (kg ha ⁻¹)	391.5
o. Fuente del fertilizante y % de nutriente contenido	33.5
p. Dosis calculada de fertilizantes minerales (kg ha ⁻¹)	1168.6

La cantidad de nitrógeno disponible en el suelo a la profundidad de muestreo (0-0.30 m), se utilizó para seguir el procedimiento de cálculo correspondiente, para determinar la dosis teórica de fertilización nitrogenada para el cultivo de chile jalapeño con base en la relación:

$$DFN = \frac{DNC - SNS}{EF(\%)}$$

Dónde:

DFN = Dosis de fertilización (kg ha^{-1}).

DNC = Demanda del nutrimento por el cultivo (kg ha^{-1}).

SNS = Suministro del nutrimento por el suelo (kg ha^{-1}).

EF = Eficiencia del fertilizante (%).

Ejemplo 3

Cartagena (2002) citando a Bertsch (1998) y Castro (1998), realizó un ejercicio de cálculo del balance nutrimental en el cultivo de papa en Ecuador.

$$NEN = \frac{DC - DS}{EF}$$

Dónde:

NEN = Necesidad efectiva del nutriente (kg ha⁻¹).

DC = Demanda del cultivo (kg ha⁻¹).

DS = Disponibilidad en el suelo (kg ha⁻¹).

EF = Eficiencia del fertilizante (%).

La demanda del cultivo o requerimientos nutricionales del cultivo se presentan en el Cuadro 2.5.

Cuadro 2.5. Requerimientos nutricionales para el cultivo de papa.

Cultivo	Rendimiento t ha ⁻¹	Absorción de nutrientes			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Papa	40	175	80	310	20

La disponibilidad en el suelo u oferta del suelo corresponde al análisis químico de suelos (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Análisis químico de suelos con la interpretación de los niveles críticos para el cultivo de papa.

Número de la Muestra	Lote	Elementos			
		N	P	S	K
42038	1	5 B	11 B	13 M	0.21 M

N = Nitrógeno, P = Fósforo, S = Azufre, K = Potasio, B = Bajo y M = Medio.

La eficiencia del fertilizante para los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, se pueden apreciar en el Cuadro 2.7.

Cuadro 2.7. Eficiencia de utilización de los fertilizantes (Bertsch, 1998).

Elemento	Eficiencia %
Nitrógeno	60 - 80
Fósforo	10 - 30
Potasio	50 - 70
Azufre	40 - 50

Para obtener la necesidad efectiva de nutriente nitrogenado se realizó el siguiente procedimiento:

- Cálculo de la disponibilidad de nitrógeno en el suelo transformando de mg kg^{-1} a kg ha^{-1} .

$$5 \text{ mg kg}^{-1} \times 2 = 10 \text{ kg ha}^{-1}.$$

- Cálculo de la necesidad efectiva de nutriente nitrogenado.

$$NENN = \frac{DC - DS}{EF}$$

$$NENN = \frac{175 - 10}{0.6}$$

$$NENN = 275 \text{ kg ha}^{-1}$$

Ejemplo 4

Según Durán *et al.*, (2004), de acuerdo con la normativa vigente en materia de fertilización nitrogenada especialmente en las denominadas Zonas Vulnerables al Nitrógeno, antes de tomar la decisión de aplicar una determinada cantidad de nitrógeno a un cultivo debemos realizar un balance. Se trata de calcular las necesidades que presenta un cultivo, en función de la producción esperada y restar todas las aportaciones que van a ser realizadas (Cuadro 2.8), como consecuencia de:

- El cultivo anterior.
- La cantidad de estiércol u otras enmiendas orgánicas (purines) aplicadas.
- La materia orgánica que se mineraliza.
- Los restos vegetales que pueden ser incorporados.
- El agua de riego.
- Otras aportaciones.

Cuadro 2.8. Consideraciones prácticas que deben ser contempladas para establecer el programa de fertilización con nitrógeno para el cultivo de maíz.

Variable	Descripción
Factores limitantes	Bajo número de plantas en el momento de la recolección Con 5-6 hojas no debe pasar “sed”. Se forman los granos de la mazorca Cuatro días con “sed” durante la floración pueden reducir la cosecha en un 50%
Extracciones	25-30 kg de nitrógeno por tonelada de grano seco (Humedad 14%) El suelo y el agua de riego contienen nitrógeno que debe ser contemplado en el balance
Asimilación	Un mes antes de la floración: 20% Entre 3 semanas antes y 2 semanas después de la floración: 50% Hasta la madurez del grano: 30%
Aportaciones	Realizar un balance previo Suelos arcillosos: 1/3 en sementera y 2/3 en dos coberteras Suelos francos o arenosos: 1/3 en sementera y 2/3 en tres o más coberteras Primera cobertera: Plantas con 0.4-0.5m Segunda cobertera: Plantas con 0.9-1.0 m
Purines	Antes de la siembra con las labores preparatorias En zonas vulnerables al nitrógeno respetar los limitantes autorizados.

En el Cuadro 2.9 se presenta un esquema de balance para el cultivo de maíz.

Cuadro 2.9. Balance de nitrógeno en una explotación de regadío situada en una zona vulnerable al nitrógeno para el cultivo de maíz grano.

Variable	Cálculos	Resultado kg N ha ⁻¹
a	Cultivo: Maíz Rendimiento grano (14%): 12 t ha ⁻¹ Extracciones (N): 30 kg ha ⁻¹	360
b	Residuos de cultivos anteriores Cultivo anterior: Alfalfa Restos de raíces: 6-8000 kg ha ⁻¹ Nitrógeno aportado: ≤ 200 kg ha ⁻¹	100 ⁽¹⁾
c	Análisis de suelo: N(NO ₃ ⁻) Profundidad (0-30 cm): 20 mg kg ⁻¹ Profundidad (30-60 cm): 10 mg kg ⁻¹ Textura: Franca Densidad: 1.3 t ha ⁻¹	117
d	Materia orgánica: Mineralización Análisis de suelos: 2% Textura: Franca Profundidad: 0.3 m Densidad: 1.3 t ha ⁻¹ Nitrógeno orgánico: 5% Mineralización anual: 1-2%	59
e	Agua de riego Riegos: 10 Dotación: 600 m ³ ha ⁻¹ riego ⁻¹ Nitrato: 5 mg l ⁻¹	30
f	Otras aportaciones: Agua de pozo Riegos: 2 Dotación: 500 m ³ ha ⁻¹ riego ⁻¹ Nitrato: 45 mg l ⁻¹	45
	Necesidades del cultivo	A
	Aportaciones	c + d + e + f
	Aporte con fertilizantes	a - (c + d + e + f)
	Programa de abonado	Cobertera 1: 120 kg ha ⁻¹ urea (46% N) Cobertera 2: 120 kg ha ⁻¹ urea (46% N)

(1) No se calcula, ya que se ha analizado el contenido de nitrógeno, en forma de nitrato, presente en el suelo, resultando ser 117 kg ha⁻¹, que es la cantidad que se tomará a efecto del balance.

Ejemplo 5

Cervantes (2006), indica que para el cálculo de la fertilización se basa en el conocimiento del requerimiento del cultivo (extracción); así como, en los niveles de nutrimentos presentes en el suelo, para lo cual es necesario un análisis químico del suelo que permite planificar la fertilización. Asimismo, se debe conocer la dinámica de absorción nutrimental para poder adecuar los aportes a las tasas de extracción, que como ha quedado demostrado varían a lo largo del ciclo del cultivo. Tomando en cuenta lo anterior, la fórmula para calcular la dosis de fertilización es la siguiente:

$$DF = \frac{D - S}{E}$$

Dónde:

- DF = Dosis de fertilización (kg ha⁻¹).
D = Demanda (kg ha⁻¹).
S = Suministro (kg ha⁻¹).
E = Eficiencia de recuperación del fertilizante (%).

Tomando en cuenta el análisis nutrimental (Cuadro 2.10) del suelo en el Campo Agrícola “San Martín” en Chapingo México, se calculó la cantidad de nutrimentos existentes en el volumen de exploración radical y la dosis de fertilización nitrogenada para el cultivo de fresa.

Cuadro 2.10. Análisis químico de suelo del campo Agrícola “San Martín”, Chapingo, Estado de México.

Muestras	pH	Materia Orgánica %	Nitrógeno mg kg ⁻¹
1	6.97	1.61	18.20
2	6.96	1.61	28.00
Media	6.97	1.61	23.10

Entonces, en una profundidad de 0.30 m y una densidad aparente de 1.25 t m⁻³ se tiene:

$$1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$$

Para una profundidad del suelo de 0.3 m

$$10000 \text{ m}^2 \times 0.3 \text{ m} = 3000 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, si un metro cúbico pesa 1.25 t tenemos:

$$3000 \text{ m}^3 \times 1.25 \text{ t} = 3750 \text{ t ha}^{-1}$$

Ahora, se calculó el valor del suministro del suelo, tomando como ejemplo el nitrógeno (Cuadro 2.10) y se tiene:

$$3750000 \text{ kg ha}^{-1} \times 23.1 \text{ mg kg}^{-1} \times \frac{1}{1000000} = 86.6 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Si se toma en cuenta que la disponibilidad del nitrógeno del suelo es del 50%, entonces el nitrógeno disponible en el suelo de cultivo es:

$$86.6 \text{ kg N ha}^{-1} \times 50 \% = 43.3 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Además la mineralización de la materia orgánica (%) suministra cierta cantidad de nitrógeno, entonces:

$$3750000 \text{ kg ha}^{-1} \times 1.6 \% \text{ M.O.} = 60375 \text{ kg M.O. ha}^{-1}$$

Si se toma como valor que existe 5% de nitrógeno en la materia orgánica, tenemos:

$$60375 \text{ kg M.O. ha}^{-1} \times 5 \% \text{ N} = 3018.7 \text{ kg N ha}^{-1}$$

De los cuales sólo se mineraliza el 2% anual:

$$3018.7 \text{ kg N ha}^{-1} \times 2 \% = 60.3 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Y si consideramos además, 50% de eficiencia:

$$60.3 \text{ kg N ha}^{-1} \times 50 \% = 30.1 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Por aporte de la materia orgánica proveniente del suelo.

Este valor se suma al aporte del suelo:

$$43.41 \text{ kg N ha}^{-1} + 30.18 \text{ kg N ha}^{-1} = 73.4 \text{ kg N ha}^{-1}$$

Como este valor de $73.4 \text{ kg N ha}^{-1}$, es menor a la extracción de la fresa selección japonesa de 113.4 kg ha^{-1} , se tiene una condición de déficit; por ello, se requiere de fertilización nitrogenada.

$$DF = \frac{113.4 \text{ kg ha}^{-1} - 73.4 \text{ kg ha}^{-1}}{50 \%}$$

$$DF = 79.8 \text{ kg ha}^{-1}$$

Ejemplo 6

Villalobos *et al.*, (2009), mencionan que la ecuación del balance de nitrógeno pueden despreciarse los procesos secundarios.

Una aproximación sería:

$$N_f = \frac{N_c - (N_m - N_i)}{E}$$

Dónde:

N_f = Nitrógeno aplicado como fertilizante (kg ha^{-1}).

N_C = Nitrógeno absorbido en la biomasa (kg ha^{-1}).

N_m = Nitrógeno mineralizable (kg ha^{-1}).

N_i = Nitrógeno inicial en el suelo (kg ha^{-1}).

E = Eficiencia de la fertilización (%).

Sea un cultivo de sorgo en un ambiente tropical, la lluvia y temperaturas medias durante los meses de cultivo son (Cuadro 2.11):

Cuadro 2.11. Precipitación y temperatura en un ambiente tropical para el cultivo de sorgo.

Mes	Precipitación mm	Temperatura °C
1	80	18
2	70	20
3	90	22
4	70	24
5	60	24
6	70	22

El rendimiento potencial (con nitrógeno no limitante) de la zona para el cultivo de sorgo, se presenta en el Cuadro 2.12.

Cuadro 2.12. Rendimiento potencial del cultivo de sorgo.

Rendimiento kg ha⁻¹	Potencial de los años %
3000 - 4000	40
4000 - 5000	30
5000 - 6000	20
6000 - 7000	10

Se trata de proponer la dosis total de nitrógeno recomendable.

Otros datos (Cuadro 2.13):

Cuadro 2.13. Parámetros de suelo, cultivo y fertilizante para sorgo.

Parámetros		Valores
Suelo	Materia orgánica (0 - 0.3m)	2%
	Materia orgánica (0.3 - 1.0m)	0%
	% N de la materia orgánica	5%
	Densidad aparente	1.3 g cm ⁻³
	Velocidad de mineralización	1.5%/6 meses
Cultivo	% N en grano sobre materia seca	1.6
	% N en paja sobre materia seca	0.6
	% humedad en cosecha	20
	Índice de cosecha	0.4
Fertilizante	Fracción de recuperación del fertilizante	0.4

Se calcula para los posibles rendimientos (tomando el punto medio de cada intervalo) las necesidades de fertilizante. Por ejemplo, si el rendimiento es de 6500 kg ha⁻¹.

$$\text{Rendimiento (materia seca)} = 6500 \times (1 - 0.2)$$

$$\text{Rendimiento (materia seca)} = 5200 \text{ kg ha}^{-1}$$

Cálculo de N_c:

$$N_c = Y \times \left[NC_g + \frac{(1 - IC)}{IC} \times NC_r \right]$$

Dónde:

- N_C = Nitrógeno absorbido en la biomasa (kg ha^{-1}).
 Y = Rendimiento (kg ha^{-1}).
 NC_g = Concentración del nitrógeno producto de la cosecha (%).
 NC_r = Concentración del nitrógeno en el residuo (%).
 IC = Índice de cosecha.

$$N_C = 5200 \times \left[0.0165 + \frac{(1 - 0.4)}{0.4 \times 0.006} \right]$$

$$N_C = 133 \text{ kg ha}^{-1}$$

Cálculo de N_m :

$$N_m = P_s \times S \times D_s \times M.O. \times N \times V_m$$

Dónde:

- N_m = Nitrógeno mineralizable (kg ha^{-1}).
 P_s = Profundidad de suelo (m).
 S = Superficie ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$).
 D_s = Densidad aparente del suelo (kg m^{-3}).
 $M.O.$ = Contenido de materia orgánica (%).
 N = Contenido de nitrógeno de la materia orgánica (%).
 V_m = Velocidad de mineralización (%).

$$N_m = 0.3 \text{ m} \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 1300 \text{ kg m}^{-3} \times \dots$$

$$\dots \times 0.02 \times 0.05 \times 0.015$$

$$N_m = 58.5 \text{ kg ha}^{-1}$$

Suponemos que el nitrógeno inicial (N_i) cero. El nitrógeno lixiviado (N_l) no puede despreciarse a priori, pero tampoco contamos con información para cuantificarlo (se considera incluido en la fracción de recuperación). El nitrógeno perdido por desnitrificación (N_d) y volatilización (N_v) se supondrán despreciables dada la acidez del suelo. El nitrógeno que queda en el suelo al final del balance (N_{fin}) se pretende que sea cero para maximizar la eficiencia y disminuir las pérdidas posteriores a cosecha. Por tanto:

$$N_f = \frac{133 - 58.5}{0.4}$$

$$N_f = 186 \text{ kg ha}^{-1}$$

De forma análoga se obtendrá:

Para rendimiento de 3500 kg ha^{-1} : $N_f = 32.2 \text{ kg ha}^{-1}$.

Para rendimiento de 4500 kg ha^{-1} : $N_f = 83.2 \text{ kg ha}^{-1}$.

Para rendimiento de 5500 kg ha^{-1} : $N_f = 83.2 \text{ kg ha}^{-1}$.

Estrategias posibles:

Fertilizar todos los años con 32.2 kg ha^{-1} . En principio obtendríamos un rendimiento medio de 3500 kg ha^{-1} .

Las pérdidas potenciales de nitrógeno del sistema serían mínimas.

Fertilizar todos los años con 83.2 kg ha^{-1} . Esto nos permite obtener como mucho un rendimiento de 4500 kg ha^{-1} . El rendimiento medio sería de:

$$0.4 \times 3500 + 0.6 \times 4500 = 4100 \text{ kg ha}^{-1}$$

Las pérdidas potenciales del nitrógeno del sistema se incrementarían 40% de los años en 51 kg ha⁻¹. Incremento medio = 0.4 x 51 = 20 kg ha⁻¹.

Fertilizar todos los años 134.3 kg ha⁻¹. El rendimiento medio sería de:

$$0.4 \times 3500 + 0.3 \times 4500 + 0.3 \times 5500 = 4400 \text{ kg ha}^{-1}$$

Las pérdidas potenciales del nitrógeno del sistema se incrementarían 40% de los años en 102 kg ha⁻¹ y 30% de los años en 51 kg ha⁻¹.

Incremento medio = 56 kg N ha⁻¹.

Fertilizar todos los años 186 kg ha⁻¹. El rendimiento medio sería de:

$$0.4 \times 3500 + 0.3 \times 4500 + 0.2 \times 5500 + \dots$$
$$\dots + 0.1 \times 6500 = 4500 \text{ kg ha}^{-1}$$

Las pérdidas potenciales del nitrógeno del sistema se incrementarían 40% de los años en 153 kg ha⁻¹, 30% de los años 102 kg ha⁻¹ y 20% de los años en 51 kg ha⁻¹. Incremento medio de 102 kg ha⁻¹.

2.3. Trabajos de fertilización en brócoli

Magnifico *et al.*, (1979), indican que la acumulación de N, P y K en varias etapas del ciclo cultural de “Medium Late 423” (*Brassica oleracea* L), fue determinada en un experimento de campo al sur de Italia. Las muestras de plantas se obtuvieron cada dos semanas, desde el inicio del trasplante hasta un periodo de 173 días. Las plantas de brócoli absorbieron 559 kg N, 23 kg P y 723 K ha⁻¹. El rendimiento total de peso fresco fue de 148 t ha⁻¹ y peso seco de 16.8 t ha⁻¹. El peso fresco incluyó 12.8 t ha⁻¹ de inflorescencias principales y 19.5 t ha⁻¹ de inflorescencias secundarias.

Letey *et al.*, (1983), indican que los fertilizantes y el riego deben ser manejados para obtener un uso eficiente de los recursos, preservación de la calidad ambiental y máxima producción. Se realizaron dos experimentos de riego por surcos en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*). El primero consistió en tres dosis de nitrógeno (90, 180 y 270 kg ha⁻¹), dos tratamientos de riego (reposición de agua perdida por evapotranspiración y la evapotranspiración más 30%) y dos procedimientos de aplicación de nitrógeno (aplicación al suelo y en el agua de riego) en un suelo franco arenoso (grueso-arcilloso, mezclado, régimen térmico Typic Xerofluvent). El crecimiento de las plantas aumentó con la aplicación creciente de nitrógeno. Para una aplicación de nitrógeno, existió una mayor producción media con la menor cantidad de agua aplicada. El método de aplicación de nitrógeno tuvo muy poco efecto sobre la producción en los tratamientos bajo riego, pero la producción fue consistentemente mayor para la aplicación de nitrógeno cuando en el suelo se utilizó el tratamiento con mayor cantidad de agua. La relación de nitrógeno en la planta con el nitrógeno aplicado disminuyó con el aumento de la aplicación de nitrógeno, disminuyó con la aplicación de la mayor cantidad de agua y disminuyó con la aplicación en el agua de riego en comparación con la aplicación al suelo. El segundo experimento consistió en dos dosis de nitrógeno (115 y 225 kg ha⁻¹) y dos procedimientos de aplicación de nitrógeno (aplicación al suelo y en el agua de riego) en un suelo franco (fino-limoso mezclado, régimen térmico Calcic Haploxeroll). El rendimiento y la absorción de nitrógeno fueron significativamente altos con 225 kg ha⁻¹ en comparación con 115 kg ha⁻¹ de nitrógeno. La aplicación convencional del nitrógeno al suelo antes de la siembra resultó en

rendimientos significativamente más altos de las inflorescencias de brócoli que la inyección de nitrógeno en el agua de riego. La lixiviación de nitrógeno no fue un factor limitante en las condiciones experimentales.

Beverly *et al.*, (1986), indican que los agricultores por lo general aplican grandes cantidades de nitrógeno y agua en la producción comercial de hortalizas. Como los costos de los dos insumos aumentan y con la creciente preocupación por la lixiviación de nitratos y la contaminación de las fuentes de agua, la necesidad de información para la óptima gestión de los recursos se incrementa. Se investigaron los efectos combinados de la aplicación de cinco dosis de nitrógeno (0, 87, 190, 255 y 331 kg ha⁻¹) y una variable de riego continuo (0.0114 a 0.329 m de agua o 0.05 a 1.52 veces la evaporación neta) aplicados por un sistema de rociadores en línea en brócoli (*Brassica oleracea* L., grupo Botrytis) con niveles de crecimiento y rendimiento. Los niveles de crecimiento en general aumentaron con el agua y los tratamientos de nitrógeno, aunque aparecieron algunas interacciones. Los pesos frescos cosechados siguieron aumentando en todos los tratamientos aplicados, con rendimientos máximos de 20 t ha⁻¹. El rendimiento respondió al nitrógeno y el agua aplicada después del trasplante de acuerdo con la ecuación:

$$Y = - 1.03 + 0.0498 N - 8.73 \times 10^{-5} N^2 + 1.23 \times 10^{-3} NW + 0.272 W - 8.20 \times 10^{-3} W^2$$

Donde Y es el rendimiento, N es nitrógeno y W es el agua aplicada después del trasplante. El análisis de la superficie de respuesta resultante indicó que en estas condiciones frecuentes de riego por aspersión (aproximadamente dos veces por semana), dosis relativamente baja de nitrógeno (140 kg ha⁻¹), la combinación de nitrógeno con agua produjo un costo más bajo por un rendimiento de 10 t ha⁻¹. Además, aumentó el rendimiento con cantidades más altas de nitrógeno y de agua, también debe considerarse la calidad.

Magnifico *et al.*, (1989), indican que el crecimiento y la acumulación de macro y micro elementos en varias etapas del ciclo cultural de dos cultivares de brócoli raab (*Brassica rapa* L) fueron determinadas en un campo experimental en el sur de Italia. Las muestras de

las plantas se obtuvieron cada dos semanas comenzando el momento de adelgazamiento y continuando por 112 y 126 días, para Di Gennaio y Di Marzo, respectivamente. A pesar de los diferentes ciclos culturales, los dos cultivares tuvieron casi la misma relación en cuanto al rendimiento y elemento absorbido. Las plantas Di Marzo y Di Gennaio (50000 plantas ha^{-1}) removieron en promedio cerca de 460 kg N, 140 kg P_2O_5 , 692 kg K_2O , 330 kg Ca, 75 kg Na y 42 kg Mg. Los microelementos sólo se determinaron en Di Gennaio, 77 kg S, 20 kg Al, 12 kg Fe, 1 kg Mn, 479 g Zn, 443 g Sr, 411 g B, 72 g Cu, 26 g Mo, 23 g Ni y 20 g Cd. El crecimiento total promedio de la materia fresca fue de 136 t ha^{-1} , que incluyó a 14 t ha^{-1} de inflorescencias principales y 28 t ha^{-1} de inflorescencias secundarias, y 14 t ha^{-1} de materia seca. El crecimiento más alto y tasas de remoción desde la emisión de tallo hasta la producción principal de inflorescencias fueron registrados.

Soto (1991), indica que en dos experimentos consecutivos que se llevaron a cabo, en 1988 y 1989, en la Estación Experimental Carlos Durán en Tierra Blanca, Cartago, a 2400 m.s.n.m. En 1988, cuatro dosis de nitrógeno (0, 100, 200 y 300 kg ha^{-1}), así como tres poblaciones (70000, 100000 y 300000 plantas ha^{-1}) fueron evaluados en hileras dobles de 1.0 m de distancia, con filas dobles de 0.3 m de distancia y en la fila de separación 28.5, 20.0 o 15.4 cm entre plantas. Las variables medidas fueron: 1) inflorescencias de exportación, 0.10-0.17 m de diámetro, peso sobre 125 g, excelente compactación y sin tallos huecos; 2) inflorescencias de calidad "A", con un diámetro de 0.10-0.17 m y un peso bajo de 125 g; 3) inflorescencias de calidad "B" de con un diámetro menor de 0.17 m de diámetro. En las dosis más bajas de nitrógeno se obtuvieron los mayores rendimientos de las inflorescencias de exportación con las poblaciones más bajas, pero se elevaron las dosis hasta 300 kg N ha^{-1} , el mayor rendimiento (17.5 t ha^{-1}) ocurrió con 100000 plantas ha^{-1} ; la calidad A mostró un efecto similar, con un rendimiento máximo 23.6 t ha^{-1} para 300 kg N ha^{-1} y la interacción de 130000 plantas ha^{-1} ; para la calidad B, el mayor rendimiento (6.0 t ha^{-1}) se alcanzó con 130000 plantas ha^{-1} y sin nitrógeno. La incidencia de tallo hueco fue inferior 1%, a pesar de los niveles 50% para la misma región en años anteriores. En 1989, se evaluó el nitrógeno a 200, 250, 300, 350 y 400 kg ha^{-1} en la interacción con las mismas poblaciones. Las inflorescencias fueron calificadas como: 1) exportable, 0.10-0.17 m de diámetro, más de 125 g de peso, excelentemente compactado y sana; 2) exportable sin tallo

huevo, lo mismo que 1 más el tallo sólido; 3) no exportable, carecen de una de las características de exportación anteriores. La interacción de 100000 plantas y 350 kg N ha⁻¹ resultó con el mayor rendimiento de las inflorescencias exportables (16.7 t ha⁻¹); las inflorescencias exportables sin tallo hueco fueron 62% y 100000 plantas ha⁻¹ con 350 o 400 kg N ha⁻¹ tuvieron los rendimientos más altos (8.8 y 9.5 t ha⁻¹), pero las diferencias no fueron significativas; las inflorescencias no exportables sólo aumentaron cuando la población aumentó. Se concluye que 100000 plantas ha⁻¹ y 350 kg N ha⁻¹ ofrecen la mejor combinación para la producción de inflorescencias de exportación. Además, la incidencia de tallo hueco no se puede atribuir a la población o alta dosis de nitrógeno, sino a otros factores del cultivo.

Liu y Shelp (1993a), indican que se realizó un estudio de tres años para investigar la respuesta del crecimiento en campo de brócoli cultivados en diferentes regímenes de manejo (varias relaciones de NH₄:NO₃, la adición de un inhibidor de la nitrificación conocido como nitrapirina y nutrición de boro). Ninguno de los tratamientos influyó en el rendimiento y la composición de N en la savia del xilema y floema y tejido de la planta. El nitrógeno total (NH₄, NO₃ y aminoácidos) y la concentración molar de NH₄ en la savia del xilema disminuyeron durante el período de crecimiento. El NH₄ constituyó hasta 20% de la savia del xilema -N, lo que sugiere que esta forma de nitrógeno, así como el NO₃, están siendo absorbidas del suelo. La recuperación sustancial de NO₃ en la savia del xilema (30-70% N) indicó que con un adecuado suministro de nitrógeno, al menos una parte del NO₃ que ingresa se reduce en el brote. Las concentraciones de NH₄, NO₃, aminoácidos y proteínas en los tejidos disminuyeron durante la temporada de crecimiento y en la parte superior del brote. La concentración de NO₃ en las inflorescencias, con niveles de 1 a 154 mg N kg⁻¹ de peso fresco, se consideran como niveles bajos para las normas europeas, en tanto que algunos de estos en el follaje superaron los niveles permisibles. La diferencia de acumulación de NO₃ en los cultivares fueron evidentes y entre los sitios de estudio.

Liu y Shelp (1993b), indican que las plantas de brócoli (*Brassica oleracea* Itálica) crecieron en el invernadero y se suministró continuamente 18 mM de nitrógeno en la siguiente relación de NH₄:NO₃: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100. En la madurez comercial, se

determinaron las características de la planta y repartición de nitrógeno en la savia del xilema y floema y en el tejido vegetal. Las plantas suministradas exclusivamente con amonio eran pequeñas, mostraron signos de necrosis marginal en las hojas inferiores y se acumuló amonio en el follaje. El rendimiento máximo y tiempo mínimo de cosecha, junto con la mínima acumulación de nitrato y amonio se encontraron en la relación de 75:25. Las concentraciones de amonio en la savia del xilema disminuyeron linealmente con la disminución de la porción de amonio en la solución nutritiva, mientras que las concentraciones de nitrato alcanzaron cuando un máximo de nitrato constituyó 50% del N suministrado. La familia del glutamato dominó la composición de los aminoácidos en la savia del xilema y floema jugos, pero no varió mucho con la relación $\text{NH}_4:\text{NO}_3$. Se sugiere que la concentración de amonio en la savia del xilema se puede utilizar para evaluar la relación de NH_4 vs NO_3 utilizada por el brócoli en condiciones de campo.

Everaarts (1994), indica que un incremento en la cantidad de nitrógeno suministrado al brócoli (*Brassica oleracea* Itálica) condujo a un aumento de la incidencia de la podrición de la inflorescencia, resultando en una disminución de la cantidad de producto comercializable. Se encontraron indicios de que el peso de la inflorescencia y el contenido de materia seca en la inflorescencia están probablemente involucrados indirectamente en el desarrollo de la pudrición de la inflorescencia con un suministro bajo de nitrógeno. El índice de cosecha no se vio influenciada por los tratamientos. La identificación de los mecanismos que dieron lugar a la pudrición de la inflorescencia limitados a bajos niveles de nitrógeno, podrían ayudar a identificar las características para detectar en los programas de evaluación agronómica de variedades de brócoli bajo suministro normal de nitrógeno.

Zebarth *et al.*, (1995), indican que una comprensión de las relaciones entre la tasa de fertilización nitrogenada, la recuperación de nitrógeno en los cultivos, el nitrógeno inorgánico residual en el suelo y el rendimiento de los cultivos puede ayudar en la formulación de recomendaciones equilibradas de fertilizantes nitrogenados en los cultivos y disminuir el riesgo ambiental. Se aplicó el nitrógeno en tres plantaciones de brócoli, con dosis de nitrógeno de 0, 125, 250, 375, 500 y 625 kg ha^{-1} con una aplicación al voleo de nitrato de amonio, 50% al momento del trasplante y 50% después de 2 semanas del

trasplante. El rendimiento comercial de los cultivos, rendimiento de materia seca y la acumulación de nitrógeno y nitrógeno inorgánico extraíble a 0.75 m de profundidad del suelo se determinaron en la cosecha. El rendimiento comercial de los cultivos, medido como peso fresco en las inflorescencias, incrementó con el aumento de la dosis de nitrógeno a un máximo entre dosis de 435 y 560 kg ha⁻¹. El nitrógeno acumulado en la parte aérea de la planta de incrementó con el aumento de la dosis de nitrógeno y alcanzó un máximo de 345 a 465 kg ha⁻¹. La recuperación aparente del fertilizante nitrogenado en la parte aérea de la planta disminuyó linealmente entre 46 y 93% a una dosis de 125 kg N ha⁻¹ y entre 20 y 44% en la dosis de 625 kg N ha⁻¹. La recuperación aparente del fertilizante nitrogenado en la inflorescencia se redujo linealmente de entre 14 y 25% a una dosis de 125 kg N ha⁻¹ y entre 8 y 14% con la dosis de 625 kg N ha⁻¹. El perfil del suelo con nitrato-N a 0.75 m de profundidad en la cosecha aumentó con la dosis de aplicación de N en forma curvilínea y con un promedio de 3 kg N ha⁻¹ sin nitrógeno aplicado hasta 420 kg N ha⁻¹ en la dosis máxima de nitrógeno. Se discute el potencial para desarrollar una prueba de nitrato en el suelo para predecir el requerimiento de fertilizante nitrogenado en brócoli.

Vimala *et al.*, (1997). indican que se obtuvieron las absorciones de nutrientes: N, P, K, Ca y Mg en 96, 19, 132, 44 y 23 kg ha⁻¹, respectivamente. La relación de la absorción de nutrientes fue 4:1:6:2:1 de N: P: K: Ca: Mg. Sólo 27% de N, 22% P, 16% K, 6% de Ca y 10% Mg, de la absorción total de nutrientes fueron removidos en la inflorescencia para un rendimiento económico de 5.6 t ha⁻¹. El resto se encontró en las hojas, tallos y raíces. La absorción de micronutrientes fue de menos de 0.5 kg ha⁻¹. Los datos presentados se pueden utilizar como una guía para la formulación de las necesidades de fertilización en brócoli cultivados en turba.

Padilla (1998), indica que se midió la parte económica, la biomasa aérea total y la absorción de N, P y K por ésta a la cosecha de brócoli cultivados con niveles crecientes de gallinaza, en un Typic Argiustoll (Coatlinchán, México) y un Vertisol (Villagrán, Gto, México) para determinar el requerimiento interno de N, P y K y el índice de cosecha, que definen la demanda nutrimental de los cultivos en un modelo conceptual simplificado así como contrastar la absorción de N, P y K asociada al rendimiento obtenido con la estimada

a partir de datos reportados en la literatura. La producción de materia seca y la absorción de N, P y K de brócoli fue afectada por las condiciones edafoclimáticas y de manejo particulares de cada sitio. En Coatlinchán el rendimiento de inflorescencias principales y secundarias de brócoli en fresco fue 19 t ha^{-1} ; en Villagran el rendimiento fue de 2.5 t ha^{-1} , donde la estación y condiciones de crecimiento fueron atípicos. La adición de gallinaza (0 a 20 t ha^{-1}) tampoco produjo incrementos significativos con las concentraciones de N, P y K en Coatlinchan, en tanto que en Villagrán los incrementos fueron ligeros lo que se asoció a factores ambientales que impidieron el desarrollo normal del cultivo. Se concluyó que en Coatlinchán, la ausencia de respuesta se debió al alto nivel de nitrógeno inorgánico en el suelo, el que supuestamente fue aportado durante la estación de crecimiento por un agente externo (agua de riego, agua de lluvia). El índice de cosecha promedio asociado a los rendimientos más altos obtenidos fueron 0.3 para el brócoli. Estos valores coincidieron con los reportados en otras investigaciones, sin embargo, no se puede aseverar que estos fueron independientes del rendimiento y las condiciones edafoclimáticas. En Villagrán el índice de cosecha se incrementó con las dosis de gallinaza, sin embargo también hubo restricciones en el crecimiento. Las concentraciones de N, P y K promedio que se asocian con los rendimientos más altos obtenidos fueron 3.6% , 0.4% y 1.4% , respectivamente.

Everaarts y Willigen (1999), indican que los métodos de aplicación del fertilizante fueron al voleo, en banda y directa. La absorción máxima de nitrógeno por el cultivo fue de alrededor de 300 kg ha^{-1} . En un experimento la colocación en banda influyó positivamente en la absorción de nitrógeno. La aplicación directa no influyó en la absorción de nitrógeno. La aplicación de nitrógeno dio como resultado una producción más alta de materia seca en la inflorescencia, pero la eficiencia de utilización de nitrógeno para la producción de materia seca en la inflorescencia disminuyó con mayores cantidades de nitrógeno aplicados. La aplicación de nitrógeno disminuyó el contenido de materia seca de las inflorescencias. En la mitad de los experimentos de aplicación en banda del fertilizante nitrogenado resultó en una producción extra de materia seca en la inflorescencia y contenidos bajos de materia seca en la inflorescencia. En la proporción óptima de aplicación de nitrógeno colocado en banda, el índice de cosecha de nitrógeno en los experimentos varió del 27 a 30% . La cantidad de nitrógeno mineral en el suelo a la cosecha generalmente aumentó con las

cantidades crecientes de nitrógeno aplicado. La aplicación en banda resultó solamente en un experimento en cantidades más bajas de nitrógeno mineral en el suelo durante la cosecha. El nitrógeno mineral en el suelo a la cosecha puede distribuirse horizontalmente en forma desigual, tanto con la aplicación de directa y en banda del fertilizante nitrogenado; la cantidad de nitrógeno desconocido en la cosecha aumentó con cantidades crecientes de nitrógeno aplicadas, pero fue siempre menor que la cantidad de nitrógeno en los residuos de los cultivos. En las tasas óptimas de aplicación de nitrógeno en banda, la cantidad de nitrógeno en los residuos de cosecha varió de 120 a 155 kg ha⁻¹. Con la producción de brócoli, el nitrógeno en los residuos de los cultivos constituye la principal fuente de pérdida potencial de nitrógeno para el medio ambiente.

Rincón *et al.*, (1999), indican que se ha estudiado y cuantificado el crecimiento vegetativo y absorción de nutrientes en un cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L) cv. Marathon, con una densidad de plantación de 5 plantas m⁻². Las plantas se muestrearon cada 15-20 días durante 87 días después del trasplante. La producción total de materia seca en el periodo de muestreo fue de 6.2 t ha⁻¹, contribuyendo las inflorescencias con 39.1% del total. El índice de área foliar fue de 4.4 a los 87 días después del trasplante, consiguiéndose la mayor eficiencia foliar expresada como asimilación neta media entre el 0 y 31 días después del trasplante. Las cantidades totales de macronutrientes absorbidos por el cultivo para una producción total de 19.2 t ha⁻¹ fueron expresadas en kg ha⁻¹: 243.9 N, 28.7 P, 240.9 K, 221.3 Ca y 23.0 Mg. La mayor acumulación de N, P y Mg se produjo durante el periodo de máximo crecimiento de las inflorescencias y la de K y Ca se produjeron al final del periodo de cultivo.

Matsumoto *et al.*, (1999). indican que la respuesta a la absorción de nitrógeno en pimiento, rábano chino, el brócoli, la col, chingensai, espinaca, nabo, lechuga y zanahoria fue probado en un suelo con una mezcla de salvado de arroz y paja de arroz (SPA) con una relación C/N de 19. La concentración de nitrógeno inorgánico en el suelo sin sembrar fue menor, pero las concentraciones de aminoácidos y proteínas fueron mucho mayores en el tratamiento con SPA que en el suelo testigo (sin nitrógeno adicional). La absorción de nitrógeno por el pimiento y la lechuga hoja fue mayor en el suelo testigo que con el

tratamiento SPA. Por el contrario, la absorción de nitrógeno por chingensai, zanahoria y espinacas era mayor en el tratamiento de SPA que en el suelo a pesar de un estado del nitrógeno inorgánico consistentemente más bajos. Estos resultados sugieren que la respuesta de la absorción de nitrógeno a nitrógeno orgánico aplicado depende de los cultivos. Resultados similares fueron obtenidos mediante el uso de materiales orgánicos como la torta de colza (TC) y heces secas de ganado (HSG con una menor relación C/N que SPA). La absorción de nitrógeno por el pimiento y la lechuga fue menor para el nitrógeno orgánico que con el sulfato de amonio (SA), mientras que la absorción de nitrógeno por la zanahoria, chingensai y espinacas fue mayor para TC que para AS.

Castellanos *et al.*, (2001), indican que se ha encontrado que las reservas de agua subterránea en el Centro de México están disminuyendo y las concentraciones de NO_3^- -N de algunos pozos de riego están excediendo 10 ppm. Existe la necesidad de desarrollar buenas prácticas de manejo (BMPs) que pueden incrementar el uso eficiente del agua y del nitrógeno para hortalizas como el brócoli (*Brassica oleracea* Itálica) en esta región. Se realizaron tres experimentos en campo durante 1996 y 1998 en la Estación Experimental del INIFAP en Celaya, Guanajuato, México para desarrollar BMPs en la región. Con el objeto de determinar el nivel de suficiencia de nitrógeno en el tejido vegetal, se realizaron estudios en la hoja más recientemente madura y totalmente expandida (HMRM) en el peciolo seco y en el extracto celular del mismo (ECP), habiendo analizado nitrógeno total y NO_3^- -N, respectivamente en estas porciones vegetales. Los rendimientos máximos comercializables de 24.5 a 27.0 t ha⁻¹ se alcanzaron con dosis de 400 a 425 kg N ha⁻¹. Los niveles de suficiencia de nitrógeno en el HMRM estaban en el rango 5.5 a 6.0% durante el desarrollo de la inflorescencia y luego se redujo 4.0 a 5.0% durante la etapa de cosecha. La concentración crítica de NO_3^- -N en el peciolo varió de 15000 a 20000 mg kg⁻¹, al inicio del ciclo, y de 3500-5000 mg kg⁻¹ en la etapa de pre cosecha. El nivel adecuado de NO_3^- -N en el extracto celular de peciolo varió de 1600 a 2000 mg L⁻¹ al inicio del ciclo, y de 500 a 800 mg L⁻¹ en pre cosecha. La fertilización del brócoli con 400 kg N ha⁻¹ proporcionó beneficios al subsiguiente cultivo de maíz (*Zea mays* L), en niveles equivalentes 60% de los conseguidos con la fertilización nitrogenada. Este estudio muestra que mediante el riego por goteo, la aplicación directa del N, el monitoreo del nivel de N a lo largo del ciclo de

crecimiento y la rotación de cultivos con gramíneas, se logra incrementar la eficiencia en el uso del nitrógeno en sistemas de cultivo de hortalizas-gramínea, al mismo tiempo que se podría incrementar la materia orgánica del suelo contribuyendo a la protección de la calidad ambiental en el centro de México.

Thompson *et al.*, (2002), indican que la producción de brócoli en el suroeste de EE.UU. es altamente dependiente de insumos, agua y fertilizantes nitrogenados para lograr óptimos rendimientos y calidad. Las características del agua y la respuesta del nitrógeno en el riego por goteo en el subsuelo no han sido reportadas. Los experimentos de campo se llevaron a cabo en el sur de Arizona durante 1993 hasta 1996. Los objetivos fueron determinar: (i) respuesta del brócoli al riego por goteo en el subsuelo a un rango de tensión de humedad del suelo (THS), (ii) efectos e interacciones del agua y la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de los cultivos y (iii) absorción estacional y diaria del nitrógeno. Los experimentos consistieron en combinaciones factoriales en tres regímenes de riego (bajo, medio y alto) y cuatro dosis de nitrógeno (60-500 kg ha⁻¹ de nitrógeno). El riego se aplicó diariamente con el objetivo de mantener la THS y todas las dosis de nitrógeno se aplicaron mediante fertirrigación. Con respecto al rendimiento comercial, la THS óptima fue de 10 kPa en suelo arenoso, como se indicaron en los modelos de superficie de respuesta. Los rendimientos comerciales en todos los tratamientos variaron de < 3 a > 18 t ha⁻¹. El rendimiento comercial se vio afectado de manera significativa por la dosis de nitrógeno durante las tres estaciones y por la THS durante dos de las tres estaciones. No hubo significancia para las interacciones THS x dosis de nitrógeno en el rendimiento comercial. Los parámetros de calidad (peso la inflorescencia y diámetro) fueron muy sensibles a las dosis de nitrógeno que con THS y había pocos interacciones significativas THS x dosis de nitrógeno para la calidad del brócoli. El brócoli acumuló hasta 320 kg N ha⁻¹ en la biomasa, y los flujos de la absorción de nitrógeno fueron altos hasta 5 kg N ha⁻¹ d⁻¹ en la primera etapa de crecimiento (825-1000 unidades calor después del trasplante).

Villalobos *et al.*, (2005), indican que el propósito del presente estudio fue definir las tensiones de humedad para maximizar el rendimiento y la calidad del florete en brócoli, cultivar Patriot. El experimento se estableció en un Vertisol. La plantación se estableció a

doble hilera en surcos separados a 1.0 m, la distancia entre hileras fue de 0.25 m y 0.30 m entre plantas, con una densidad de población de 66000 plantas ha⁻¹. Se evaluaron seis tratamientos en bloques al azar con cuatro repeticiones: 1) acolchado plástico a 28 kPa, 2) seco a 45 kPa, 3) semiseco a 36 kPa, 4) medio a 28 kPa, 5) semihúmedo a 20 kPa, 6) húmedo a 12 kPa de tensión de humedad en el suelo. El cultivo presentó un consumo de agua de 24.5, 27.3, 31.0, 35.8, 40.0 y 45.7 cm de lámina en los tratamientos de acolchado, seco, semiseco, medio, semihúmedo y húmedo, respectivamente. Los mayores valores de grosor de tallo, altura de planta, cobertura de área foliar, número de tallos secundarios y acumulación de biomasa se presentaron en el tratamiento húmedo. El máximo rendimiento comercial se obtuvo en el tratamiento semihúmedo con la aplicación el riego a 20 kPa de tensión. El vigoroso crecimiento vegetativo en el tratamiento húmedo no favoreció el desarrollo del florete y el rendimiento disminuyó con relación al tratamiento semihúmedo.

Vidal *et al.*, (2006), indican que la mayoría de los suelos agrícolas de México tienen un buen abastecimiento de potasio, porque están en zonas áridas o volcánicas, la ceniza es rica en este nutrimento. Estos suelos no requieren la fertilización potásica en cultivos básicos, pero es una práctica usual para los cultivos más demandantes. La información sobre la fertilización de cultivos hortícolas es insuficiente, especialmente en fertirriego. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue obtener información para generar recomendaciones de fertilización potásica de brócoli en fertirriego. El experimento se desarrolló en Montecillo, estado de México, en invernadero, con el cultivar de brócoli Heritage, usando un Vertisol de Celaya, Guanajuato, de marzo a julio de 2003. Se usó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos: dos manejos de cultivo (convencional y fertirriego) y cuatro niveles de K ($K_0=0$, $K_1=70$, $K_2=140$ y $K_3=210$ mg K kg⁻¹ suelo; 9 kg suelo por maceta); cada tratamiento se repitió 12 veces. Los resultados se analizaron estadísticamente como factorial 2 x 4, con dos repeticiones para cada uno de los cuatro muestreos realizados durante el desarrollo del cultivo y cuatro repeticiones a la cosecha. Las variables de respuesta fueron rendimiento, peso de la biomasa (fresco y seco), concentración de potasio en la planta y la dinámica del potasio hidrosoluble, intercambiable y no intercambiable del suelo. Los rendimientos medios de brócoli en fertirrigación fueron 33.5% superiores a los de manejo convencional. Las extracciones de potasio por el cultivo en fertirrigación fueron

83.8% superiores a las del cultivo con manejo convencional. El tratamiento K₂ elevó significativamente el rendimiento de brócoli pero sólo con el manejo convencional. Hubo mayor absorción de potasio en el fertirriego por un suministro más adecuado de agua, lo que ayuda a economizar agua y fertilizante.

Arévalo *et al.*, (2007), indica que la aplicación de fertilizantes nitrogenados tiene el propósito de complementar el aporte de nitrógeno edáfico para satisfacer la demanda del cultivo; sin embargo, el uso inapropiado de estos insumos aumenta la cantidad de nitrato residual en el suelo (N_r) y el riesgo de su posterior lixiviación, independientemente si se trata de fertilizantes sintéticos (F_s) u orgánicos. Con el objetivo de comparar el efecto de la fertilización sobre el N_r, se hizo un ensayo de respuesta a la aplicación de nitrógeno, considerando al brócoli como cultivo indicador por su alta demanda de este nutriente. Se emplearon F_s o abono verde, aplicado este último al omento del trasplante (A_{v1}) o 15 días previos al mismo (A_{v2}). La respuesta del brócoli fue cuadrática (300 kg ha⁻¹ como dosis óptima fisiológica) con un rendimiento máximo de 1.94, 1.55 y 1.31 kg planta⁻¹, para F_s, A_{v1} y A_{v2}, respectivamente. Los F_s dejaron menos N_r, seguido por A_{v1} y A_{v2}, por lo que se concluye que si no se aplican los fertilizantes orgánicos de manera oportuna se incrementará en N_r, con el consecuente riesgo de su lixiviación y contaminación de los mantos freáticos.

Vågen *et al.*, (2007), indican que los efectos de las tres dosis de nitrógeno (0, 120 y 240 kg ha⁻¹) y dos fechas de trasplante (mayo o junio/julio) en el rendimiento y nitrógeno absorbido en el cultivar temprano Milady y cultivar tardío Marathon fueron investigados en tres tipos de suelos franco limosos variando el nitrógeno mineral en la parte sur de Noruega desde 1999 hasta 2001. En todos los cultivos que recibieron fertilización la absorción de nitrógeno inició rápidamente alrededor de las tres semanas después del trasplante. El rendimiento relativo de las inflorescencias de brócoli incremento conforme incrementaron las reservas del suelo (fertilizante nitrogenado más nitrógeno mineral) en el trasplante de 200-250 kg ha⁻¹ de nitrógeno y luego se estabilizó. Los dos tipos de fertilizaciones bajas fueron más restrictivas a los rendimientos en las plantaciones tempranas que en las plantaciones tardías. Un incremento general en el índice de cosecha con el aumento de la

dosis de nitrógeno refleja más fuerte del nitrógeno sobre el rendimiento de las inflorescencias que en el total por encima de la producción de biomasa aérea. La aparente recuperación del fertilizante nitrogenado disminuyó al aumentar la dosis de nitrógeno y fue en promedio 74% en el total de biomasa aérea y 25% en las inflorescencias de brócoli. A pesar de una mayor absorción de nitrógeno, el nivel medio del suelo del nitrógeno mineral a la cosecha aumentó de 12 kg ha⁻¹ de nitrógeno en las parcelas sin fertilizar a 27 y 78 kg ha⁻¹ de nitrógeno en las parcelas que recibieron de 120 a 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno, respectivamente; este incremento fue más fuerte a principios de que en trasplantes tardíos y más fuerte en Milady que en Maratón. El rendimiento de las inflorescencias de brócoli fue similar en los dos cultivares, pero Milady tenía una producción de biomasa total más bajo y por lo tanto un índice de cosecha superior, presumiblemente debido a la iniciación temprana de las inflorescencias.

Cartagena (2009), indica que el brócoli es una de las hortalizas de mayor importancia económica, por su acelerado incremento en las exportaciones en diversos países latinoamericanos, entre los que destaca México (327.1 mil toneladas), Guatemala (53 mil toneladas) y Ecuador (48.7 mil toneladas). Sin embargo, existen problemas en el uso eficiente del nitrógeno y por ello es necesario hacer énfasis en la investigación que ayude a mejorar la fertilización nitrogenada. El objetivo de la investigación es generar en condiciones de campo el requerimiento interno de nitrógeno para brócoli para cuantificar su demanda nutrimental, como uno de los componentes de la metodología del balance nutrimental del cálculo de las recomendaciones de fertilizantes. El experimento se realizó en el Laboratorio de Ingeniería de Riego del Campo Experimental Tlapeaxco de la Universidad Autónoma Chapingo, México; desde septiembre hasta diciembre del 2008; bajo un diseño de parcela dividida en bloques completamente al azar, cuatro repeticiones y 12 tratamientos. Los tratamientos fueron resultado de los factores: híbridos de brócoli (Avenger y Heritage) y dosis de nitrógeno (0, 50, 150, 300 y 450 kg ha⁻¹ y testigo absoluto). Se evaluó en la biomasa aérea total: peso seco, peso fresco y nitrógeno acumulado. Del estudio resultó que la cantidad de nitrógeno acumulado está directamente asociado con la producción de peso seco, hasta alcanzar su rendimiento máximo y es independiente de los híbridos de brócoli; el requerimiento interno de nitrógeno fue igual en

los híbridos a pesar de obtenerse diferentes rendimientos; los rendimientos máximos de la inflorescencia se obtuvieron con la dosis de 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno; con producciones de 17.7 t ha⁻¹ en el híbrido Avenger y 14.6 t ha⁻¹ en el híbrido Heritage.

Fraire *et al.*, (2010), indican que en 2005 y 2006 se evaluaron ocho y doce cultivares comerciales de brócoli respectivamente, en Apaseo el Grande, Guanajuato, México, en tres densidades de plantación (55000, 65000 y 75000 plantas ha⁻¹), en parcelas de 48 m². Al momento de la cosecha se midió diámetro del florete, hueco del tallo y número de minifloretes y se registró la pérdida de peso a temperatura ambiente (18-25°C) en las 40 h posteriores a la cosecha. Los resultados mostraron que la densidad de plantación tiene un efecto inversamente proporcional al diámetro del florete y al hueco en el tallo. Densidad de 55000 plantas ha⁻¹ produjo mayor diámetro de florete y de hueco en el tallo, mientras que la densidad de 75000 plantas ha⁻¹ produjo menos diámetro de florete. El cultivar Mónaco presentó el mayor rendimiento de florete. Ironman tuvo el menor diámetro de hueco en el tallo. El número de minifloretes no estuvo influenciado por la densidad de plantación, pero sí por el cultivar ya que las variedades Grandísimo y Avenger superaron a los demás en cantidades de minifloretes. La menor pérdida de peso se registró en floretes a una densidad de plantación de 65000 plantas ha⁻¹.

Torres (2011), indica que la región de Tepeaca-Tecamachalco, es una de las principales zonas productoras de brócoli en el estado de Puebla-México, en el lugar se encuentran diferentes granjas avícolas, lo que permite que la pollinaza sea un insumo en cantidad y disponibilidad para los agricultores que lo utilizan como fuente orgánica para la fertilización del brócoli y otros cultivos junto con cultivos minerales. Se caracterizó el sistema de producción de brócoli, con información obtenida mediante la técnica de la encuesta, se encontró que en el sistema de producción de brócoli se usan altas dosis de pollinaza, 11 t ha⁻¹. El productor de brócoli siembra una alta diversidad de cultivos. El brócoli tiene altos costos de producción. Una vez conocidas las dosis de fertilización utilizadas se realizó un experimento con diferentes dosis de fertilización órgano mineral y marcado el mineral con ¹⁵N, para conocer el comportamiento del nitrógeno, teniendo una vez obtenidas las muestras se procedió a cuantificar el nitrógeno total y ¹⁵N mediante el

método kjeldahl e isotópico respectivamente. Los resultados del experimento muestran que la adición de pollinaza estimula la inmovilización del nitrógeno en el suelo y del agregado como fertilizante sintético. Esta inmovilización se ve reflejada en una menor absorción de nitrógeno del cultivo, sin embargo, combinaciones adecuadas de nitrógeno orgánico más sintético pueden estimular la disponibilidad y absorción de nitrógeno en el sistema. Es necesario realizar estudios enfocados a identificar y cuantificar el paradero (pérdida a la atmósfera y/o lixiviación) de nitrógeno que ingresa al sistema de producción, así como el análisis económico de esta práctica de fertilización.

En el Cuadro 2.14, se presenta un resumen de los trabajos realizados en fertilización nitrogenada en el cultivo de brócoli.

Cuadro 2.14. Rendimiento, densidad de plantas, nitrógeno aplicado y acumulado en el cultivo de brócoli.

Rendimiento t ha ⁻¹	Densidad plantas ha ⁻¹	Nitrógeno		Híbrido	Autor
		aplicado kg ha ⁻¹	acumulado kg ha ⁻¹		
5.6	25650	120	96	Four week old	Vimala (1997)
9.4	44400	196		Emperor	Everaarts (1994)
9.7	50000	300		Liberty	Arevalo (2007)
10.5	35000	270		Green Comet	Letey (1983)
12.0	50000	300	58	Di Marzo	Magnífico (1989)
15.4	130000	300		Green Valiant	Soto (1991)
15.8	50000	300	78	Di Gennaio	Magnífico (1989)
16.0	31000	300	356	Heritage	Torres (2011)
16.9	57000	240	72	Milady	Vågen (2007)
17.5	100000	300		Green Valiant	Soto (1991)
17.7	22000	300	309	Avenger	Cartagena (2009)
18.9	57000	240	69	Marathon	Vågen (2007)
18.9	100000	500	236	Claudia	Thompson (2002)
19.2	62000	456	243	Marathon	Rincón (1999)
20.0	66666	339	353	Marathon	Padilla (1998)
20.0	35000	331		Green Comet	Beverly(1986)
20.4	77500	436	342	Emperor	Zebarth (1995)
21.5	66000	400		Heritage	Vidal (2005)
24.5	65000	425	449	Patriot	Castellanos (2001)
27.0	70000	400	341	Legacy	Castellanos (2001)
31.7	66000	400		Patriot	Villalobos (2005)
32.3	20000	135	559	Medium Late	Magnífico (1979)

2.4. Resumen de la revisión de literatura

Entre los factores involucrados en el incremento del rendimiento se encuentra el uso intensivo de los fertilizantes nitrogenados. El uso exagerado de nitrógeno ocasiona un crecimiento vegetativo excesivo, retrasa la maduración, mayor sensibilidad a enfermedades y en condiciones extremas, afecta negativamente el rendimiento de los cultivos.

Existen distintas metodologías que se utilizan para la generación de recomendaciones de fertilización en los cultivos, las cuales generalmente incluyen parámetros de clima, cultivo, suelo y manejo. Entre estas metodologías está el denominado Modelo Simplificado, la cual considera que cuando la demanda de nutrientes de la biomasa de los cultivos no es satisfecha por el suministro de nutrientes que es capaz de entregar el suelo, se produce un déficit que debe ser superado con la adición de fertilizantes.

En el caso del brócoli, los investigadores han realizado trabajos de fertilización nitrogenada sin encontrar una dosis que represente la variación del suelo, clima, variedades y densidades de población, y más aún existe una marcada tendencia a aplicar dosis de nitrógeno que sobrepasan los requerimientos del cultivo. Por este motivo, se propone aplicar el Modelo Simplificado para la generación de dosis de fertilización y calcular los componentes que lo integran como son la demanda nutrimental, suministro de nitrógeno del suelo y eficiencia de la fertilización nitrogenada.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer un método para calcular las necesidades de fertilización nitrogenada para el brócoli, con base en la cuantificación directa de la demanda de nitrógeno del cultivo, el suministro de nitrógeno por el suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de las láminas de riego y niveles de nitrógeno sobre el rendimiento de biomasa aérea y nitrógeno acumulado, para calcular las necesidades de fertilización nitrogenada en el brócoli.
- Evaluar el efecto de los niveles de nitrógeno residual y residuos de la cosecha anterior sobre el rendimiento de biomasa aérea y nitrógeno acumulado, para calcular las necesidades de fertilización nitrogenada en el brócoli.

3.3. HIPÓTESIS

- El rendimiento de biomasa aérea y nitrógeno acumulado son directamente proporcionales a las cantidades aplicadas de riego y nitrógeno.
- El rendimiento de biomasa aérea y nitrógeno acumulado son directamente proporcionales a las cantidades aplicadas de nitrógeno residual y residuos de la cosecha.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación

La investigación se realizó en el lote Montecillo Dos-Seis, Campo Experimental Tlapeaxco, Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas a 19° 28' 58" de latitud norte, y 98° 53' 27" de longitud oeste, y a 2250 m. sobre el nivel del mar (Figura 4.1.).

4.2. Clima

El clima de la zona de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (2004), corresponde a un tipo C(wo)(w)b, que se clasifica como templado subhúmedo con valores medios de precipitación de 637 mm, temperatura de 16°C, evaporación de 1400 mm y humedad relativa ligeramente superior al 60%.

Los datos climáticos de temperatura, precipitación y evaporación durante el desarrollo de los dos experimentos se presentan en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Condiciones climáticas durante la ejecución de los experimentos.

Experimento	Fecha		Temperatura °C	Precipitación mm	Evaporación mm
	Años	Meses			
1	2012	10	15.1	5.8	134.6
		11	12.7	5.4	107.4
		12	12.2	0.0	128.7
	2013	1	12.6	0.0	46.1
2	2013	4	18.3	24.4	233.6
		5	18.5	53.4	214.8
		6	17.7	99.9	164.9
		7	15.4	2.3	8.5

Estación Meteorológica Montecillo. Universidad Autónoma Chapingo.

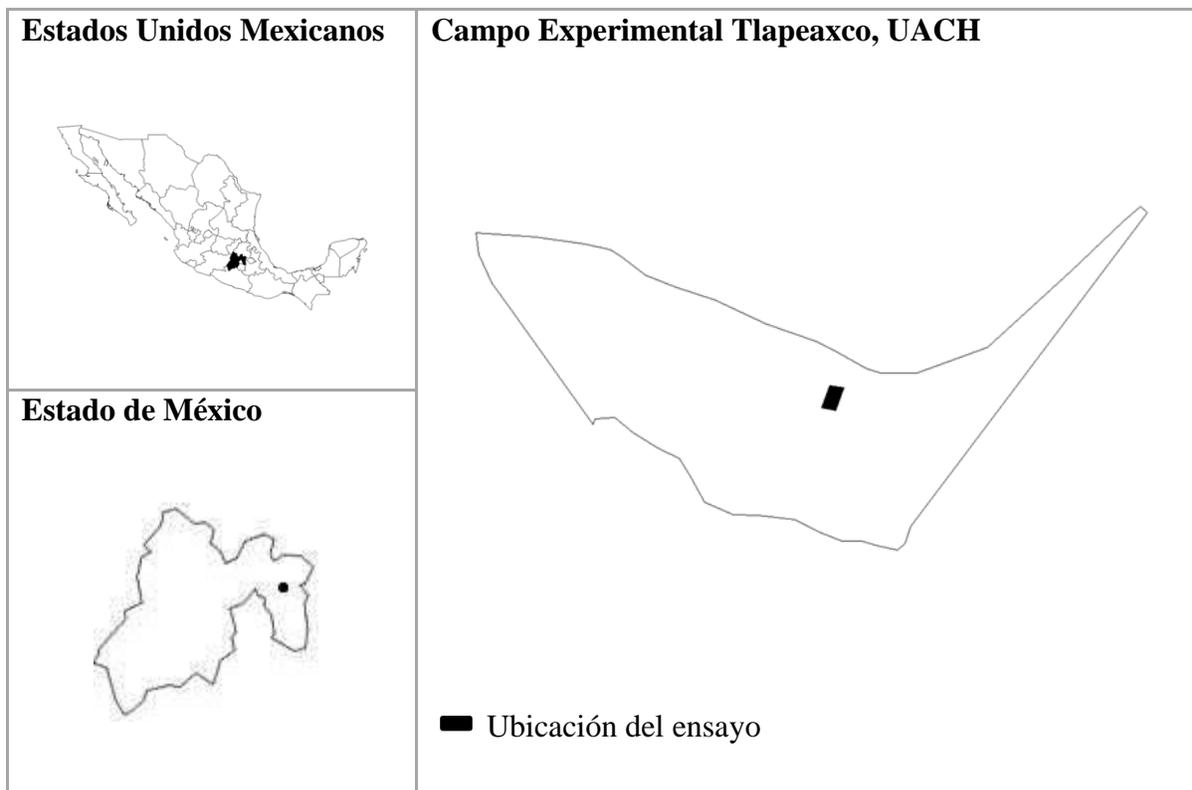


Figura 4.1. Ubicación del experimento en el lote Montecillo Dos-Seis, Campo Experimental Tlapeaxco, Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

4.3. Suelo

El suelo en el que se ubicó el experimento está clasificado como Entisol, que se caracteriza por ser un suelo de reciente formación, con depósitos de sedimentos aluviales o lacustres que provienen de rocas ígneas (Ortiz y Cuanalo, 1977).

En el Cuadro 4.2, se indican algunas propiedades físicas y químicas del suelo de los experimentos.

Cuadro 4.2. Propiedades físicas y químicas del suelo.

Propiedades físicas	Valor	Método
Arena (%)	26.9	
Limo (%)	32.0	
Arcilla (%)	41.1	
Textura	Arcillosa	Bouyoucus (Hidrómetro)
Densidad aparente (g cm⁻³)	1.1	Estufa
Capacidad de campo (%)	35.3	Curva de retención de humedad
Punto marchitamiento (%)	26.0	Curva de retención de humedad
Propiedades químicas	Valor	Método
p H	7.4	Potenciométrico
Conductividad eléctrica (dSm⁻¹)	0.5	Extracto de la pasta saturada
Materia orgánica (%)	2.4	Walkley y Black
NO₃ (mg kg⁻¹)	18.4	Cloruro de potasio 2N
P (mg kg⁻¹)	50.0	Olsen
K (mg kg⁻¹)	964.0	Acetato de amonio 1N, pH 7

Laboratorio de Suelos, Aguas, Plantas, Fertilizantes, Abonos orgánicos, Sustratos y Lixiviados de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.4. Agua de riego

El agua de riego que se aplicó se caracteriza por tener un pH neutro, la relación de adsorción de sodio es buena (1.35) y no tiene restricciones para aplicarse en los cultivos (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Propiedades químicas del agua de riego.

Propiedades químicas	Valor	Método
pH	7.4	Potenciométrico
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	0.4	Puente de conductividad
Ca (meq L ⁻¹)	1.3	Espectrofotometría de absorción atómica
Mg (meq L ⁻¹)	1.2	Espectrofotometría de absorción atómica
Na (meq L ⁻¹)	1.5	Espectrofotometría de emisión de flama
K (meq L ⁻¹)	0.2	Espectrofotometría de emisión de flama
CO ₃ ⁼ (meq L ⁻¹)	0.0	Volumetría de ácido sulfúrico
HCO ₃ ⁻ (meq L ⁻¹)	2.5	Volumetría de ácido sulfúrico
Cl ⁻ (meq L ⁻¹)	0.5	Volumetría de nitrato de plata
SO ₄ ⁼ (meq L ⁻¹)	1.6	Turbidimetría de cloruro de bario

Laboratorio de Suelos, Aguas, Plantas, Fertilizantes, Abonos orgánicos, Sustratos y Lixiviados de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.5. Material vegetal

El material vegetal de brócoli utilizado para la investigación fue el híbrido Avenger, que se caracteriza por alcanzar su rendimiento comercial entre 90 a 100 días después del trasplante, la inflorescencia pesa 400 a 600 g y la altura de la planta llega a 0.80 m (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Características del cultivar de brócoli, híbrido Avenger.

Características	Cultivar
Duración del ciclo	Intermedio (90-110 días)
Altura de planta	Alto (0.8 m)
Follaje	Medio
Color de la inflorescencia	Verde azul
Característica de la inflorescencia	Con domo denso
Tamaño de grano	Muy pequeño
Resistencia a enfermedades	Mediana resistencia a cenicienta vellosa
Uso y observaciones	Alto porcentaje de corte de corona, inflorescencia muy atractiva y excelente madurez

4. 6. Experimentos

4.6.1. Experimento 1: Láminas de riego y dosis de nitrógeno

Se realizó durante el ciclo otoño - primavera 2012-2013, desde el 3 de octubre del 2012 hasta el 10 de enero del 2013.

4.6.1.1. Factores en estudio

Se estudiaron dos factores: láminas de riego y dosis de nitrógeno.

El factor láminas de riego (L), correspondió a dos láminas de riego: 3 y 6 mm, definidas en base a la curva de retención de humedad del suelo, para explorar la respuesta del cultivo a niveles relativamente altos de humedad del suelo.

El factor dosis de nitrógeno (N), correspondió a cuatro dosis: 80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹. La fuente de nitrógeno se utilizó fue urea (46% de N).

4.6.1.2. Tratamientos

Cuadro 4.5. Tratamientos en estudio para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Tratamientos N°	Identificación combinación	Láminas de riego mm	Dosis de nitrógeno kg ha ⁻¹
1	L ₃ N ₈₀	3	80
2	L ₃ N ₁₆₀	3	160
3	L ₃ N ₂₄₀	3	240
4	L ₃ N ₃₂₀	3	320
5	L ₆ N ₈₀	6	80
6	L ₆ N ₁₆₀	6	160
7	L ₆ N ₂₄₀	6	240
8	L ₆ N ₃₂₀	6	320

4.6.1.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcela dividida en bloques completamente al azar (DPDBCA), con 8 tratamientos y cuatro repeticiones, obteniéndose como total 32 unidades experimentales establecidas sobre el terreno.

En la Parcela Grande (PG) se ubicó el factor láminas de riego (3 y 6 mm) y en la Sub Parcela (SP) se aplicó el factor dosis de nitrógeno (80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹).

4.6.1.4. Unidad experimental

En la unidad experimental la distancia entre surcos fue de 1.2 m y entre plantas de 0.3 m, obteniéndose una densidad de 27000 plantas ha⁻¹ (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Dimensiones del experimento para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Parcela	Tamaño		
	Largo m	Ancho m	Superficie m ²
Total	39.6	34.2	1354.3
Grande	34.8	19.8	677.1
Sub parcela	8.4	3.6	30.2
Útil	6.0	3.0	18.0

4.6.2. Experimento 2: Dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha

Se llevó a cabo durante el ciclo verano 2013, desde el 3 de abril del 2013 al 1 de julio del 2013.

4.6.2.1. Factores en estudio

Se estudiaron dos factores: dosis de nitrógeno y residuos de cosecha.

El factor dosis de nitrógeno (N), correspondió a cuatro niveles (80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹) del experimento 1 (láminas de riego y dosis de nitrógeno), en donde no se aplicó fertilizante nitrogenado para evaluar el efecto residual en el cultivo de brócoli.

El factor residuos de la cosecha (R), se tuvo dos tratamientos: sin residuos y con residuos de la cosecha. En el tratamiento sin residuos de la cosecha se eliminó todo el material vegetal de brócoli y en el tratamiento con residuos de la cosecha, se cortó manualmente con un machete todo el brócoli, se dejó en la superficie y no se incorporó en el suelo.

4.6.2.2. Tratamientos

Cuadro 4.7. Tratamientos en estudio para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Tratamientos N°	Identificación combinación	Dosis de nitrógeno kg ha ⁻¹	Residuos de la cosecha
1	N ₈₀ R _S	80	Sin residuos
2	N ₈₀ R _C	80	Con residuos
3	N ₁₆₀ R _S	160	Sin residuos
4	N ₁₆₀ R _C	160	Con residuos
5	N ₂₄₀ R _S	240	Sin residuos
6	N ₂₄₀ R _C	240	Con residuos
7	N ₃₂₀ R _S	320	Sin residuos
8	N ₃₂₀ R _C	320	Con residuos

4.6.2.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de parcela dividida en bloques completamente al azar (DPDBCA), con 8 tratamientos y cuatro repeticiones, obteniéndose como total 32 unidades experimentales establecidas sobre el terreno.

En la Parcela Grande (PG) se ubicó el factor dosis de nitrógeno (80, 160, 240 y 320 kg ha⁻¹) y en la Sub Parcela (SP) se aplicó el factor residuos de la cosecha (sin y con residuos de la cosecha).

4.6.2.4. Unidad experimental

En la unidad experimental la distancia entre surcos fue de 1.2 m y entre plantas de 0.3 m, obteniéndose una densidad de 27000 plantas ha⁻¹ (Cuadro 4.8).

Cuadro 4.8. Dimensiones del experimento para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Parcela	Tamaño		
	Largo m	Ancho m	Superficie m ²
Total	34.2	20.4	697.6
Grande	8.4	3.6	30.2
Sub parcela	8.4	1.8	15.1
Útil	6.0	1.2	7.2

La distribución de los tratamientos en el sitio experimental, se muestran en la Figura A2 del anexo.

4.7. Manejo del experimento

4.7.1. Semillero

El semillero se realizó en el invernadero del Campo Experimental Tlapeaxco, que pertenece al Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

Se utilizaron contenedores de forma cónica con 200 cavidades, en las cuales se colocó el sustrato orgánico (Peat Moss) para garantizar la adecuada germinación de la semilla, posteriormente se sembró una semilla de brócoli en cada cavidad del contenedor. La semilla germinó después de 5 días de sembrada.

Las plantas de brócoli se regaron sólo con agua una vez al día durante 15 días; después se aplicó el riego con la solución nutritiva de Steiner al 50% de concentración, una vez al día durante 25 días (Anexo 8.1.1).

Las plantas se mantuvieron bajo estricto cuidado hasta que presentaron un desarrollo uniforme y vigoroso, con una altura promedio de 0.1 m y de 5 a 6 hojas verdaderas, que fue la condición óptima para el trasplante.

4.7.2. Preparación del terreno

La preparación del terreno se efectuó en forma mecanizada, realizándose un pase de arado 20 días antes del trasplante y dos pases de rastra (cruza y recruza) dos días antes del trasplante.

4.7.3. Establecimiento del experimento

Para establecer el experimento se realizó el trazado, delimitación y estaqueo de las unidades experimentales que conformaron el ensayo.

4.7.4. Fertilización química

La aplicación del fertilizante químico se efectuó en cada unidad experimental en forma manual a chorro continuo, a una distancia de 0.1 m de la línea de trasplante y luego se cubrió con una delgada capa de suelo, para evitar posibles pérdidas o daños que ocasione a las plantas de brócoli.

El fertilizante nitrogenado (Urea) se aplicó en tres épocas: 1, 30 y 50 días después del trasplante y fraccionándolo en tres partes: 25, 35 y 40% (Cuadro 4.9).

Cuadro 4.9. Épocas de aplicación, fraccionamiento y cantidad del fertilizante nitrogenado, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Dosis de Nitrógeno	Días después del trasplante		
	1	30	50
80	20	28	32
160	40	56	64
240	60	84	96
320	80	112	128

La fertilización fosfatada (Fosfato diamónico) se realizó al momento del trasplante con 50 kg ha⁻¹ y no se aplicó el potasio debido al alto contenido (964.0 mg kg⁻¹) en el suelo.

4.7.5. Trasplante

En trasplante se realizó manualmente; utilizándose una estaca, con la cual se hicieron hoyos de 0.05 m de profundidad y se colocó una planta por hoyo. El arreglo del trasplante fue lineal con una distancia entre surcos de 1.2 m y entre plantas de 0.3 m.

4.7.6. Riego

El sistema de riego que se utilizó en el experimento fue riego por goteo superficial, se instaló manguera de polietileno de 0.016 m, en la que estaban insertados goteros auto

compensantes a una separación de 0.5 m y con un gasto de 2 l h^{-1} . El encendido del equipo de riego fue de tipo manual y se trabajó con una presión de 1 kg cm^{-2} .

La aplicación del riego se utilizó en base a curva de retención de humedad del suelo (Anexo 8.1.2):

- En el experimento 1: láminas de riego de 3 y 6 mm, con tiempos diarios de 0.5 y 1 hora, respectivamente.
- En el experimento 2: lámina de riego de 6 mm, con tiempo diario de 1 hora.

4.7.7. Control de malezas y plagas

El control de malezas, se realizó en forma manual con azadón en tres ocasiones, a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

Durante la investigación se presentó la plaga Plutela (*Plutella xylostella linn*), a los 20 días después del trasplante. Se realizó el control químico con Benzoato de emamectina, en dosis de 1 L ha^{-1} , y dos aplicaciones con intervalos de 8 días. Este control químico fue eficiente y no afectó considerablemente al cultivo.

4.7.8. Cosecha

La cosecha se realizó cuando el producto económico o inflorescencias alcanzaron la madurez comercial, es decir están bien desarrolladas, compactas, yemas sin abrir y color azul verdoso.

Esta labor se realizó en forma manual, cortando la inflorescencia con aproximadamente 0.10 m de tallo. El tiempo transcurrido desde el trasplante hasta la cosecha fue aproximadamente de 80 a 100 días.

4.8. Variables

4.8.1. Peso fresco

Se realizaron seis muestreos (1, 20, 40, 60, 80 y 100 días después del trasplante), en los cuales se tomó una planta completa en los surcos centrales de la parcela neta.

La planta completa se separó en cuatro secciones: raíz; tallo y hojas e inflorescencia. Al tallo, hojas e inflorescencia se le denominó peso fresco aéreo y a la inflorescencia como rendimiento o producto económico.

En el muestreo a los 50 días después del trasplante, se colectó la cuarta hoja a partir del ápice central a la cual se le denominó como hoja diagnóstico, siguiendo el procedimiento propuesto por Castellanos (1998).

En la época de la cosecha se realizaron:

- En el experimento 1: cinco muestreos de la inflorescencia (80, 85, 90, 95 y 100 días después del trasplante).
- En el experimento 2: dos muestreos de la inflorescencia (80 y 90 días después del trasplante).

En ambos experimentos que se tomó dos inflorescencias en los surcos centrales de la parcela neta.

El material vegetal obtenido en cada muestreo se llevó al Laboratorio de Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (RASPA) del Colegio de Posgraduados, en donde se realizaron dos lavados, uno con agua corriente y otro con agua destilada, posteriormente se secaron al ambiente y se pesaron en una balanza de precisión marca Oahus Adventurer Pro, expresando los resultados en gramos por planta.

4.8.2. Biomasa

Los materiales vegetales que se obtuvieron en cada muestreo, se colocaron en bolsas de papel, previamente identificadas. Luego este material se metió en un horno de secado marca ShelLab con ventilación forzada a una temperatura de 65°C, hasta obtener un peso constante. Se registró el peso seco en una balanza de precisión marca Oahus Adventurer Pro y se expresó en gramos por planta. Al peso seco se le denominó como biomasa.

Cada una de las muestras se molió en un molino de acero inoxidable marca Willey y se guardaron en sobres de papel para luego realizar el análisis nutrimental.

4.8.3. Unidades térmicas

Para obtener las unidades térmicas, se utilizaron los registros de las temperaturas máximas y mínimas de la Estación Meteorológica Montecillo de la Universidad Autónoma Chapingo (Cuadro 8), se calculó la temperatura media diaria y se restó la temperatura base del cultivo de brócoli de 4.4°C, y los resultados se expresaron en grados Celsius (Padilla, 1998).

$$U_T = \frac{(T_M - T_m)}{2} - T_b$$

Dónde:

U_T = Unidades térmicas (°C).

T_M = Temperatura máxima (°C).

T_m = Temperatura mínima (°C).

T_b = Temperatura base (4.4°C).

4.8.4. Índice de la raíz

El índice de la raíz, se calculó a la cosecha, cuando las plantas llegaron a la madurez fisiológica, y se calculó como:

$$I_R = \frac{B_R}{B_{TH} + B_I}$$

Dónde:

I_R = Índice de raíz.

B_R = Biomasa de la raíz (g planta⁻¹).

B_{TH} = Biomasa de tallo y hojas (g planta⁻¹).

B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

4.8.5. Índice de la cosecha

El índice de la cosecha, se determinó una vez que las plantas han llegado a su madurez fisiológica y se calculó como:

$$I_C = \frac{B_I}{B_{TH} + B_I}$$

Dónde:

I_C = Índice de la cosecha.

B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

B_{TH} = Biomasa de tallo y hojas (g planta⁻¹).

4.8.6. Nitrógeno acumulado

La concentración de nitrógeno total, se determinó por el método analítico de Semimicro-Kjeldahl modificado (Alcántar y Sandoval, 1999), que consiste en someter las muestras de tejido vegetal obtenidas, a una digestión húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico-salicílico y luego la destilación (Anexo 8.2.1).

Se determinó la cantidad de nitrógeno acumulado multiplicando el peso seco de la biomasa con la concentración de nitrógeno total, se dividió entre 100 y se multiplicó por 1000, expresando los resultados en miligramos por planta.

$$N_A = \frac{N \times B}{100} \times 1000$$

Dónde:

N_A = Nitrógeno acumulado (mg planta⁻¹).

N = Concentración de nitrógeno total (%).

B = Biomasa (g planta⁻¹).

4.8.7. Nitrato acumulado

La concentración de nitrato se determinó por el método de Cataldo (1975), que consiste en la obtención de un complejo formado por la nitratación del ácido salicílico que en condiciones fuertemente ácidas presenta una absorción máxima de 410 nm. En una solución básica de pH mayor a 12. La absorbancia del cromóforo (solución de color amarillo) formado es directamente proporcional a la concentración de nitratos presentes en el tejido vegetal (Anexo 8.2.2).

La cantidad de nitrato acumulado se calculó dividiendo la concentración de nitrato para 10000, este valor se multiplicó con la biomasa, se dividió entre 100 y se multiplicó por 1000, expresando los resultados en miligramos por planta.

$$NO_{3A} = \frac{\left(\frac{NO_3}{10000}\right) \times B}{100} \times 1000$$

Dónde:

NO_{3A} = Nitrato acumulado (mg planta⁻¹).

NO_3 = Concentración de nitrato (mg kg⁻¹).

B = Biomasa (g planta⁻¹).

4.8.8. Nitrito acumulado

La concentración de nitrito se determinó por el método de Griess-Ilosvay modificado Bremner (1965), que se basa en la diazotización de Griess en la cual se obtiene un colorante azoico por acoplamiento de una sal de diazonio con una amina aromática, que puede ser alfa-naftilamina ó 1-naftilamina en presencia de ácido sulfanílico (Reactivo de Griess) el colorante se detectó en una longitud de onda de 540 nm en un espectrofotómetro (Anexo 8.2.3).

La cantidad de nitrito acumulado se calculó dividiendo la concentración de nitrito para 10000, este valor se multiplicó con la biomasa, se dividió entre 100 y se multiplicó por 1000000, expresando los resultados en microgramos por planta.

$$NO_{2\ A} = \frac{\left(\frac{NO_2}{10000}\right) \times B}{100} \times 1000000$$

Dónde:

$NO_{2\ A}$ = Nitrito acumulado ($\mu\text{g planta}^{-1}$).

NO_2 = Concentración de nitrito (mg kg^{-1}).

B = Biomasa (g planta^{-1}).

4.9. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en cada muestreo de las variables de respuesta evaluadas se sometieron a un análisis de varianza, para evaluar el efecto de las láminas de riego, dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Se realizaron pruebas de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, con un valor de $\alpha = 0.05$ para:

- En el experimento 1: láminas de riego, dosis de nitrógenos e interacción.
- En el experimento 2: dosis de nitrógeno, residuos de la cosecha e interacción.

El modelo estadístico utilizado para los análisis con base al diseño experimental de parcela dividida en bloques completamente al azar fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + (\tau\gamma)_{ik} + E_{ijk}$$

Dónde:

- Y_{ijk} = Observación en el k-ésimo nivel del factor aplicado a la subparcela, de la i-ésima parcela grande en el j-ésimo bloque.
- τ_i = Efecto i-ésimo nivel factor aplicado a la parcela grande.
- β_j = Efecto del bloque.
- $(\tau\beta)_{ij}$ = Error experimental a nivel de la parcela grande.
- γ_{ijk} = Efecto del k-ésimo nivel del factor asociado a la sub parcela dentro de la i-enésima parcela principal del j-enésimo bloque.
- $(\tau\gamma)_{ik}$ = Interacción del factor principal con el factor aplicado a las subparcelas.
- E_{ijk} = Error experimental a nivel de subparcelas.

El modelo estadístico para el análisis del peso fresco y biomasa aérea al momento de la madurez fisiológica en función del nitrógeno aplicado se utilizó la función cuadrática, como:

$$Y = \alpha + \beta_i X_i + \beta_j X_i^2 + E_{ij}$$

Dónde:

- Y = Tamaño en el tiempo.
- α = Intercepto o término independiente.
- β_i = Coeficiente lineal o de primer grado.
- β_j = Coeficiente cuadrático o de segundo grado.
- E_{ij} = Error.

El modelo estadístico para la acumulación del peso fresco, biomasa y nitrógeno acumulado en el tiempo se utilizó la función logística normal, como:

$$Y = \frac{\alpha}{1 + \beta x e^{(-\gamma x t)}}$$

Dónde:

Y = Tamaño en el tiempo.

α = Valor límite de crecimiento.

β = No tiene significado biológico y sólo toma lugar en el tiempo inicial cuando $t = 0$.

γ = Tasa de la constante que determina la amplitud de la curva.

t = Tiempo.

La primera derivada de la función logística normal se obtuvo la tasa absoluta de acumulación en el tiempo, como:

$$T_{AA} = \frac{dY}{dt} = \frac{\alpha \gamma \beta e^{(-\gamma x t)}}{(1 + \beta e^{-\gamma x t})^2}$$

El modelo estadístico para los análisis de nitrato y nitrito acumulados en la inflorescencia en el tiempo se utilizó la función cuadrática inversa, como:

$$Y = \frac{1}{\alpha + \beta_i X_j + \beta_j X_i^2 + E_{ij}}$$

Dónde:

Y = Tamaño en el tiempo.

α = Intercepto o término independiente.

β_i = Coeficiente lineal o de primer grado.

β_j = Coeficiente cuadrático o de segundo grado.

E_{ij} = Error.

Los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico Statistical Analysis System 9.0 (SAS, 1999).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Experimento 1: Láminas de riego y Dosis de nitrógeno

5.1.1. Condiciones climáticas

La precipitación durante los 100 días de desarrollo del cultivo fue de 11.6 mm, distribuyéndose sólo en el primer tercio del período de crecimiento, por lo que esto prácticamente no contribuyó a las necesidades hídricas del cultivo (Figura 5.1).

Las temperaturas máximas diarias fluctuaron entre 17.8 y 27.5°C y las temperaturas mínimas diarias de -1.5 a 10.7°C. Durante el desarrollo del cultivo se tuvo un periodo muy frío en el mes de diciembre, con temperaturas diarias que fluctuaron entre -01 y 0.15°C. A pesar de presentarse un periodo frío durante el desarrollo del experimento se apreció la alta tolerancia del brócoli a estas condiciones climáticas y sin afectarse el rendimiento (Figura 5.1).

5.1.2. Condiciones edáficas

La humedad volumétrica se registró semanalmente, fluctuando entre 0.55 y 0.36 cm³ cm⁻³, que se encontraron sobre la capacidad de campo en las dos láminas de riego aplicadas (3 y 6 mm). La cantidad de agua aplicada no afectó el desarrollo del cultivo, debido a que no se presentaron enfermedades fungosas que ataquen a las raíces o inflorescencia (Figura 5.2).

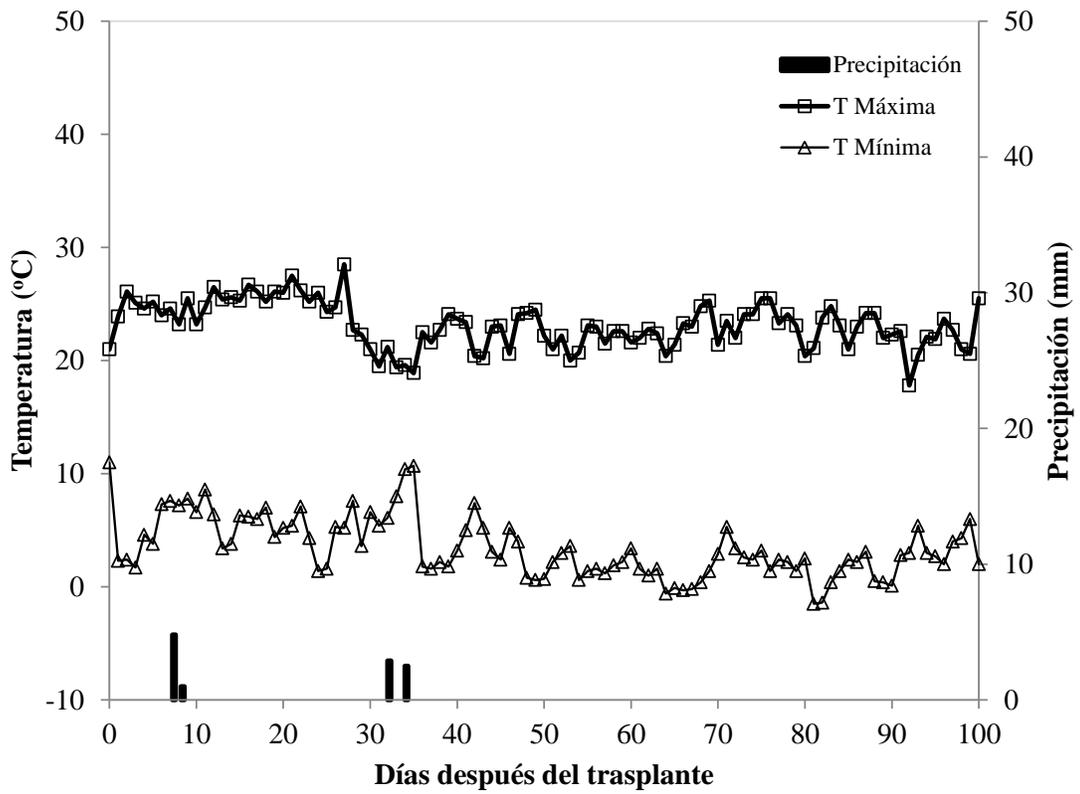


Figura 5.1. Temperatura (máxima y mínima) y precipitación diarias, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

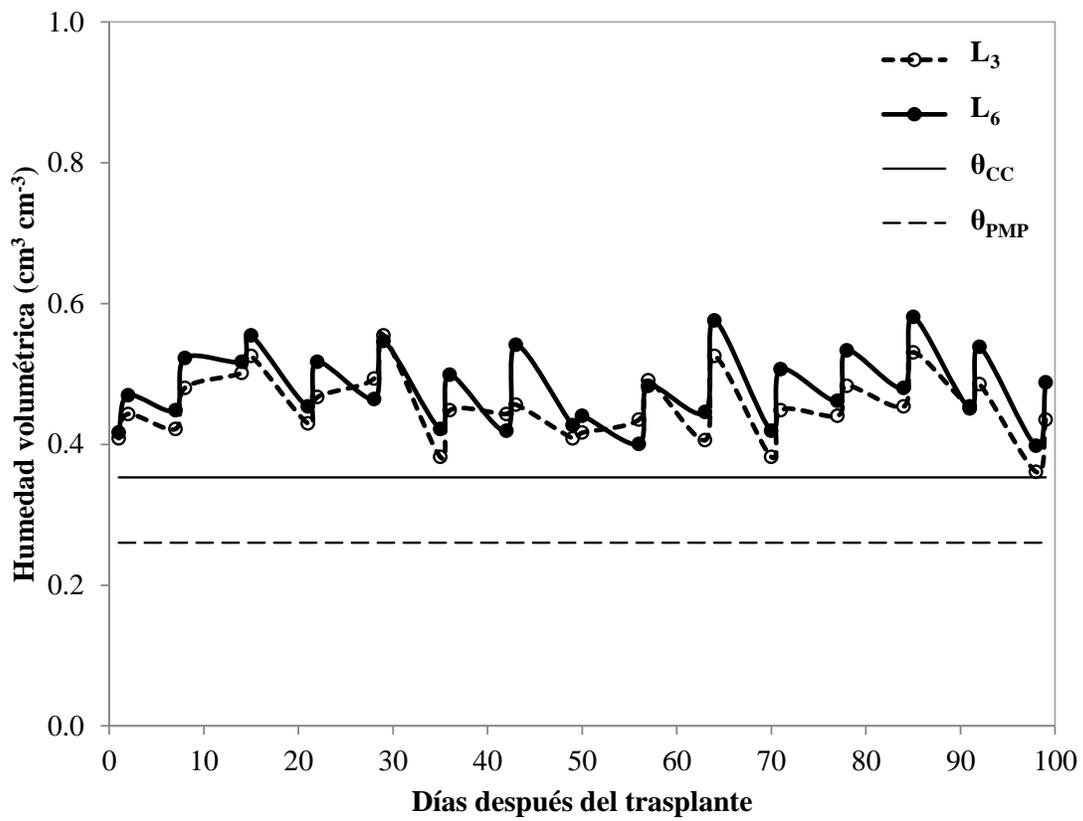


Figura 5.2. Humedad volumétrica a 0.30 m de profundidad del suelo, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

5.1.3. Peso fresco aéreo e inflorescencia

El análisis de la varianza en el peso fresco aéreo, detectó significancia estadística ($\alpha = 0.05$) para láminas de riego a los 20 días después del trasplante y en la comparación de láminas de riego y dosis de nitrógeno a los 40 días después del trasplante y alta significancia estadística ($\alpha = 0.05$) para dosis del nitrógeno a los 40 días después del trasplante. Los coeficientes de variación en los muestreos realizados están entre 32.1 y 15.5%, siendo aceptables en condiciones de campo (Cuadro A.30). En las inflorescencias se encontró diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) en las láminas de riego a los 95 días después del trasplante. Los coeficientes de variación disminuyen del 62 al 13.6%, debido a que la madurez de la inflorescencia se incrementa a medida que transcurre el tiempo de cosecha y como consecuencia disminuye la calidad comercial (Cuadro A.31).

El peso fresco aéreo para las dosis de nitrógeno y la combinación de láminas de riego y dosis de nitrógeno se apreciaron únicamente diferencias en el muestreo realizado a los 40 días después del trasplante. El promedio del peso fresco aéreo fue de 2761.2 g planta⁻¹ a los 100 días después del trasplante (Cuadro 5.1).

El peso fresco de la hoja diagnóstico presentó un valor promedio de 5.8 g planta⁻¹ y al combinar las láminas de riego con las dosis de nitrógeno, para la lámina de riego de 3 mm se tuvo un efecto lineal, en cambio con la lámina de riego de 6 mm un efecto cuadrático (Cuadro 5.1).

El peso fresco de la inflorescencia para los muestreos realizados se apreció una diferencia de 100 g planta⁻¹ al comparar la lámina de riego de 3 mm con la de 6 mm. Para las dosis de nitrógeno se tuvieron valores similares en los muestreos realizados (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.1. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	100	50 H _D	
Láminas de riego								
L ₃	1.7 a	15.3 b	137.4 a	765.2 a	1512.4 a	2637.2 a	6.1 a	
L ₆	1.7 a	19.3 a	145.1 a	802.3 a	1585.3 a	2885.3 a	5.5 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	3.0	35.1	154.7	363.7	1111.6	0.7	
Dosis de nitrógeno								
N ₈₀	1.7 a	16.1 a	94.2 c	819.9 a	1384.9 a	2619.4 a	5.8 a	
N ₁₆₀	1.7 a	15.6 a	127.9 bc	776.8 a	1575.6 a	2814.8 a	5.8 a	
N ₂₄₀	1.7 a	16.6 a	162.5 ab	705.9 a	1656.6 a	2860.0 a	5.9 a	
N ₃₂₀	1.7 a	21.0 a	180.2 a	832.2 a	1578.2 a	2750.8 a	5.9 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	7.8	51.7	224.7	610.0	608.3	2.2	
Combinación								
L ₃	N ₈₀	1.7 a	14.1 a	106.0 a	872.0 a	1484.2 a	2495.9 a	6.2 a
	N ₁₆₀	1.7 a	13.2 a	120.5 a	664.7 a	1506.2 a	2759.5 a	6.0 a
	N ₂₄₀	1.7 a	12.2 a	141.4 a	673.5 a	1712.1 a	2697.3 a	5.9 a
	N ₃₂₀	1.7 a	21.6 a	181.7 a	850.3 a	1347.0 a	2595.8 a	6.3 a
L ₆	N ₈₀	1.7 a	18.1 a	82.5 b	767.8 a	1285.5 a	2742.7 a	5.4 a
	N ₁₆₀	1.7 a	18.0 a	135.4 a	888.9 a	1644.9 a	2869.9 a	5.5 a
	N ₂₄₀	1.7 a	21.0 a	183.6 a	738.3 a	1601.1 a	3022.6 a	5.8 a
	N ₃₂₀	1.7 a	20.3 a	178.8 a	814.1 a	1809.3 a	2905.7 a	5.4 a
DHS ($\alpha=0.05$)	-	14.6	87.7	438.4	1170.6	1586.2	4.1	

H_D = Hoja diagnóstica

El efecto de las dosis de nitrógeno en el peso fresco aéreo al momento de la cosecha se presentó como una función cuadrática, estimándose una cantidad máxima para la lámina de riego de 6 mm de 2980.3 g planta⁻¹, mientras que para la lámina de riego de 3 mm con 2751.1 g planta⁻¹ y para la inflorescencia con la lámina de riego de 3 mm con 922.0 g planta⁻¹, mientras que para la lámina de riego de 6 mm con 1079.3 g planta⁻¹ (Cuadro 5.3 y Figura 5.3).

Los coeficientes de determinación (R²) obtenidos son bajos debido a la variabilidad espacial de la fertilidad del sitio experimental (Cuadro 5.3).

Cuadro 5.2. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante					
	80	85	90	95	100	
	g planta⁻¹					
	Láminas de riego					
L ₃	89.3 a	377.3 a	499.6 a	697.6 b	898.1 a	
L ₆	73.2 a	473.0 a	613.7 a	834.9 a	1031.2 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	29.0	108.2	149.8	112.3	434.8	
	Dosis de nitrógeno					
N ₈₀	60.9 a	400.5 a	525.1 a	675.8 a	906.3 a	
N ₁₆₀	98.3 a	389.6 a	532.8 a	755.8 a	983.2 a	
N ₂₄₀	92.5 a	479.3 a	576.0 a	795.6 a	995.7 a	
N ₃₂₀	73.2 a	431.2 a	592.8 a	837.8 a	973.2 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	71.3	140.1	163.6	170.0	185.4	
	Combinación					
L ₃	N ₈₀	70.8 a	310.3 a	448.1 a	626.9 a	859.3 a
	N ₁₆₀	118.9 a	372.6 a	498.5 a	693.8 a	893.9 a
	N ₂₄₀	105.9 a	433.3 a	526.1 a	714.6 a	931.4 a
	N ₃₂₀	61.6 a	392.8 a	525.7 a	754.9 a	907.6 a
L ₆	N ₈₀	51.0 a	490.7 a	602.0 a	724.6 a	953.2 a
	N ₁₆₀	77.7 a	406.7 a	567.0 a	817.9 a	1072.6 a
	N ₂₄₀	79.2 a	525.3 a	625.8 a	876.5 a	1059.9 a
	N ₃₂₀	84.8 a	469.5 a	659.9 a	920.6 a	1038.8 a
DHS ($\alpha=0.05$)	133.2	278.0	334.8	330.0	557.9	

Cuadro 5.3. Función cuadrática del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo e inflorescencia de brócoli.

Láminas	Ecuación	R ²	PF máximo
	Peso fresco aéreo		
L ₃	PF _A = - 0.0143 N ² + 6.0 N + 2121.4	0.04	2751.1
L ₆	PF _A = - 0.0095 N ² + 4.6 N + 2419.8	0.03	2980.3
	Peso fresco de la inflorescencia		
L ₃	PF _I = - 0.002 N ² + 1.1 N + 779.6	0.02	922.0
L ₆	PF _I = - 0.005 N ² + 2.5 N + 794.5	0.06	1079.3

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), PF_A = Peso fresco aéreo (g planta⁻¹) y PF_I = Peso fresco de la inflorescencia (g planta⁻¹).

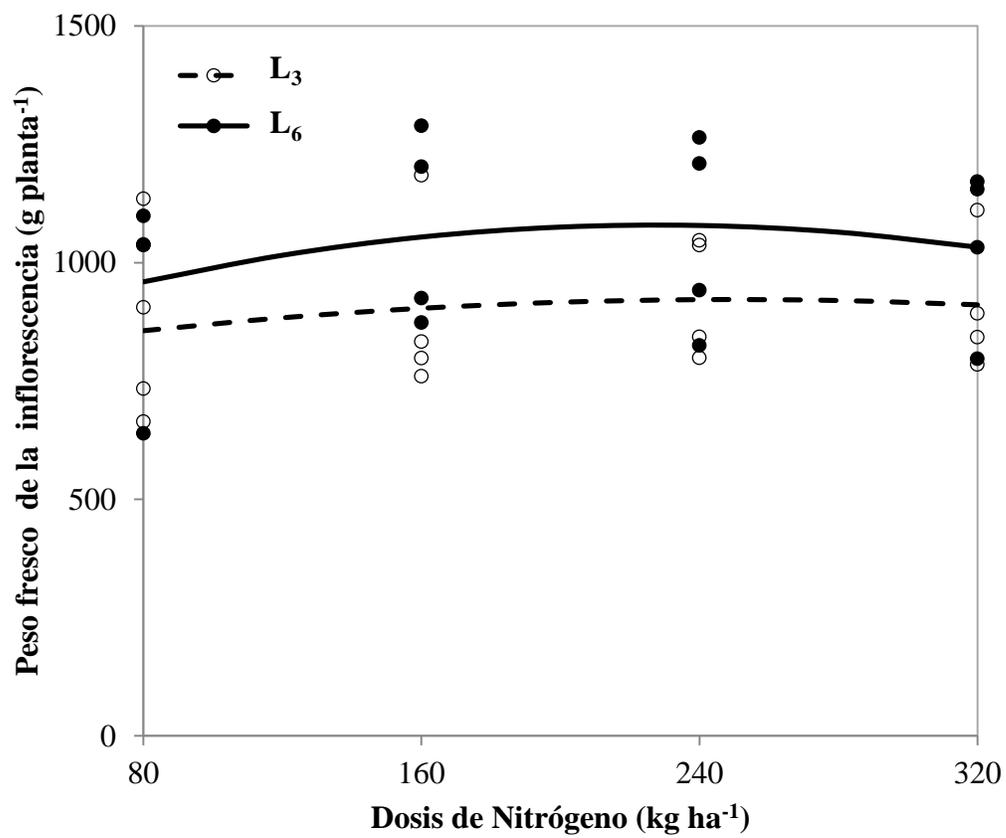


Figura 5.3. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno en el peso fresco de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

La acumulación del peso fresco aéreo presentó una tendencia sigmoidea para las dos láminas de riego. Durante todo el ciclo del cultivo se apreciaron mínimas diferencias entre los tratamientos estudiados. La mayor acumulación de peso fresco se tuvo con la lámina de riego de 6 mm y dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ con 3016.7 g planta⁻¹ (Cuadro 5.4).

Cuadro 5.4. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$PF_A = \frac{3269.2}{1 + 139.6 x e^{(-0.0607 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₁₆₀	$PF_A = \frac{3985.0}{1 + 260.2 x e^{(-0.0637 x D_{dt})}}$	0.93
	N ₂₄₀	$PF_A = \frac{3193.2}{1 + 382.1 x e^{(-0.0763 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₃₂₀	$PF_A = \frac{5100.4}{1 + 118.7 x e^{(-0.0480 x D_{dt})}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$PF_A = \frac{6665.9}{1 + 209.8 x e^{(-0.0498 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₁₆₀	$PF_A = \frac{4016.9}{1 + 158.7 x e^{(-0.0596 x D_{dt})}}$	0.84
	N ₂₄₀	$PF_A = \frac{4953.2}{1 + 205.3 x e^{(-0.0577 x D_{dt})}}$	0.97
	N ₃₂₀	$PF_A = \frac{3616.0}{1 + 225.5 x e^{(-0.0681 x D_{dt})}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y PF_A = Peso fresco aéreo (g planta⁻¹).

La variación del peso fresco en la inflorescencia se ajustó a un modelo sigmoideo, encontrándose la mayor acumulación en la lámina de riego con 6 mm y dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ con 1027.3 g planta⁻¹ y con la menor acumulación en la lámina de riego con 3 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 841.9 g planta⁻¹, obteniéndose una diferencia de 185 g planta⁻¹ (Cuadro 5.5).

Para la inflorescencia en todos los tratamientos mantienen un incremento, en los muestreos realizados, notándose que a partir del muestreo a los 90 días después del trasplante, la

calidad comercial empieza a disminuir, inclusive aparecieron deformaciones y descompactación del producto comercial (Cuadro 5.5).

La mayor tasa absoluta de acumulación se encontró en la lámina de riego con 3 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 80.2 g planta⁻¹ día⁻¹ a los 100 días después del trasplante (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.5. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$PF_l = \frac{1053.2}{1 + 41.1 x e^{(-0.1700 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₁₆₀	$PF_l = \frac{1040.9}{1 + 30.5 x e^{(-0.1696 x D_{dt})}}$	0.94
	N ₂₄₀	$PF_l = \frac{1047.0}{1 + 28.8 x e^{(-0.1732 x D_{dt})}}$	0.97
	N ₃₂₀	$PF_l = \frac{965.9}{1 + 53.5 x e^{(-0.2147 x D_{dt})}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$PF_l = \frac{923.5}{1 + 50.7 x e^{(-0.2352 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₁₆₀	$PF_l = \frac{1247.0}{1 + 45.2 x e^{(-0.1834 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₂₄₀	$PF_l = \frac{1104.4}{1 + 42.8 x e^{(-0.2116 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₃₂₀	$PF_l = \frac{1068.7}{1 + 68.3 x e^{(-0.2441 x D_{dt})}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y PF_l = Peso fresco de la inflorescencia (g planta⁻¹).

Cuadro 5.6. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el peso fresco aéreo observado, estimado y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D_{dt}	PF_{AO}	PF_{AE}	T_{AA}
Láminas	Nitrógeno		g planta⁻¹		g planta⁻¹ día⁻¹
L₃	N₈₀	1	1.7	24.7	1.4
		20	14.1	76.9	4.5
		40	106.0	245.5	13.7
		60	872.0	701.92	33.4
		80	1484.2	1566.9	49.5
		100	2495.9	2471.7	36.6
		Valor t	- 0.03 NS		
	N₁₆₀	1	1.7	16.2	1.0
		20	13.2	54.0	3.3
		40	120.5	186.5	11.3
		60	664.7	595.2	32.2
		80	1506.2	1536.9	60.1
		100	2759.5	2756.8	54.1
		Valor t	- 0.02 NS		
	N₂₄₀	1	1.7	8.9	0.6
		20	12.2	37.9	2.8
		40	141.4	167.5	12.1
		60	673.5	648.2	39.4
		80	1712.1	1722.7	60.5
		100	2697.3	2693.3	32.1
Valor t		- 0.01 NS			
N₃₂₀	1	1.7	44.6	2.1	
	20	21.6	109.8	5.1	
	40	181.7	277.1	12.5	
	60	850.3	665.5	27.7	
	80	1347.0	1436.2	49.5	
	100	2595.8	2580.0	61.2	
	Valor t	- 0.01 NS			

L₃ = Lámina de riego (3 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, PF_{AO} = Peso fresco aéreo observado (g planta⁻¹), PF_{AE} = Peso fresco aéreo estimado (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.6. Continuación...

Combinación		D _{dt}	PF _{AO}	PF _{AE}	T _{AA}
Láminas	Nitrógeno		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
L ₆	N ₈₀	1	1.7	33.2	1.6
		20	18.1	84.9	4.1
		40	82.5	225.0	10.8
		60	767.9	576.0	26.2
		80	1285.5	1359.1	53.8
		100	2742.7	2729.4	80.2
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₁₆₀	1	1.7	26.6	1.5
		20	18.0	81.6	4.7
		40	135.4	257.0	14.3
		60	888.9	738.1	35.9
		80	1644.9	1710.3	58.5
		100	2869.9	2850.0	49.3
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₂₄₀	1	1.7	25.4	1.4
		20	21.0	75.3	4.2
		40	183.6	231.2	12.7
		60	738.3	665.7	33.2
		80	1601.1	1634.2	63.1
		100	3022.6	3019.3	68.0
		Valor t	- 0.02 NS		
N ₃₂₀	1	1.7	17.0	1.1	
	20	20.3	61.5	4.1	
	40	178.9	228.9	14.6	
	60	814.1	754.9	40.6	
	80	1809.3	1834.8	61.5	
	100	2905.7	2895.9	39.2	
	Valor t	- 0.02 NS			

L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, PF_{AO} = Peso fresco aéreo observado (g planta⁻¹), PF_{AE} = Peso fresco aéreo estimado (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

5.1.4. Biomasa aérea e inflorescencia

El análisis de la varianza en la biomasa aérea encontró significancia estadística ($\alpha = 0.05$) para láminas de riego a los 20 días después del trasplante y la combinación de láminas de riego por dosis de nitrógeno a los 40 días después del trasplante y alta significación estadística ($\alpha = 0.01$) en la dosis de nitrógeno a los 40 días después del trasplante. Para las inflorescencias se tuvo diferencia estadística ($\alpha = 0.05$) en las láminas de riego a los 85 días después del trasplante. Los coeficientes de variación obtenidos son aceptables para la investigación realizada (Cuadros A.32 y A.33).

La biomasa aérea promedio en las láminas de riego fue similar; para las dosis de nitrógeno y la combinación de láminas de riego por dosis de nitrógeno, únicamente se observaron diferencias en el muestreo a los 40 días después del trasplante y posteriormente los valores obtenidos son muy parecidos. La biomasa de la hoja diagnóstico tuvo un promedio de $0.8 \text{ g planta}^{-1}$ y en todos los tratamientos evaluados son similares los datos obtenidos (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	100	50 H _D	
Láminas de riego								
L ₃	0.2 a	2.1 b	15.8 a	86.5 a	166.0 a	279.6 a	0.8 a	
L ₆	0.2 a	2.5 a	16.1 a	89.6 a	174.6 a	290.2 a	0.7 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	0.4	3.9	11.6	35.6	100.2	0.1	
Dosis de nitrógeno								
N ₈₀	0.2 a	2.1 a	10.9 c	90.4 a	160.6 a	274.6 a	0.8 a	
N ₁₆₀	0.2 a	2.1 a	14.6 bc	91.3 a	177.9 a	296.7 a	0.8 a	
N ₂₄₀	0.2 a	2.2 a	18.1 ab	78.3 a	179.0 a	298.0 a	0.8 a	
N ₃₂₀	0.2 a	2.8 a	20.3 a	92.3 a	163.7 a	270.3 a	0.7 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	1.0	5.4	16.5	61.7	69.4	0.3	
Combinación								
L ₃	N ₈₀	0.2 a	1.9 a	12.5 a	94.5 a	177.7 a	258.6 a	0.8 a
	N ₁₆₀	0.2 a	1.8 a	13.7 a	81.5 a	169.3 a	299.8 a	0.8 a
	N ₂₄₀	0.2 a	1.7 a	16.6 a	75.4 a	179.7 a	294.3 a	0.8 a
	N ₃₂₀	0.2 a	2.9 a	20.7 a	94.7 a	137.2 a	265.6 a	0.8 a
L ₆	N ₈₀	0.2 a	2.4 a	9.4 b	86.3 a	143.6 a	290.6 a	0.8 a
	N ₁₆₀	0.2 a	2.3 a	15.5 a	101.0 a	186.6 a	293.6 a	0.7 a
	N ₂₄₀	0.2 a	2.7 a	19.7 a	81.3 a	178.2 a	301.7 a	0.8 a
	N ₃₂₀	0.2 a	2.7 a	19.8 a	89.8 a	190.1 a	275.0 a	0.7 a
DHS ($\alpha=0.05$)	-	1.8	10.6	32.3	118.1	162.6	1.9	

H_D = Hoja diagnóstica.

Para la inflorescencia los resultados obtenidos no se encontraron diferencias para los tratamientos en los muestreos realizados (Cuadro 5.8).

El efecto de las dosis de nitrógeno en la biomasa aérea en la cosecha se presentó como una función cuadrática, estimándose una cantidad máxima para la lámina de riego de 3 mm de 302.7 g planta⁻¹, mientras que para la lámina de riego de 6 mm con 287.7 g planta⁻¹, y para la inflorescencia con la lámina de riego de 3 mm de 79.8 g planta⁻¹, mientras que para la lámina de riego de 6 mm con 81.8 g planta⁻¹ (Cuadro 5.9 y Figura 5.4).

Cuadro 5.8. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante					
	80	85	90	95	100	
	g planta⁻¹					
	Láminas de riego					
L ₃	9.7 a	36.9 b	50.2 a	57.7 a	77.6 a	
L ₆	8.1 a	44.2 a	58.5 a	66.9 a	80.0 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	2.7	6.0	15.6	10.2	33.4	
	Dosis de nitrógeno					
N ₈₀	7.0 a	38.1 a	52.9 a	57.5 a	76.2 a	
N ₁₆₀	10.7 a	38.4 a	53.0 a	62.8 a	81.2 a	
N ₂₄₀	9.9 a	44.7 a	55.6 a	63.2 a	79.5 a	
N ₃₂₀	8.0 a	41.0 a	55.8 a	65.6 a	78.2 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	7.2	12.6	13.1	12.3	15.5	
	Combinación					
L ₃	N ₈₀	8.2 a	31.0 a	46.4 a	52.5 a	74.7 a
	N ₁₆₀	12.9 a	37.2 a	51.6 a	57.2 a	78.2 a
	N ₂₄₀	11.1 a	41.2 a	52.0 a	62.3 a	80.4 a
	N ₃₂₀	6.7 a	38.4 a	50.9 a	58.7 a	77.2 a
L ₆	N ₈₀	5.8 a	45.3 a	59.4 a	62.6 a	77.7 a
	N ₁₆₀	8.6 a	39.6 a	54.4 a	68.5 a	84.2 a
	N ₂₄₀	8.7 a	48.2 a	59.2 a	64.2 a	78.7 a
	N ₃₂₀	9.4 a	43.6 a	60.8 a	72.4 a	79.2 a
DHS ($\alpha=0.05$)	13.4	23.8	28.7	24.7	44.3	

Cuadro 5.9. Función cuadrática del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea e inflorescencia de brócoli.

Láminas	Ecuación	R ²	B máxima
	Biomasa aérea		
L ₃	$B_A = - 0.0027 N^2 + 1.1 N + 188.3$	0.11	302.7
L ₆	$B_A = - 0.0012 N^2 + 0.4 N + 262.7$	0.03	287.7
	Biomasa de la inflorescencia		
L ₃	$B_I = - 0.0002 N^2 + 0.1 N + 67.0$	0.02	79.8
L ₆	$B_I = - 0.0002 N^2 + 0.09 N + 72.7$	0.01	81.8

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹) y B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

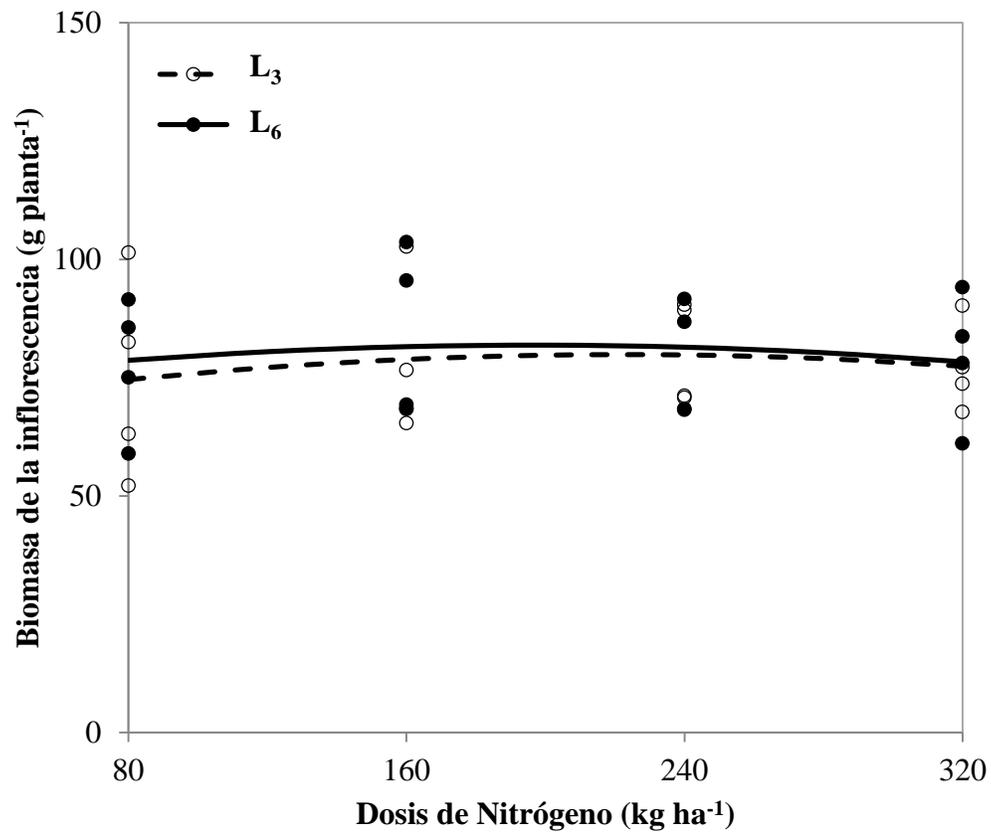


Figura 5.4. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

La acumulación de la biomasa aérea tuvo una tendencia sigmoidea, con una fase lineal hasta los 50 días después del trasplante, luego fue exponencial hasta los 80 días después del trasplante y finalmente una fase decreciente, encontrándose una mayor acumulación en la lámina de riego con 6 mm y dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ con 301.0 g planta⁻¹ y con la menor acumulación en la lámina de riego con 3 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 256.1 g planta⁻¹, a los 90 días después del trasplante (Cuadro 5.10).

Cuadro 5.10. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$B_A = \frac{289.2}{1 + 209.1 x e^{(-0.0739 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₁₆₀	$B_A = \frac{421.3}{1 + 206.3 x e^{(-0.0622 x D_{dt})}}$	0.93
	N ₂₄₀	$B_A = \frac{367.9}{1 + 280.1 x e^{(-0.0701 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₃₂₀	$B_A = \frac{549.1}{1 + 101.3 x e^{(-0.0454 x D_{dt})}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$B_A = \frac{581.4}{1 + 171.0 x e^{(-0.0513 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₁₆₀	$B_A = \frac{356.9}{1 + 161.2 x e^{(-0.0658 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₂₄₀	$B_A = \frac{406.5}{1 + 197.0 x e^{(-0.0633 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₃₂₀	$B_A = \frac{313.2}{1 + 220.6 x e^{(-0.0734 x D_{dt})}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹).

Para la acumulación de la biomasa en la inflorescencia, se presentó una tendencia sigmoidea, la mayor acumulación de biomasa fue a los 100 días después del trasplante, con un valor de 78.0 g planta⁻¹ para el tratamiento de la lámina de riego de 6 mm y dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹. Los valores encontrados para los tratamientos en estudio fueron muy parecidos (Cuadro 5.11).

Cuadro 5.11. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$B_t = \frac{81.9}{1 + 29.9 x e^{(-0.1761 x D_{dt})}}$	0.95
	N ₁₆₀	$B_t = \frac{80.8}{1 + 23.9 x e^{(-0.1834 x D_{dt})}}$	0.94
	N ₂₄₀	$B_t = \frac{81.4}{1 + 28.9 x e^{(-0.2008 x D_{dt})}}$	0.97
	N ₃₂₀	$B_t = \frac{75.1}{1 + 45.6 x e^{(-0.2312 x D_{dt})}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$B_t = \frac{68.2}{1 + 991.8 x e^{(-0.4952 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₁₆₀	$B_t = \frac{85.4}{1 + 45.2 x e^{(-0.2228 x D_{dt})}}$	0.96
	N ₂₄₀	$B_t = \frac{69.5}{1 + 422.2 x e^{(-0.4433 x D_{dt})}}$	0.97
	N ₃₂₀	$B_t = \frac{76.7}{1 + 122.5 x e^{(-0.3240 x D_{dt})}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y B_t = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

El cultivo de brócoli en los tratamientos estudiados tuvieron un tiempo de duración hasta la cosecha de 100 días, en los cuales acumuló 889.8 unidades térmicas.

La acumulación de la biomasa aérea expresada en unidades térmicas, tuvo una tendencia sigmoidea en los tratamientos estudiados, encontrándose una mayor acumulación en la lámina de riego con 6 mm y dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ con 301.0 g planta⁻¹ y la menor acumulación en la lámina de riego con 3 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 256.2 g planta⁻¹, siendo una diferencia mínima de 44 g planta⁻¹ no significativa (Cuadro 5.12).

Cuadro 5.12. Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$B_A = \frac{292.3}{1 + 447.8 x e^{(-0.0090 x U_T)}}$	0.96
	N ₁₆₀	$B_A = \frac{435.1}{1 + 392.3 x e^{(-0.0076 x U_T)}}$	0.93
	N ₂₄₀	$B_A = \frac{374.6}{1 + 583.1 x e^{(-0.0086 x U_T)}}$	0.98
	N ₃₂₀	$B_A = \frac{628.4}{1 + 167.7 x e^{(-0.0053 x U_T)}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$B_A = \frac{639.6}{1 + 300.1 x e^{(-0.0062 x U_T)}}$	0.96
	N ₁₆₀	$B_A = \frac{363.8}{1 + 313.3 x e^{(-0.0080 x U_T)}}$	0.95
	N ₂₄₀	$B_A = \frac{418.1}{1 + 376.8 x e^{(-0.0077 x U_T)}}$	0.96
	N ₃₂₀	$B_A = \frac{316.8}{1 + 470.2 x e^{(-0.0090 x U_T)}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), U_T = Unidades térmicas y B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹).

La inflorescencia del brócoli en los tratamientos estudiados tuvo un tiempo de duración desde el inicio de la formación de la inflorescencia hasta la cosecha de 30 días, en los cuales acumuló 244.5 unidades térmicas.

La acumulación de la biomasa en la inflorescencia expresada en unidades térmicas siguió una tendencia sigmoidea en los tratamientos en estudio, encontrándose una mayor acumulación en la lámina de riego con 6 mm y dosis de nitrógeno de 160 kg ha⁻¹ con 81.0 g planta⁻¹ y con la menor acumulación en la lámina de riego con 6 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 67.7 g planta⁻¹, obteniéndose una diferencia de 13 g planta⁻¹ (Cuadro 5.13).

Cuadro 5.13. Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$B_I = \frac{80.6}{1 + 35.5 x e^{(-0.0230 x U_T)}}$	0.95
	N ₁₆₀	$B_I = \frac{80.3}{1 + 28.5 x e^{(-0.0238 x U_T)}}$	0.94
	N ₂₄₀	$B_I = \frac{81.0}{1 + 35.5 x e^{(-0.0261 x U_T)}}$	0.97
	N ₃₂₀	$B_I = \frac{74.8}{1 + 58.4 x e^{(-0.0301 x U_T)}}$	0.97
L ₆	N ₈₀	$B_I = \frac{67.7}{1 + 4359.5 x e^{(-0.0731 x U_T)}}$	0.96
	N ₁₆₀	$B_I = \frac{84.7}{1 + 58.8 x e^{(-0.0293 x U_T)}}$	0.96
	N ₂₄₀	$B_I = \frac{68.8}{1 + 1613.1 x e^{(-0.0657 x U_T)}}$	0.97
	N ₃₂₀	$B_I = \frac{76.2}{1 + 209.6 x e^{(-0.0439 x U_T)}}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), U_T = Unidades térmicas y B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

La mayor tasa absoluta de acumulación se tuvo con la lámina de riego de 6 mm y 80 kg ha⁻¹ de nitrógeno aplicado con 7.5 g planta⁻¹ día⁻¹ a los 100 días después del trasplante (Cuadro 5.14).

Cuadro 5.14. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D _{dt}	B _{AO}	B _{AE}	T _{AA}
Láminas	Nitrógeno		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
L ₃	N ₈₀	1	0.2	1.4	0.1
		20	1.9	5.9	0.4
		40	12.5	24.3	1.6
		60	94.5	83.0	4.3
		80	177.7	184.6	4.9
		100	258.6	256.1	2.1
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₁₆₀	1	0.2	2.1	0.1
		20	1.8	6.9	0.4
		40	13.7	23.2	1.3
		60	81.6	70.9	3.6
		80	169.3	173.8	6.3
		100	299.8	298.7	5.4
		Valor t	- 0.02 NS		
	N ₂₄₀	1	0.2	1.4	0.1
		20	1.7	5.2	0.3
		40	16.6	20.4	1.3
		60	75.4	71.0	4.0
		80	179.7	181.4	6.4
		100	294.3	293.6	4.1
		Valor t	- 0.01 NS		
N ₃₂₀	1	0.2	5.6	0.2	
	20	2.9	13.1	0.5	
	40	20.7	31.4	1.3	
	60	94.7	71.8	2.8	
	80	137.2	149.1	4.9	
	100	265.6	263.8	6.2	
	Valor t	- 0.04 NS			

L₃ = Lámina de riego (3 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, B_{AO} = Biomasa aérea observada (g planta⁻¹), B_{AE} = Biomasa aérea estimada (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.14. Continuación...

Combinación		D _{dt}	B _{AO}	B _{AE}	T _{AA}
Láminas	Nitrógeno		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
L ₆	N ₈₀	1	0.2	3.5	0.1
		20	2.4	9.3	0.4
		40	9.4	25.3	1.2
		60	86.3	65.5	2.9
		80	143.6	152.0	5.7
		100	290.6	289.0	7.4
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₁₆₀	1	0.2	2.3	0.1
		20	2.4	8.0	0.5
		40	15.5	28.3	1.7
		60	101.0	86.8	4.3
		80	186.6	194.5	5.8
		100	293.6	291.6	3.5
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₂₄₀	1	0.2	2.1	0.1
		20	2.7	7.1	0.4
		40	19.7	24.4	1.4
		60	81.3	75.0	3.8
		80	178.2	181.0	6.3
		100	301.7	300.8	4.9
		Valor t	- 0.02 NS		
	N ₃₂₀	1	0.2	1.5	0.1
20		2.7	6.0	0.4	
40		19.8	24.6	1.6	
60		89.8	84.7	4.5	
80		190.1	193.1	5.4	
100		275.0	273.9	2.5	
Valor t		- 0.02 NS			

L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, B_{AO} = Biomasa aérea observada (g planta⁻¹), B_{AE} = Biomasa aérea estimada (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

5.1.5. Índice de la raíz

El análisis de la varianza para el índice de la raíz en brócoli, presentó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para dosis de nitrógeno en los muestreos a los 80 y 100 días después del trasplante (Cuadro A.34).

El índice de la raíz de brócoli, para las dosis de nitrógeno se encontraron diferencias mínimas entre 0.06 a 0.08 en los muestreos efectuados y el promedio en los tratamientos estudiados fue de 0.07 para los muestreos a los 80 y 100 días después del trasplante (Cuadro 5.15).

Cuadro 5.15. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el índice de la raíz de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	100	
Láminas de riego			
L ₃	0.07 a	0.06 a	
L ₆	0.06 a	0.07 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.01	0.03	
Dosis de nitrógeno			
N ₈₀	0.06 ab	0.08 a	
N ₁₆₀	0.06 b	0.07 ab	
N ₂₄₀	0.07 ab	0.06 ab	
N ₃₂₀	0.08 a	0.06 b	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.01	0.01	
Combinación			
L ₃	N ₈₀	0.06 a	0.07 a
	N ₁₆₀	0.07 a	0.06 a
	N ₂₄₀	0.08 a	0.06 a
	N ₃₂₀	0.08 a	0.06 a
L ₆	N ₈₀	0.07 a	0.08 a
	N ₁₆₀	0.06 a	0.07 a
	N ₂₄₀	0.06 a	0.06 a
	N ₃₂₀	0.07 a	0.07 a
DHS ($\alpha=0.05$)	0.03	0.04	

5.1.6. Índice de la cosecha

El análisis de la varianza para el índice de la cosecha en brócoli, no presentó diferencias significativas para láminas de riego, dosis de nitrógeno y sus respectivas combinaciones (Cuadro A.35).

El índice de cosecha medio considerando los tratamientos en estudio fue para el muestreo a los 80 días después del trasplante de 0.4 y en el muestreo a los 100 días después del trasplante, descendiendo hasta 0.2, siendo este valor bajo con el reportado de 0.3 por Castellanos (2001) (Cuadro 5.16).

Cuadro 5.16. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el índice de la cosecha de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	100	
	Láminas de riego		
L ₃	0.05 a	0.2 a	
L ₆	0.04 a	0.2 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.01 a	0.04	
	Dosis de nitrógeno		
N ₈₀	0.04 a	0.2 a	
N ₁₆₀	0.05 a	0.2 a	
N ₂₄₀	0.05 a	0.2 a	
N ₃₂₀	0.04 a	0.2 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.02	0.03	
	Combinación		
L ₃	N ₈₀	0.04 a	0.2 a
	N ₁₆₀	0.07 a	0.2 a
	N ₂₄₀	0.05 a	0.2 a
	N ₃₂₀	0.04 a	0.2 a
L ₆	N ₈₀	0.03 a	0.2 a
	N ₁₆₀	0.04 a	0.2 a
	N ₂₄₀	0.04 a	0.2 a
	N ₃₂₀	0.04 a	0.2 a
DHS ($\alpha=0.05$)	0.04	0.08	

5.1.7. Rendimiento de la inflorescencia en el tiempo

En el rendimiento de la inflorescencia se encontraron variaciones durante el transcurso de la cosecha, siendo los coeficientes de variación de 62.1, 23.3, 20.8, 1.7 y 13.6% para los 80, 85, 90, 95 y 100 días después del trasplante, respectivamente; indicándonos que conforme la madurez comercial de la inflorescencia aumenta, disminuye el coeficiente y la calidad del producto económico (Cuadro A.31).

En la Figura 5.5, no se apreciaron diferencias en los tratamientos estudiados debido a un efecto diferencial de la madurez comercial que fue afectado por el tiempo en el cual se efectuó la cosecha.

El mayor rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante, se presentó con la dosis de 160 kg de nitrógeno aplicado y la lámina de riego de 6 mm, con la cual el híbrido Avenger obtuvo 29.0 t ha⁻¹, siendo este valor alto con el reportado por Castellanos (2001) de 27. 0 t ha⁻¹ (Figura 5.6).

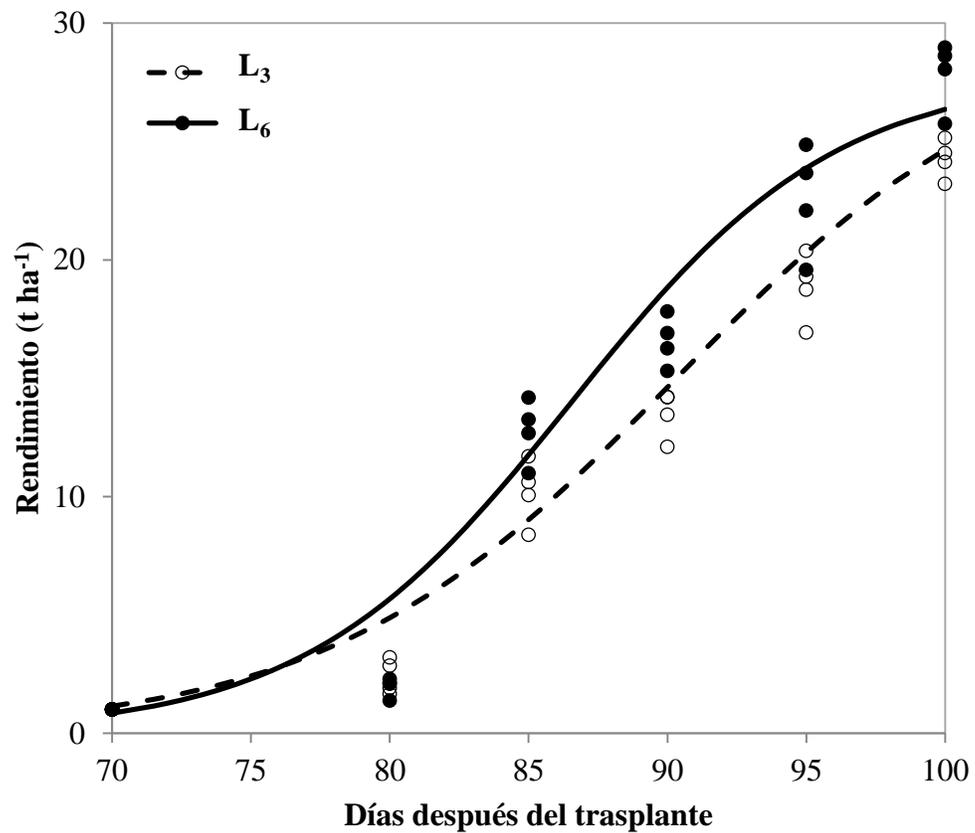


Figura 5.5. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 80, 85, 90, 95 y 100 días después del trasplante.

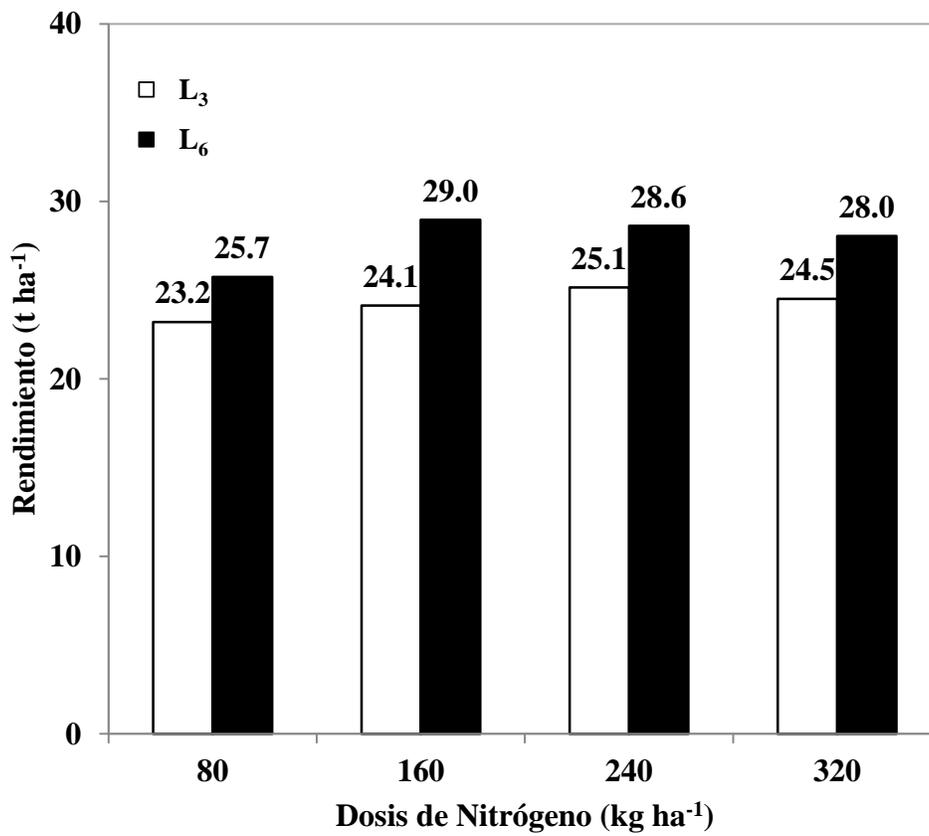


Figura 5.6. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

5.1.8. Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea e inflorescencia

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli, a los 100 días después del trasplante tuvo un incremento máximo 9328.9 mg planta⁻¹ con la dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹, siendo este aumento muy similar para las dos láminas de riego aplicadas. En la hoja diagnóstica el nitrógeno acumulado tuvo un promedio de 56.9 mg planta⁻¹ y no se apreciaron diferencias entre los tratamientos evaluados (Cuadro 5.17).

Cuadro 5.17. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	100	50 H _D	
mg planta ⁻¹								
Láminas de riego								
L ₃	6.1	107.6	834.3	3473.6	5572.5	7947.7	58.3	
L ₆	6.1	130.0	827.1	3691.1	6045.9	8173.7	55.4	
Dosis de nitrógeno								
N ₈₀	6.1	110.3	581.2	3645.7	5129.3	6881.4	60.1	
N ₁₆₀	6.1	105.8	792.2	3663.3	5765.8	8050.3	58.3	
N ₂₄₀	6.1	114.6	924.3	3261.5	6207.4	9536.1	56.7	
N ₃₂₀	6.1	145.5	1004.5	3743.3	6116.6	7835.9	53.0	
Combinación								
L ₃	N ₈₀	6.1	95.7	667.4	3695.5	5523.4	6509.5	59.5
	N ₁₆₀	6.1	97.1	749.1	3301.5	5274.7	8040.3	64.3
	N ₂₄₀	6.1	86.6	836.3	3064.3	6416.6	9735.3	55.4
	N ₃₂₀	6.1	152.5	1070.8	3819.0	4987.8	7607.2	54.3
L ₆	N ₈₀	6.1	125.4	496.4	3586.1	4706.7	7249.8	60.4
	N ₁₆₀	6.1	113.3	834.5	4018.5	6278.4	8058.3	52.6
	N ₂₄₀	6.1	143.5	1014.0	3464.5	5999.7	9328.9	57.8
	N ₃₂₀	6.1	138.6	940.0	3666.4	7299.9	8068.0	51.1

H_D = Hoja diagnóstica.

En la inflorescencia el nitrógeno acumulado, se incrementó en los cinco muestreos realizados, presentando valores que van en promedio desde 561.5 hasta 3489.6 mg planta⁻¹, por lo general los mayores aumentos fueron en la lámina de riego de 3 mm con la dosis de

nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ y para la lámina de riego de 6 mm con la dosis de 160 kg ha⁻¹, con 4999.2 y 3536.7 mg planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 5.18).

Cuadro 5.18. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante					
	80	85	90	95	100	
mg planta ⁻¹						
Láminas de riego						
L ₃	601.4	1717.7	2049.4	2414.5	3572.8	
L ₆	530.3	2163.9	2479.0	2858.4	3390.1	
Dosis de nitrógeno						
N ₈₀	443.1	1753.4	2137.0	2336.1	3009.6	
N ₁₆₀	662.1	1792.0	2100.3	2652.7	3381.6	
N ₂₄₀	610.0	2175.2	2400.7	2561.3	4195.6	
N ₃₂₀	545.9	2035.8	2414.4	3005.7	3360.3	
Combinación						
L ₃	N ₈₀	515.8	1461.8	1827.9	2107.6	2870.2
	N ₁₆₀	712.2	1652.0	2017.0	2277.4	3228.7
	N ₂₄₀	679.9	1902.4	2185.0	2482.3	4999.2
	N ₃₂₀	456.8	1851.3	2174.1	2797.3	3258.1
L ₆	N ₈₀	369.3	2028.0	2459.3	2569.4	3152.3
	N ₁₆₀	584.6	1937.4	2185.1	3055.1	3536.7
	N ₂₄₀	539.4	2465.2	2624.7	2641.5	3407.7
	N ₃₂₀	634.1	2227.7	2659.7	3189.4	3464.0

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea en el tiempo presentó una función sigmoidea, para los tratamientos en estudio. Durante todo el ciclo del cultivo se apreciaron mínimas diferencias del nitrógeno acumulado en los tratamientos evaluados, notándose que desde los 40 hasta los 80 días después del trasplante un incremento exponencial y a partir de este tiempo hasta la cosecha desciende el nitrógeno. El valor máximo obtenido fue de 9255.9 mg planta⁻¹ para la lámina de riego de 6 mm y la dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ (Cuadro 5.19).

Cuadro 5.19. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$N_A B_A = \frac{6382.2}{1 + 460.1 x e^{(-0.1058 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₁₆₀	$N_A B_A = \frac{9625.7}{1 + 93.2 x e^{(-0.0608 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₂₄₀	$N_A B_A = \frac{11757.5}{1 + 168.2 x e^{(-0.0668 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₃₂₀	$N_A B_A = \frac{8808.4}{1 + 53.5 x e^{(-0.0564 x D_{dt})}}$	0.98
L ₆	N ₈₀	$N_A B_A = \frac{8104.3}{1 + 83.9 x e^{(-0.0632 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₁₆₀	$N_A B_A = \frac{8236.2}{1 + 170.9 x e^{(-0.0821 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₂₄₀	$N_A B_A = \frac{11907.9}{1 + 90.7 x e^{(-0.0576 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₃₂₀	$N_A B_A = \frac{8314.0}{1 + 533.9 x e^{(-0.1015 x D_{dt})}}$	0.99

L₃ = Lámina de riego (1.5 mm), L₆ = Lámina de riego (3.0 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y N_AB_A = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (mg planta⁻¹).

El nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia en el tiempo presentó una función sigmoidea, para las láminas de riego y dosis de nitrógeno, notándose el mayor incremento a los 100 días después del trasplante. El menor valor se obtuvo con la lámina de riego de 3 mm y dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 2699.9 mg planta⁻¹ y el mayor valor se obtuvo con la lámina de riego de 3 mm y dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ con 4800.4 mg planta⁻¹ (Cuadro 5.20).

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea se obtuvo la mayor cantidad con 263 kg ha⁻¹ para la lámina de riego de 3 mm y 240kg ha⁻¹ de nitrógeno aplicado a los 100 días después del trasplante (Figura 5.7).

Cuadro 5.20. Función logística normal del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$N_{A}B_{I} = \frac{2991.5}{1 + 20.7 x e^{(-0.1753 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₁₆₀	$N_{A}B_{I} = \frac{3523.0}{1 + 15.7 x e^{(-0.1526 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₂₄₀	$N_{A}B_{I} = \frac{122800000000.0}{1 + 359100000.0 x e^{(-0.0881 x D_{dt})}}$	0.97
	N ₃₂₀	$N_{A}B_{I} = \frac{3207.3}{1 + 40.1 x e^{(-0.2381 x D_{dt})}}$	0.99
L ₆	N ₈₀	$N_{A}B_{I} = \frac{2774.3}{1 + 947.5 x e^{(-0.5151 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₁₆₀	$N_{A}B_{I} = \frac{3691.0}{1 + 27.0 x e^{(-0.1980 x D_{dt})}}$	0.99
	N ₂₄₀	$N_{A}B_{I} = \frac{2910.6}{1 + 1929.7 x e^{(-0.6122 x D_{dt})}}$	0.98
	N ₃₂₀	$N_{A}B_{I} = \frac{3302.6}{1 + 86.4 x e^{(-0.3267 x D_{dt})}}$	0.99

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y N_AB_I = Nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia (mg planta⁻¹).

La tasa absoluta de acumulación de brócoli en función del tiempo, se tuvieron los valores máximos entre los 60 y 80 días después del trasplante para las láminas de riego y dosis de nitrógeno evaluadas (Cuadro 5.21).

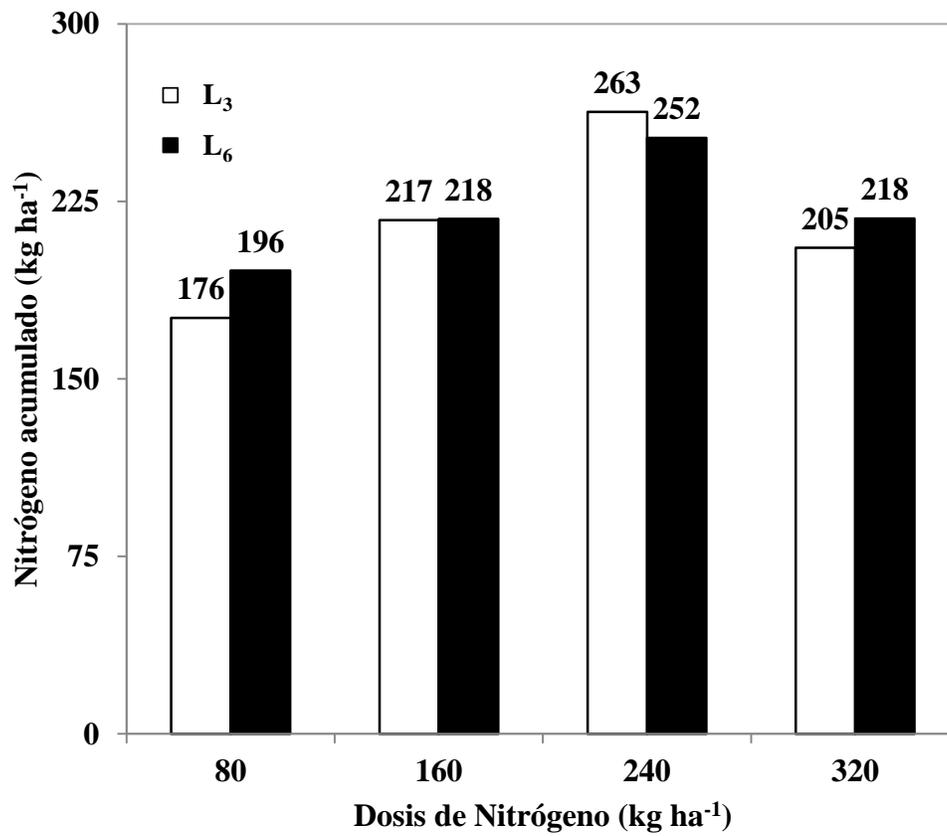


Figura 5.7. Efecto de láminas de riego y dosis de nitrógeno en el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Cuadro 5.21. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D _{dt}	N _A B _{AO}	N _A B _{AE}	T _{AA}
Láminas	Nitrógeno		mg planta ⁻¹		mg planta ⁻¹ día ⁻¹
L ₃	N ₈₀	1	6.1	15.3	1.6
		20	95.7	113.0	11.7
		40	667.4	830.7	76.4
		60	3695.5	3535.2	166.8
		80	5523.4	5817.6	54.4
		100	6509.5	6308.4	7.7
		Valor t	- 0.01 NS		
	N ₁₆₀	1	6.1	108.4	6.5
		20	97.1	336.0	19.7
		40	749.1	1046.9	56.7
		60	3301.5	2807.2	120.9
		80	5274.7	5596.5	142.4
		100	8040.3	7932.8	84.8
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₂₄₀	1	6.1	74.2	4.9
		20	86.6	260.0	16.9
		40	836.3	931.2	57.2
		60	3064.3	2898.6	145.8
		80	6416.6	6519.4	194.0
		100	9735.3	9707.1	113.0
		Valor t	- 0.02 NS		
	N ₃₂₀	1	6.1	170.5	9.4
		20	152.5	480.1	25.6
		40	1070.9	1331.6	63.7
		60	3819.0	3126.5	113.7
		80	4987.9	5546.0	115.8
		100	7607.2	7399.5	66.7
		Valor t	- 0.04 NS		

L₃ = Lámina de riego (3 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, N_AB_{AO} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada (mg planta⁻¹), N_AB_{AE} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea estimada (mg planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (mg planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.21. Continuación...

Combinación		D _{dt}	N _{ABAO}	N _{ABAE}	T _{AA}
Láminas	Nitrógeno		mg planta ⁻¹		mg planta ⁻¹ día ⁻¹
L ₆	N ₈₀	1	6.1	101.5	6.4
		20	125.4	327.6	19.8
		40	496.4	1052.7	57.7
		60	3586.1	2801.8	115.4
		80	4706.7	5280.4	116.9
		100	7249.8	7040.2	58.1
		Valor t	- 0.04 NS		
	N ₁₆₀	1	6.2	51.9	4.4
		20	113.3	241.4	19.6
		40	834.5	1112.5	78.8
		60	4018.5	3676.4	167.1
		80	6278.4	6641.5	105.6
		100	8058.3	7870.5	28.9
		Valor t	- 0.02 NS		
	N ₂₄₀	1	6.1	137.9	7.8
		20	143.5	401.4	22.3
		40	1014.0	1183.1	61.3
		60	3464.5	3081.6	131.5
		80	5999.7	6251.2	171.0
		100	9328.9	9259.8	118.6
		Valor t	- 0.03 NS		
	N ₃₂₀	1	6.1	17.2	1.7
		20	138.6	116.9	11.7
		40	940.0	814.3	74.5
		60	3666.4	3762.8	209.0
		80	7299.9	7174.3	99.8
		100	8068.0	8144.0	16.8
		Valor t	0.01 NS		

L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante, NS = No significativo, N_{ABAO} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada (mg planta⁻¹), N_{ABAE} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea estimada (mg planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (mg planta⁻¹ día⁻¹).

5.1.9. Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia

El nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia, se encontró el valor más alto en promedio con 44.8 mg plata⁻¹ en el muestreo realizado a los 90 días después del trasplante, y posteriormente desciende a 29.1 g plata⁻¹. Las diferencias del nitrato acumulado en los tratamientos en estudio fueron muy pequeñas (Cuadro 5.22).

Cuadro 5.22. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante					
	80	85	90	95	100	
mg planta ⁻¹						
Láminas de riego						
L ₃	2.9	11.3	44.0	31.2	28.0	
L ₆	2.1	14.3	45.8	37.7	30.2	
Dosis de nitrógeno						
N ₈₀	1.9	13.0	53.0	36.2	24.9	
N ₁₆₀	2.8	12.1	50.1	30.9	26.0	
N ₂₄₀	3.3	13.7	44.9	40.2	35.6	
N ₃₂₀	2.0	12.0	31.6	29.6	29.8	
Combinación						
L ₃	N ₈₀	2.3	10.9	42.9	28.4	22.9
	N ₁₆₀	3.4	11.1	56.4	23.7	23.5
	N ₂₄₀	4.3	12.3	45.3	48.8	39.8
	N ₃₂₀	1.7	10.2	31.3	24.7	26.3
L ₆	N ₈₀	1.5	14.8	64.1	44.8	27.0
	N ₁₆₀	2.3	13.2	43.4	39.0	28.7
	N ₂₄₀	2.4	15.1	44.0	31.3	31.6
	N ₃₂₀	2.3	13.9	31.3	34.9	33.4

El nitrato acumulado en el tiempo presentó una función cuadrática inversa, mostrando los valores más altos entre los 90 a 95 días después del trasplante y luego desciende levemente (Cuadro 5.23).

Esta respuesta del nitrógeno nos indicaría que el momento oportuno de cosecha no coincide con el momento de consumo debido a que esta elevación del contenido de nitrato puede

ocasionar problemas en la salud humana y animal. Sugiriéndose para el consumo del brócoli considerar este aspecto.

Cuadro 5.23. Función cuadrática inversa del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0009D_{dt}^2 - 0.0408D_{dt} + 0.4682}$	0.94
	N ₁₆₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0567D_{dt} + 0.6158}$	0.93
	N ₂₄₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0003D_{dt}^2 - 0.0175D_{dt} + 0.2368}$	0.96
	N ₃₂₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0004D_{dt}^2 - 0.0217D_{dt} + 0.3014}$	0.93
L ₆	N ₈₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0008D_{dt}^2 - 0.0361D_{dt} + 0.4092}$	0.96
	N ₁₆₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0005D_{dt}^2 - 0.0245D_{dt} + 0.3048}$	0.96
	N ₂₄₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0004D_{dt}^2 - 0.0198D_{dt} + 0.2523}$	0.92
	N ₃₂₀	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.0003D_{dt}^2 - 0.0187D_{dt} + 0.2688}$	0.97

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y NO_{3A}B_I = Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia (mg planta⁻¹).

5.1.10. Nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia

El nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia en promedio inició con 1.5 $\mu\text{g planta}^{-1}$ a los 80 días después del trasplante, encontrándose el valor más alto a los 90 días después del trasplante con 22.6 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y luego baja a 19.6 $\mu\text{g planta}^{-1}$ en el muestreo realizado a los 100 días después del trasplante (Cuadro 5.24).

Cuadro 5.24. Efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante					
	80	85	90	95	100	
$\mu\text{g planta}^{-1}$						
Láminas de riego						
L ₃	1.6	10.6	21.0	20.3	13.1	
L ₆	1.3	13.6	24.2	21.2	26.4	
Dosis de nitrógeno						
N ₈₀	1.1	13.9	24.4	20.9	25.7	
N ₁₆₀	1.5	8.7	21.3	23.0	13.8	
N ₂₄₀	2.3	10.3	20.6	21.0	17.2	
N ₃₂₀	1.0	15.1	23.8	18.1	21.4	
Combinación						
L ₃	N ₈₀	1.4	8.8	19.2	17.3	9.2
	N ₁₆₀	1.4	9.0	23.2	23.5	12.2
	N ₂₄₀	3.0	8.4	21.1	25.4	14.5
	N ₃₂₀	0.6	16.2	20.5	15.2	16.6
L ₆	N ₈₀	0.9	20.2	30.3	24.8	42.9
	N ₁₆₀	1.4	8.3	19.4	22.0	15.4
	N ₂₄₀	1.7	12.3	19.8	16.4	19.9
	N ₃₂₀	1.4	13.9	27.4	21.3	26.3

El nitrito acumulado en el tiempo presentó una función cuadrática inversa, indicando los valores más altos entre los 95 a 100 días después del trasplante y posterior a este muestreo descende. El valor más alto se encontró a los 100 días después del trasplante para el tratamiento con la lámina de riego de 6 mm y la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ con 41.1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ y a los 95 días después del trasplante para el tratamiento con la lámina de riego de 6 mm y la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ con 27.0 $\mu\text{g planta}^{-1}$ (Cuadro 5.25).

Cuadro 5.25. Función cuadrática inversa del efecto de las láminas de riego y dosis de nitrógeno sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Láminas	Nitrógeno		
L ₃	N ₈₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0616D_{dt} + 0.7334}$	0.98
	N ₁₆₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0541D_{dt} + 0.6523}$	0.98
	N ₂₄₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0009D_{dt}^2 - 0.0453D_{dt} + 0.5738}$	0.99
	N ₃₂₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0005D_{dt}^2 - 0.0252D_{dt} + 0.3346}$	0.91
L ₆	N ₈₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0001D_{dt}^2 - 0.0100D_{dt} + 0.1841}$	0.93
	N ₁₆₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0008D_{dt}^2 - 0.0414D_{dt} + 0.5420}$	0.98
	N ₂₄₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0004D_{dt}^2 - 0.0210D_{dt} + 0.3199}$	0.94
	N ₃₂₀	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.0003D_{dt}^2 - 0.0178D_{dt} + 0.2660}$	0.93

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), D_{dt} = Días después del trasplante y NO_{2A}B_I = Nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia (µg planta⁻¹).

5.1.11. Generación de la dosis de fertilización nitrogenada

El análisis conjunto de la información obtenida del rendimiento y nitrógeno acumulado bajo el efecto de los tratamientos con láminas de riego y dosis de nitrógeno, representados en tres cuadrantes, se puede apreciar el mayor efecto en la lámina de riego de 6 mm y una respuesta muy baja a la aplicación de las dosis crecientes de nitrógeno (cuadrantes a y b).

Los tres gráficos no son independientes; el cuadrante c) se construye a base de los cuadrantes a) y b), eliminando el punto extremo en el cual no se tiene respuesta (dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹) a la adición de dosis de nitrógeno (Figura 5.8).

Se aplicó una función lineal entre la dosis de nitrógeno y el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea, obteniéndose la ecuación:

$$N_{AB_A} = 0.44 DN + 148$$

Dónde:

N_{AB_A} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (kg ha⁻¹).

DN = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

0.44 = Eficiencia de la fertilización nitrogenada.

148 = Suministro de nitrógeno en el suelo (kg ha⁻¹).

El Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea correspondió a la demanda de nitrógeno (Figura 5.8).

Los valores obtenidos del suministro de nitrógeno en el suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada, se utilizaron en el modelo sistémico para obtener la dosis de nitrógeno estimada.

El coeficiente de determinación indica un buen ajuste entre las dosis de nitrógeno aplicado y el estimado, permitiendo predecir más del 90% en la variación.

Estos resultados preliminares indican la confiabilidad de los parámetros utilizados para determinar la dosis de nitrógeno (Cuadro 5.26).

Cuadro 5.26. Rendimiento, demanda de nitrógeno, dosis de nitrógeno (aplicado y estimado), suministro del suelo (148 kg ha^{-1}), eficiencia de aplicación del fertilizante (44%), para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Combinación		Rendimiento	Demanda de nitrógeno	Dosis de nitrógeno	
Láminas	N			Aplicado	Estimado
		t ha^{-1}	kg ha^{-1}		
L ₃	N ₈₀	23.2	175.7	80	64
	N ₁₆₀	24.1	217.0	160	160
	N ₂₄₀	25.1	262.8	240	266
	N ₃₂₀	24.5	205.4	320	-
L ₆	N ₈₀	25.7	195.7	80	110
	N ₁₆₀	28.9	217.5	160	161
	N ₂₄₀	28.6	251.8	240	241
	N ₃₂₀	28.0	217.8	320	-

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1}).

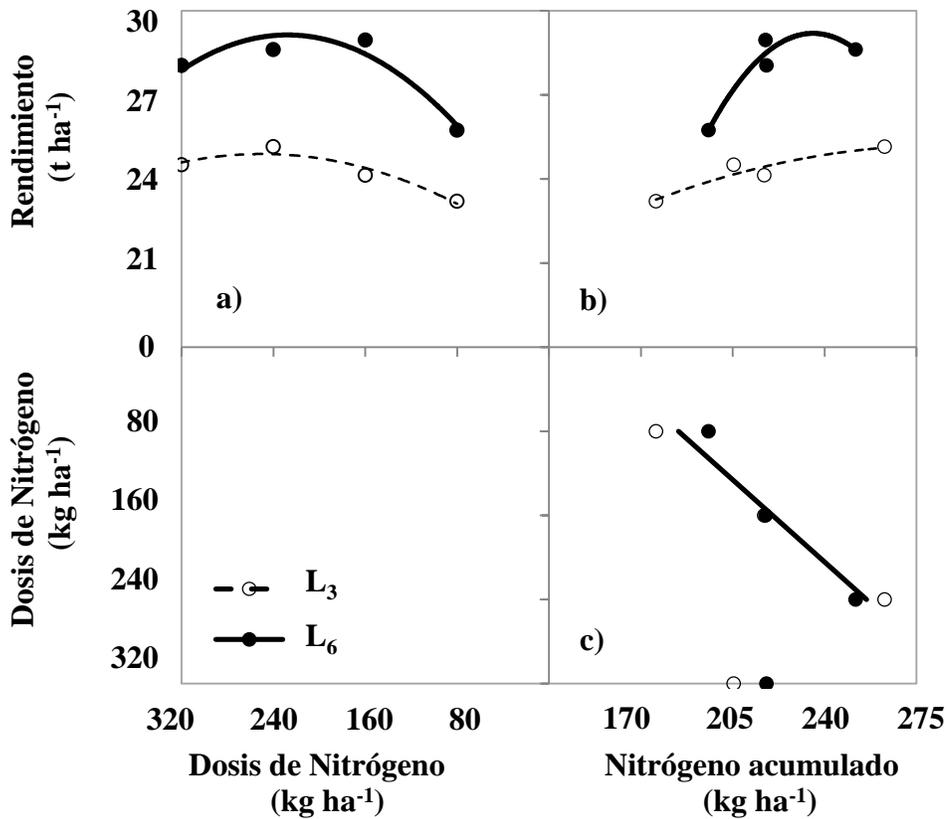


Figura 5.8. Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a), nitrógeno acumulado en la biomasa aérea y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (cuadrante c) en brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

5.2. Experimento 2: Dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha

5.2.1. Condiciones climáticas

La precipitación hasta los 90 días del desarrollo del cultivo fue de 180 mm, distribuyéndose la mayor cantidad en el último tercio del periodo de crecimiento del cultivo, contribuyendo a las necesidades hídricas del cultivo, las cuales afectaron la cantidad y frecuencia del riego, que debió ser suspendido al final del ciclo del cultivo (Figura 5.9).

Las temperaturas máximas diarias fluctuaron entre 30.9 y 19.1°C y las temperaturas mínimas diarias de 13.4 a 3.8°C. En el desarrollo del cultivo se presentaron periodos de altas temperaturas que fluctuaron entre 25 y 30.9°C. Estas temperaturas afectan directamente al brócoli acortando el desarrollo del cultivo, es así que este experimento duró en campo 90 días después del trasplante (Figura 5.9).

5.2.2. Condiciones edáficas

La humedad volumétrica se registró semanalmente, fluctuando entre 0.68 y 0.30 cm³ cm⁻³, en el último tercio del periodo de crecimiento disminuyó la humedad por debajo de capacidad de campo, debido a que el cultivo ya presentaba madurez comercial y las altas precipitaciones afectan directamente a la inflorescencia disminuyendo su calidad, se debió suspender la lámina de riego de 6 mm que se estaba aplicando diariamente, para prevenir este efecto del agua. La cantidad de agua aplicada no afectó el desarrollo del cultivo (Figura 5.10).

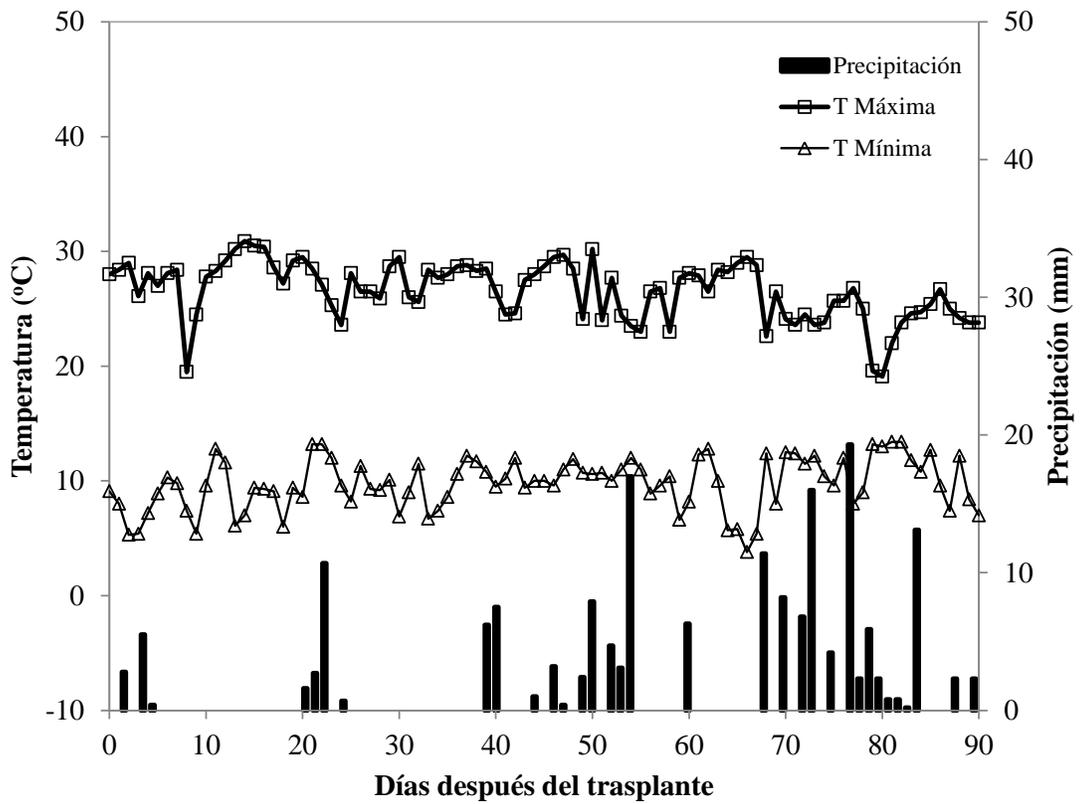


Figura 5.9. Temperatura (máxima y mínima) y precipitación diarias, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

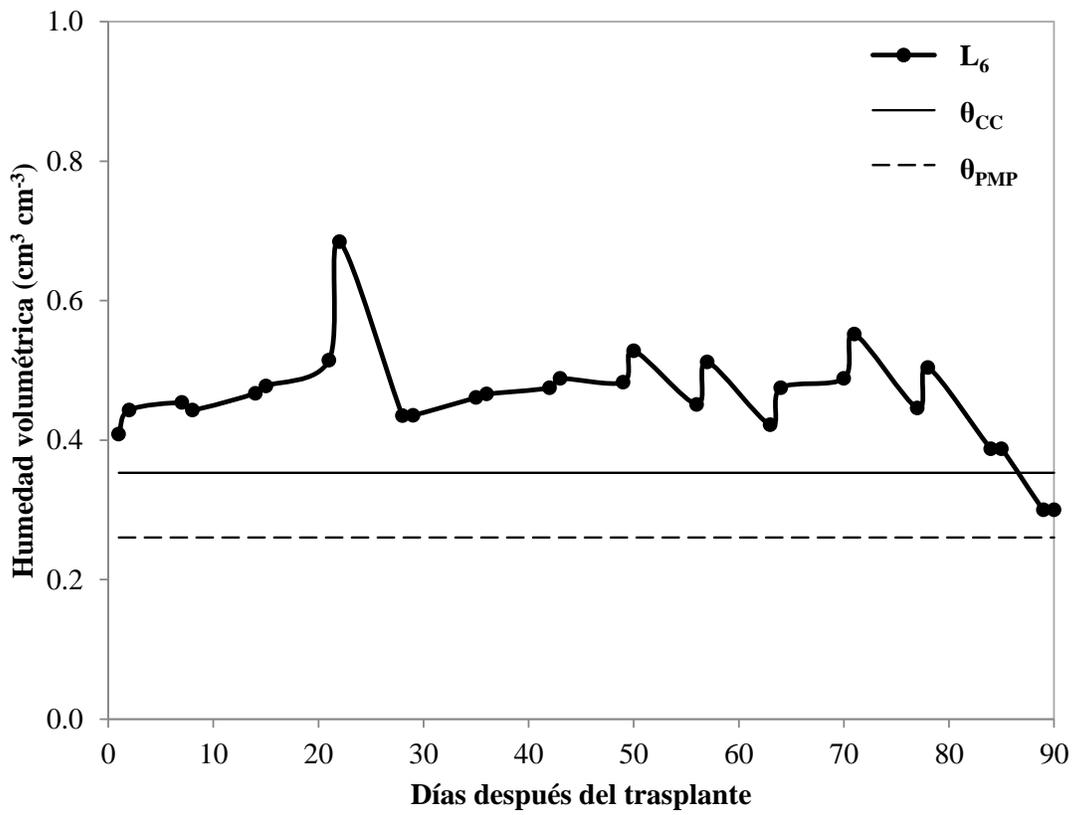


Figura 5.10. Humedad volumétrica semanal a 0.30 m de profundidad del suelo, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

5.2.3. Peso fresco aéreo e inflorescencia

El análisis de la varianza en el peso fresco aéreo, detectó significancia estadística ($\alpha = 0.05$) para repeticiones a los 40 y 80 días después del trasplante. Los coeficientes de variación en los muestreos efectuados estuvieron entre 38.6 y 18.8%, siendo confiables en condiciones de campo (Cuadro A.55). En las inflorescencias no se encontraron diferencias significativas. Los coeficientes de variación disminuyeron del 53.5 al 19.9%, debido al incremento de la madurez del producto comercial durante el tiempo de cosecha y también se apreció una disminución notable en la calidad (Cuadro A.56).

El promedio del peso fresco aéreo fue de 4533.2 g planta⁻¹ a los 100 días después del trasplante en los tratamientos evaluados (Cuadro 5.27).

El peso fresco de la hoja diagnóstico presentó un valor promedio de 6.0 g planta⁻¹, al combinar las dosis de nitrógeno sin los residuos de la cosecha se tuvo un efecto cuadrático y la combinación de las dosis de nitrógeno con los residuos de la cosecha con un efecto lineal (Cuadro 5.27).

El peso fresco de la inflorescencia en los muestreos realizados para las dosis de nitrógeno se tuvo valores similares. En cambio para los residuos de la cosecha en el muestreo a los 80 días después del trasplante la diferencia es de 30 g planta⁻¹ y para el muestreo a los 90 días después del trasplante este valor se incrementa a 300 g planta⁻¹ (Cuadro 5.28).

Cuadro 5.27. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	90	50 H _D	
Dosis de nitrógeno								
N ₈₀	0.7 a	4.9 a	108.7 a	771.7 a	2809.5 a	4259.1 a	5.7 a	
N ₁₆₀	0.7 a	6.3 a	121.7 a	909.6 a	3464.2 a	4290.7 a	5.8 a	
N ₂₄₀	0.7 a	5.9 a	113.8 a	1030.4 a	3029.5 a	4679.4 a	6.2 a	
N ₃₂₀	0.7 a	6.4 a	134.1 a	1017.8 a	3280.2 a	4903.7 a	6.6 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	3.9	59.3	625.1	1066.7	858.5	3.6	
Residuos de la cosecha								
R _S	0.7 a	6.2 a	120.1 a	897.8 a	3114.9 a	4409.4 a	5.6 a	
R _C	0.7 a	5.6 a	119.1 a	966.9 a	3176.8 a	4657.0 a	6.5 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	1.7	24.5	189.0	516.7	658.0	1.0	
Combinación								
N ₈₀	R _S	0.7 a	5.8 a	117.9 a	844.5 a	2526.9 a	3711.4 a	5.0 a
	R _C	0.7 a	4.1 a	99.5 a	698.9 a	3091.9 a	4806.8 a	6.4 a
N ₁₆₀	R _S	0.7 a	6.4 a	104.6 a	892.5 a	3777.8 a	3986.8 a	6.0 a
	R _C	0.7 a	6.3 a	138.8 a	926.6 a	3150.5 a	4594.4 a	5.7 a
N ₂₄₀	R _S	0.7 a	6.7 a	107.8 a	958.0 a	3157.0 a	4628.6 a	6.0 a
	R _C	0.7 a	5.2 a	119.9 a	1102.7 a	2901.8 a	4730.1 a	6.4 a
N ₃₂₀	R _S	0.7 a	5.9 a	150.0 a	896.1 a	2997.7 a	5310.6 a	5.6 a
	R _C	0.7 a	6.9 a	118.3 a	1139.5 a	3562.6 a	4496.7 a	7.6 a
DHS ($\alpha=0.05$)	-	9.2	131.3	1104.9	2680.8	3232.9	6.2	

H_D = Hoja diagnóstica.

El efecto de las dosis de nitrógeno para el peso fresco aéreo en el momento de la cosecha se presentó la función cuadrática, estimándose la cantidad máxima para los tratamientos sin residuos de la cosecha con 3587.2 g planta⁻¹ y con residuos de la cosecha de 4416.0 g planta⁻¹ y para la inflorescencia sin residuos de la cosecha con 1566.1 g planta⁻¹, mientras que para el tratamientos con residuos de la cosecha con 1556.5 g planta⁻¹ (Cuadro 5.29 y Figura 5.11).

Los coeficientes de determinación (R²) obtenidos son bajos debido a la variabilidad espacial de la fertilidad del sitio experimental (Cuadro 5.29).

Cuadro 5.28. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	90	
g planta ⁻¹			
Dosis de nitrógeno			
N ₈₀	242.9 a	1405.4 a	
N ₁₆₀	383.9 a	1495.0 a	
N ₂₄₀	344.8 a	1562.0 a	
N ₃₂₀	381.9 a	1570.8 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	358.1	816.3	
Residuos de la cosecha			
R _S	316.6 a	1380.2 a	
R _C	360.1 a	1636.4 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	139.5	347.6	
Combinación			
N ₈₀	R _S	173.2 a	1060.6 a
	R _C	312.5 a	1750.1 a
N ₁₆₀	R _S	433.8 a	1352.8 a
	R _C	334.0 a	1637.2 a
N ₂₄₀	R _S	390.2 a	1601.4 a
	R _C	299.2 a	1522.5 a
N ₃₂₀	R _S	269.1 a	1505.8 a
	R _S	494.6 a	1635.6 a
DHS ($\alpha=0.05$)		757.1	1848.5

Cuadro 5.29. Función cuadrática del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo e inflorescencia de brócoli.

Residuos	Ecuación	R ²	PF máximo
Peso fresco aéreo			
R _S	PF _A = 0.0159 N ² + 0.44 N + 3577.8	0.44	3587.2
R _C	PF _A = - 0.0008 N ² - 0.66 N + 4829.3	0.02	4416.0
Peso fresco de la inflorescencia			
R _S	PF _I = -0.01 N ² + 8.03 N + 499.3	0.18	1566.1
R _C	PF _I = 0.008 N ² - 4.1 N + 2033.3	0.03	1556.5

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, PF_A = Peso fresco aéreo (g planta⁻¹) y PF_I = Peso fresco de la inflorescencia (g planta⁻¹).

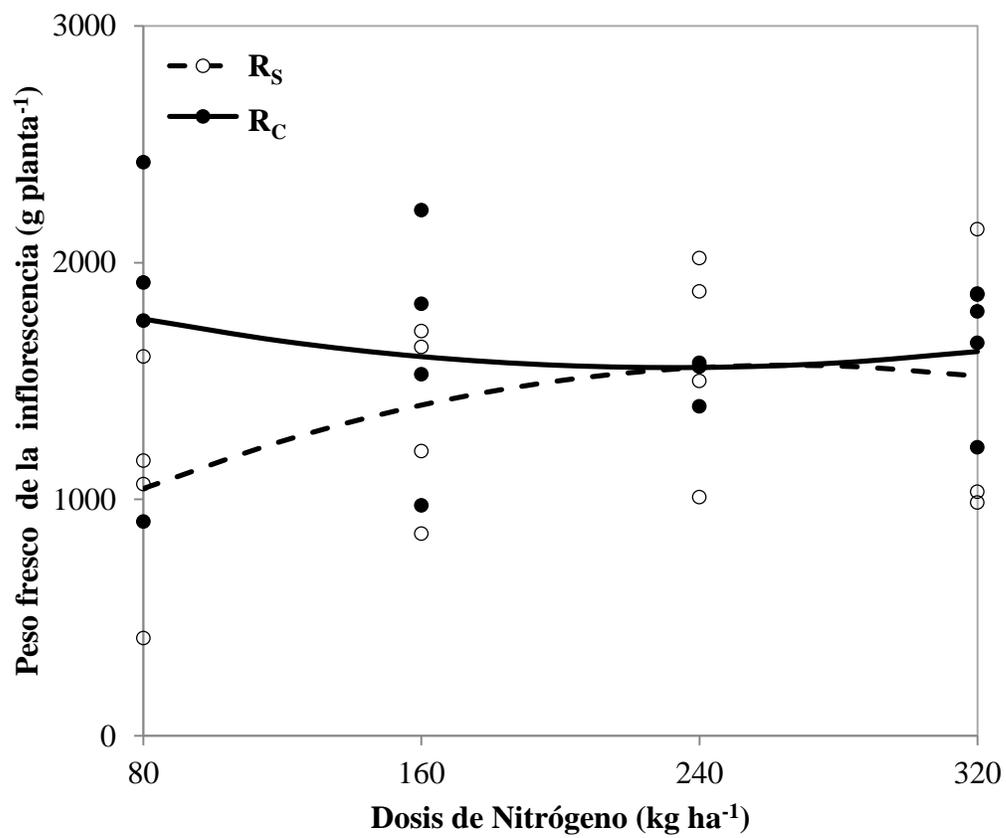


Figura 5.11. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el peso fresco de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

La acumulación del peso fresco aéreo presentó una tendencia sigmoidea para las dosis de nitrógeno aplicadas. En el desarrollo del cultivo se apreciaron mínimas diferencias entre los tratamientos estudiados. La mayor acumulación de peso fresco se tuvo con la dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha de 5306.05 g planta⁻¹ (Cuadro 5.30).

Cuadro 5.30. Función logística normal de efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$PF_A = \frac{5938.9}{1 + 738.7 x e^{(-0.0790 x D_{dt})}}$	0.97
	R _C	$PF_A = \frac{7229.1}{1 + 3275.1 x e^{(-0.0980 x D_{dt})}}$	0.98
N ₁₆₀	R _S	$PF_A = \frac{4035.4}{1 + 417764.0 x e^{(-0.1950 x D_{dt})}}$	0.96
	R _C	$PF_A = \frac{6826.0}{1 + 1195.7 x e^{(-0.0870 x D_{dt})}}$	0.96
N ₂₄₀	R _S	$PF_A = \frac{6949.5}{1 + 1138.8 x e^{(-0.0860 x D_{dt})}}$	0.94
	R _C	$PF_A = \frac{13231.9}{1 + 640.6 x e^{(-0.0652 x D_{dt})}}$	0.97
N ₃₂₀	R _S	$PF_A = \frac{21917.4}{1 + 1616.3 x e^{(-0.0694 x D_{dt})}}$	0.96
	R _C	$PF_A = \frac{5211.0}{1 + 1909.0 x e^{(-0.1042 x D_{dt})}}$	0.95

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y PF_A = Peso fresco aéreo (g planta⁻¹).

La variación del peso fresco en la inflorescencia se ajustó a un modelo sigmoideo, encontrándose la mayor acumulación con la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha de 1060.6 g planta⁻¹ y con la menor acumulación en la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha de 1750.1 g planta⁻¹ (Cuadro 5.31).

Para la inflorescencia en todos los tratamientos evaluados se mantienen los incrementos, en los muestreos realizados, notándose que a partir del muestreo a los 70 días después del

trasplante, notándose en el producto económico un tamaño demasiado grande que excede los estándares comerciales requeridos para la exportación (Cuadro 5.31).

La mayor tasa absoluta de acumulación se encontró en la dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha con 279.0 g planta⁻¹ día⁻¹ a los 100 días después del trasplante (Cuadro 5.32).

Cuadro 5.31. Función logística normal de efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$PF_I = \frac{1202.7}{1 + 1755.9 x e^{(-0.3792 x D_{dt})}}$	0.86
	R _C	$PF_I = \frac{1877.3}{1 + 2865.0 x e^{(-0.4233 x D_{dt})}}$	0.91
N ₁₆₀	R _S	$PF_I = \frac{1382.4}{1 + 2189.6 x e^{(-0.4606 x D_{dt})}}$	0.90
	R _C	$PF_I = \frac{1729.7}{1 + 2658.5 x e^{(-0.4304 x D_{dt})}}$	0.92
N ₂₄₀	R _S	$PF_I = \frac{1662.3}{1 + 2593.1 x e^{(-0.4453 x D_{dt})}}$	0.93
	R _C	$PF_I = \frac{1621.7}{1 + 2471.0 x e^{(-0.4218 x D_{dt})}}$	0.99
N ₃₂₀	R _S	$PF_I = \frac{1628.9}{1 + 2459.0 x e^{(-0.4125 x D_{dt})}}$	0.89
	R _C	$PF_I = \frac{1671.7}{1 + 2668.2 x e^{(-0.4682 x D_{dt})}}$	0.94

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y PF_I = Peso fresco de la inflorescencia (g planta⁻¹).

Cuadro 5.32. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el peso fresco aéreo observado, estimado y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D _{dt}	PF _{AO}	PF _{AE}	T _{AA}
Nitrógeno	Residuos		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
N ₈₀	R _S	1	0.7	8.6	0.6
		20	5.8	38.7	3.0
		40	117.9	183.6	14.0
		60	844.5	796.6	54.4
		80	2526.9	2549.3	114.9
		90	3711.4	3703.8	110.1
		Valor t	- 0.01 NS		
	R _C	1	0.7	2.4	0.2
		20	4.1	15.4	1.5
		40	99.5	107.4	10.3
		60	698.9	692.9	61.0
		80	3091.9	3086.8	172.4
		90	4806.8	4799.6	157.2
		Valor t	- 0.00 NS		
N ₁₆₀	R _S	1	0.7	0.0	0.0
		20	6.4	0.4	0.0
		40	104.6	23.3	4.5
		60	892.5	899.6	136.2
		80	3777.8	3768.9	48.5
		90	3986.8	3995.1	7.7
		Valor t	0.01 NS		
	R _C	1	0.7	6.2	0.5
		20	6.3	32.1	02.7
		40	138.8	178.3	15.0
		60	926.6	900.1	67.7
		80	3150.5	3156.6	147.1
		90	4594.4	4585.9	130.4
		Valor t	- 0.01 NS		

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, PF_{AO} = Peso fresco aéreo observado (g planta⁻¹), PF_{AE} = Peso fresco aéreo estimado (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.32. Continuación...

Combinación		D_{dt}	PF_{AO}	PF_{AE}	T_{AA}
Nitrógeno	Residuos		g planta⁻¹		g planta⁻¹ día⁻¹
N₂₄₀	R_S	1	0.7	6.6	0.5
		20	6.7	33.7	2.8
		40	107.8	183.8	15.3
		60	958.0	912.3	68.0
		80	3157.0	3173.6	147.9
		90	4628.6	4619.2	132.8
		Valor t	- 0.01 NS		
	R_C	1	0.7	22.0	1.4
		20	5.2	75.6	4.9
		40	119.9	274.5	17.5
		60	1102.7	957.9	57.9
		80	2901.8	2954.9	149.6
		90	4730.1	4705.5	197.7
	Valor t	- 0.02 NS			
N₃₂₀	R_S	1	0.7	14.5	1.0
		20	5.9	54.2	3.7
		40	150.0	215.5	14.8
		60	896.1	838.9	55.9
		80	2997.7	3014.4	180.4
		90	5310.6	5303.4	279.0
		Valor t	- 0.01 NS		
	R_C	1	0.7	3.0	0.3
		20	6.9	21.8	2.2
		40	118.3	170.5	17.1
		60	1139.5	1113.9	91.2
		80	3562.6	3574.9	116.9
		90	4496.7	4486.7	64.9
	Valor t	- 0.01 NS			

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, PF_{AO} = Peso fresco aéreo observado (g planta⁻¹), PF_{AE} = Peso fresco aéreo estimado (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

5.2.4. Biomasa aérea e inflorescencia

El análisis de la varianza en la biomasa aérea encontró significancia estadística ($\alpha = 0.05$) para repeticiones a los 40 días después del trasplante. Los coeficientes de variación en los muestreos efectuados están entre 36.7 y 20.48%, siendo aceptables para condiciones de campo (Cuadro A.57). En las inflorescencias no se encontraron diferencias significativas. Los coeficientes de variación disminuyeron del 48.5 al 37.9%, en los muestreos a los 80 y 90 días después del trasplante, respectivamente (Cuadro A.58).

La biomasa aérea promedio en las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha fue similar en todos los muestreos realizados. La biomasa de la hoja diagnóstico tuvo un promedio de $0.7 \text{ g planta}^{-1}$, al combinar las dosis de nitrógeno sin los residuos de la cosecha se tuvo un efecto cuadrático y la combinación de las dosis de nitrógeno con los residuos de la cosecha con un efecto lineal (Cuadro 5.33).

Cuadro 5.33. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	90	50 H _D	
	g planta⁻¹							
	Dosis de nitrógeno							
N ₈₀	0.1 a	1.0 a	16.8 a	83.4 a	267.7 a	344.2 a	0.7 a	
N ₁₆₀	0.1 a	1.3 a	17.5 a	97.1 a	314.7 a	340.9 a	0.7 a	
N ₂₄₀	0.1 a	1.2 a	17.0 a	107.3 a	298.1 a	358.8 a	0.7 a	
N ₃₂₀	0.1	1.3 a	19.7 a	109.2 a	300.5 a	403.3	0.8 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	0.7	8.1	65.1	105.4	62.4	0.4	
	Residuos de la cosecha							
R _S	0.1 a	1.2 a	18.0 a	95.7 a	288.3 a	355.6 a	0.6 a	
R _C	0.1 a	1.1 a	17.5 a	102.9 a	302.2 a	368.0 a	0.7 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	-	0.3	3.4	21.0	54.0	56.9	0.1	
	Combinación							
N ₈₀	R _S	0.1 a	1.1 a	18.0 a	91.9 a	243.1 a	311.3 a	0.6 a
	R _C	0.1 a	0.8 a	15.6 a	75.0 a	292.3 a	377.2 a	0.7 a
N ₁₆₀	R _S	0.1 a	1.3 a	15.7 a	94.6 a	349.8 a	314.8 a	0.7 a
	R _C	0.1 a	1.2 a	19.4 a	99.7 a	279.5 a	366.9 a	0.6 a
N ₂₄₀	R _S	0.1 a	1.3 a	16.3 a	100.6 a	298.1 a	358.2 a	0.7 a
	R _C	0.1 a	1.0 a	17.7 a	114.1 a	298.0 a	359.3 a	0.7 a
N ₃₂₀	R _S	0.1 a	1.2 a	22.1 a	95.8 a	262.0 a	437.9 a	0.6 a
	R _S	0.1 a	1.4 a	17.3 a	122.6 a	338.9 a	368.6 a	0.9 a
DHS ($\alpha=0.05$)	-	1.8	18.1	120.2	277.6	276.7	0.6	

H_D = Hoja diagnóstica

Para la biomasa de la inflorescencia no se encontraron diferencias en los tratamientos estudiados en los muestreos realizados (Cuadro 5.34).

El efecto de las dosis de nitrógeno para la biomasa aérea en el momento de la cosecha se tuvo una función cuadrática, estimándose una cantidad máxima para los tratamientos con residuos de la cosecha de 363.1 g planta⁻¹ y sin residuos de la cosecha de 308.6 g planta⁻¹ y para la inflorescencia sin residuos de la cosecha con 238.4 g planta⁻¹, mientras que para el tratamientos con residuos de la cosecha con 102.7 g planta⁻¹ (Cuadro 5.35 y Figura 5.12).

Cuadro 5.34. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	90	
g planta ⁻¹			
Dosis de nitrógeno			
N ₈₀	23.7 a	102.9 a	
N ₁₆₀	33.9 a	110.0 a	
N ₂₄₀	31.5 a	100.7 a	
N ₃₂₀	33.1 a	126.1 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	28.6	61.7	
Residuos de la cosecha			
R _S	29.3 a	105.1 a	
R _C	31.7 a	114.9 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	11.4	32.1	
Combinación			
N ₈₀	R _S	17.5 a	81.5 a
	R _C	29.8 a	124.3 a
N ₁₆₀	R _S	39.2 a	100.3 a
	R _C	28.6 a	119.7 a
N ₂₄₀	R _S	36.0 a	110.5 a
	R _C	26.9 a	90.9 a
N ₃₂₀	R _S	24.5 a	127.6 a
	R _S	41.6 a	124.6 a
DHS ($\alpha=0.05$)		61.7	164.0

Cuadro 5.35. Función cuadrática del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea e inflorescencia de brócoli.

Residuos	Ecuación	R ²	P _{SB} máxima
Biomasa aérea			
R _S	B _A = 0.0030 N ² - 0.66 N + 345.0	0.39	308.6
R _C	B _A = 0.0008 N ² - 0.34 N + 400.8	0.02	363.1
Biomasa de la inflorescencia			
R _S	B _I = - 0.00006 N ² + 0.2 N + 65.8	0.15	238.4
R _C	B _I = 0.001 N ² - 0.6 N + 169.9	0.10	102.7

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹) y B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

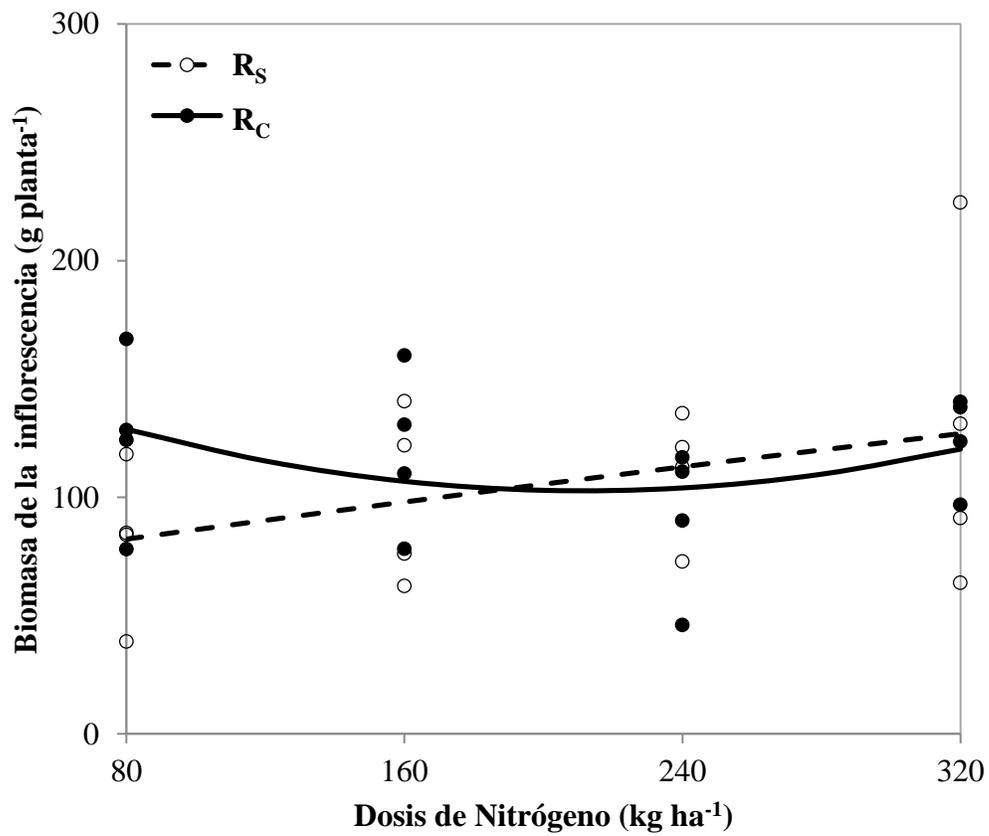


Figura 5.12. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en la biomasa de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

La acumulación de la biomasa aérea tuvo una tendencia sigmoidea, con una fase lineal hasta los 40 días después del trasplante, luego fue exponencial hasta los 70 días después del trasplante y finalmente una fase decreciente, encontrándose una mayor acumulación en la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha con 377.7 g planta⁻¹ y con la menor acumulación en la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 310.7 g planta⁻¹ a los 90 días después del trasplante (Cuadro 5.36).

Cuadro 5.36. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$B_A = \frac{387.2}{1 + 587.2 x e^{(-0.0900 x D_{dt})}}$	0.97
	R _C	$B_A = \frac{442.4}{1 + 3646.3 x e^{(-0.1100 x D_{dt})}}$	0.98
N ₁₆₀	R _S	$B_A = \frac{331.9}{1 + 54420000000.0 x e^{(-0.4300 x D_{dt})}}$	0.95
	R _C	$B_A = \frac{472.3}{1 + 663.5 x e^{(-0.0900 x D_{dt})}}$	0.96
N ₂₄₀	R _S	$B_A = \frac{400.8}{1 + 1864.8 x e^{(-0.1100 x D_{dt})}}$	0.94
	R _C	$B_A = \frac{405.4}{1 + 1030.2 x e^{(-0.1000 x D_{dt})}}$	0.98
N ₃₂₀	R _S	$B_A = \frac{332.7}{1 + 344310000.0 x e^{(-0.3200 x D_{dt})}}$	0.89
	R _C	$B_A = \frac{384.0}{1 + 6797.4 x e^{(-0.1300 x D_{dt})}}$	0.96

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹).

La acumulación de la biomasa en la inflorescencia, se presentó una tendencia sigmoidea, la mayor acumulación de biomasa fue a los 90 días después del trasplante, con un valor de 127.6 g planta⁻¹ para el tratamiento con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha (Cuadro 5.37).

Cuadro 5.37. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$B_I = \frac{160.6}{1 + 197.5 x e^{(-0.2126 x D_{dt})}}$	0.89
	R _C	$B_I = \frac{169.4}{1 + 217.5 x e^{(-0.2560 x D_{dt})}}$	0.93
N ₁₆₀	R _S	$B_I = \frac{109.9}{1 + 146.1 x e^{(-0.2931 x D_{dt})}}$	0.86
	R _C	$B_I = \frac{165.2}{1 + 211.4 x e^{(-0.2529 x D_{dt})}}$	0.88
N ₂₄₀	R _S	$B_I = \frac{127.7}{1 + 167.6 x e^{(-0.2793 x D_{dt})}}$	0.94
	R _C	$B_I = \frac{114.1}{1 + 145.9 x e^{(-0.2540 x D_{dt})}}$	0.84
N ₃₂₀	R _S	$B_I = \frac{225.5}{1 + 284.4 x e^{(-0.2367 x D_{dt})}}$	0.81
	R _C	$B_I = \frac{140.8}{1 + 187.1 x e^{(-0.2910 x D_{dt})}}$	0.95

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

El cultivo de brócoli en los tratamientos evaluados tuvieron un tiempo de duración hasta la cosecha de 90 días, en los cuales acumuló 1238.1 unidades térmicas.

La acumulación de la biomasa aérea expresada en unidades térmicas, tuvo una tendencia sigmoidea en los tratamientos estudiados, encontrándose una mayor acumulación con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 437.0 g planta⁻¹ y la menor acumulación en la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha sin 437.0 g planta⁻¹ (Cuadro 5.38).

Cuadro 5.38. Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R²
Nitrógeno	Residuos		
N₈₀	R_S	$B_A = \frac{393.8}{1 + 692.7 x e^{(-0.0063 x U_T)}}$	0.97
	R_C	$B_A = \frac{445.3}{1 + 4913.7 x e^{(-0.0082 x U_T)}}$	0.98
N₁₆₀	R_S	$B_A = \frac{330.4}{1 + 18688485.0 x e^{(-0.0195 x U_T)}}$	0.94
	R_C	$B_A = \frac{480.9}{1 + 790.4 x e^{(-0.0063 x U_T)}}$	0.96
N₂₄₀	R_S	$B_A = \frac{403.7}{1 + 2384.1 x e^{(-0.0079 x U_T)}}$	0.94
	R_C	$B_A = \frac{409.5}{1 + 1251.0 x e^{(-0.0073 x U_T)}}$	0.98
N₃₂₀	R_S	$B_A = \frac{2722.8}{1 + 1154.5 x e^{(-0.0043 x U_T)}}$	0.95
	R_C	$B_A = \frac{385.2}{1 + 9398.9 x e^{(-0.0010 x U_T)}}$	0.96

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, U_T = Unidades térmicas y B_A = Biomasa aérea (g planta⁻¹).

La inflorescencia del brócoli en los tratamientos evaluados tuvo un tiempo de duración desde el inicio de la formación de la inflorescencia hasta la cosecha de 25 días, en los cuales acumuló 326.5 unidades térmicas.

La acumulación de la biomasa en la inflorescencia expresada en unidades térmicas siguió una tendencia sigmoidea en los tratamientos en estudio, encontrándose una mayor acumulación en con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 127.6 g planta⁻¹ y la menor acumulación en la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha sin 81.5 g planta⁻¹, obteniéndose una diferencia de 46 g planta⁻¹ (Cuadro 5.39).

La mayor tasa absoluta de acumulación se encontró en la dosis de nitrógeno de 160 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 29.9 g planta⁻¹ día⁻¹ a los 60 días después del trasplante (Cuadro 5.40).

Cuadro 5.39. Función logística normal en unidades térmicas del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$B_I = \frac{158.5}{1 + 192.4 x e^{(-0.0163 x U_T)}}$	0.89
	R _C	$B_I = \frac{168.4}{1 + 213.1 x e^{(-0.0196 x U_T)}}$	0.88
N ₁₆₀	R _S	$B_I = \frac{109.8}{1 + 143.3 x e^{(-0.0224 x U_T)}}$	0.86
	R _C	$B_I = \frac{164.2}{1 + 207.1 x e^{(-0.0194 x U_T)}}$	0.93
N ₂₄₀	R _S	$B_I = \frac{127.4}{1 + 164.4 x e^{(-0.0214 x U_T)}}$	0.88
	R _C	$B_I = \frac{113.7}{1 + 143.1 x e^{(-0.0194 x U_T)}}$	0.84
N ₃₂₀	R _S	$B_I = \frac{222.9}{1 + 277.3 x e^{(-0.0181 x U_T)}}$	0.81
	R _C	$B_I = \frac{140.5}{1 + 183.5 x e^{(-0.0223 x U_T)}}$	0.95

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, U_T = Unidades térmicas y B_I = Biomasa de la inflorescencia (g planta⁻¹).

Cuadro 5.40. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D _{dt}	B _{AO}	B _{AE}	T _{AA}
Nitrógeno	Residuos		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
N ₈₀	R _S	1	0.1	0.7	0.0
		20	1.1	3.6	0.3
		40	18.0	19.8	1.6
		60	91.9	90.2	5.9
		80	243.1	244.3	7.7
		90	311.3	310.64	5.3
		Valor t	- 0.01 NS		
	R _C	1	0.1	0.1	0.0
		20	0.9	1.1	0.1
		40	15.6	9.9	1.0
		60	75.0	76.8	7.0
		80	292.3	291.1	11.0
		90	377.2	377.5	6.1
Valor t		0.01 NS			
N ₁₆₀	R _S	1	0.1	0.0	0.0
		20	1.3	0.0	0.0
		40	15.7	0.0	0.0
		60	94.6	97.9	29.9
		80	349.8	331.7	0.0
		90	314.8	331.9	0.0
		Valor t	0.03 NS		
	R _C	1	0.1	0.7	0.0
		20	1.2	3.9	0.3
		40	19.4	21.2	1.7
		60	99.7	98.2	6.6
		80	279.5	280.7	9.7
		90	366.9	366.5	7.0
Valor t		- 0.01 NS			

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, B_{AO} = Biomasa aérea observada (g planta⁻¹), B_{AE} = Biomasa aérea estimada (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.40. Continuación...

Combinación		D _{dt}	B _{AO}	B _{AE}	T _{AA}
Nitrógeno	Residuos		g planta ⁻¹		g planta ⁻¹ día ⁻¹
N ₂₄₀	R _S	1	0.1	0.2	0.0
		20	1.3	1.8	0.2
		40	16.3	15.1	1.5
		60	100.6	101.0	8.1
		80	298.1	297.7	8.2
		90	358.2	358.4	4.0
		Valor t	0.00 NS		
	R _C	1	0.1	0.4	0.0
		20	1.0	2.8	0.2
		40	17.7	20.1	1.9
		60	114.1	112.6	8.1
		80	298.0	299.4	7.8
		90	359.4	358.5	4.1
		Valor t	- 0.01 NS		
N ₃₂₀	R _S	1	0.1	0.0	0.0
		20	1.2	0.0	0.0
		40	22.1	0.2	0.0
		60	95.8	107.9	23.0
		80	262.0	331.4	0.3
		90	437.9	332.6	0.0
		Valor t	0.08 NS		
	R _C	1	0.1	0.0	0.0
		20	1.4	0.8	0.1
		40	17.4	12.0	1.5
		60	122.6	124.3	11.3
		80	338.9	336.5	5.6
		90	368.6	370.4	1.7
		Valor t	0.01 NS		

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, B_{AO} = Biomasa aérea observada (g planta⁻¹), B_{AE} = Biomasa aérea estimada (g planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (g planta⁻¹ día⁻¹).

5.2.5. Índice de la raíz

El análisis de la varianza para el índice de la raíz en brócoli, presentó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para repeticiones y residuos de la cosecha a los 80 días después del trasplante (Cuadro A.59).

El índice de la raíz de brócoli, para los residuos de la cosecha presentó diferencias entre 0.06 a 0.07 en el muestreo a los 80 días después del trasplante. El promedio de los tratamientos estudiados fue de 0.07 y 0.08 para los 80 y 90 días después del trasplante, respectivamente (Cuadro 5.41).

Cuadro 5.41. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el índice de la raíz de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	90	
Dosis de nitrógeno			
N ₈₀	0.07 a	0.07 a	
N ₁₆₀	0.07 a	0.07 a	
N ₂₄₀	0.07 a	0.08 a	
N ₃₂₀	0.07 a	0.08 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.01	0.02	
Residuos de la cosecha			
R _S	0.07 a	0.08 a	
R _C	0.06 b	0.08 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.008	0.01	
Combinación			
N ₈₀	R _S	0.08 a	0.08 a
	R _C	0.06 a	0.07 a
N ₁₆₀	R _S	0.07 a	0.08 a
	R _C	0.07 a	0.07 a
N ₂₄₀	R _S	0.07 a	0.08 a
	R _C	0.06 a	0.08 a
N ₃₂₀	R _S	0.07 a	0.08 a
	R _S	0.06 a	0.09 a
DHS ($\alpha=0.05$)		0.04	0.06

5.2.6. Índice de la cosecha

El análisis de la varianza para el índice de la cosecha en brócoli presentó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para repeticiones en el muestreo a los 90 días después del trasplante (Cuadro A.60).

El índice de la cosecha promedio para los tratamientos en estudio, fue para el muestreo a los 80 días después del trasplante de 0.9 y en el muestreo a los 90 días después del trasplante de 0.3 (Cuadro 5.42); Castellanos (2001), reporta un valor similar al obtenido.

Cuadro 5.42. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el índice de la cosecha de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante		
	80	90	
Dosis de nitrógeno			
N ₈₀	0.08 a	0.2 a	
N ₁₆₀	0.10 a	0.3 a	
N ₂₄₀	0.10 a	0.2 a	
N ₃₂₀	0.10 a	0.3 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.06	0.1	
Residuos de la cosecha			
R _S	0.10 a	0.2 a	
R _C	0.09 a	0.3 a	
DHS ($\alpha=0.05$)	0.01	0.05	
Combinación			
N ₈₀	R _S	0.07 a	0.2 a
	R _C	0.10 a	0.3 a
N ₁₆₀	R _S	0.10 a	0.3 a
	R _C	0.10 a	0.3 a
N ₂₄₀	R _S	0.11 a	0.3 a
	R _C	0.09 a	0.2 a
N ₃₂₀	R _S	0.09 a	0.2 a
	R _S	0.11 a	0.3 a
DHS ($\alpha=0.05$)		0.1	0.2

5.2.7. Rendimiento de la inflorescencia en el tiempo

En el rendimiento de la inflorescencia se encontraron variaciones durante el transcurso de la cosecha, siendo los coeficientes de variación de 53.5 y 29.9% para los 80 y 90 días después del trasplante, respectivamente; notándose una reducción muy fuerte del coeficiente en un tiempo muy corto y de igual forma el incremento general de la madurez en todas las parcelas experimentales (Cuadro A.56)

En la Figura 5.13, se puede observar un incremento exponencial del rendimiento en la inflorescencia en un tiempo de intervalo de muestreo de 10 días entre cosecha, sin existir diferencias muy marcadas entre las dosis de nitrógeno aplicadas. Este crecimiento exponencial del rendimiento se debe a las precipitaciones que en este periodo de tiempo fueron muy frecuentes, notándose que el brócoli es muy sensible a los efectos de la frecuencia y cantidad de lluvias que se presentó en esta época del año

El mayor rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 90 días después del trasplante, se presentó con la dosis de 80 kg de nitrógeno aplicado y con residuos de la cosecha, obtuvo 47.3 t ha^{-1} , siendo este valor alto con el reportado por Castellanos (2001) de 27.0 t ha^{-1} y Magnífico (1979) con 32.3 t ha^{-1} (Figura 5.14).

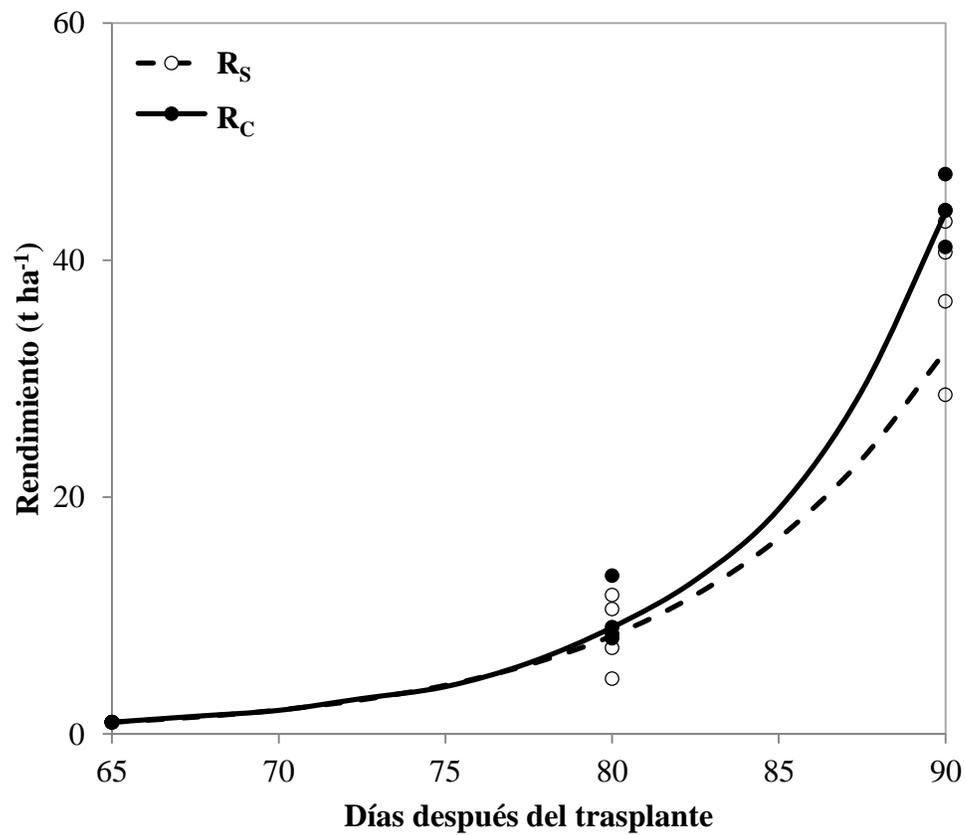


Figura 5.13. Efecto de láminas de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 80 y 90 días después del trasplante.

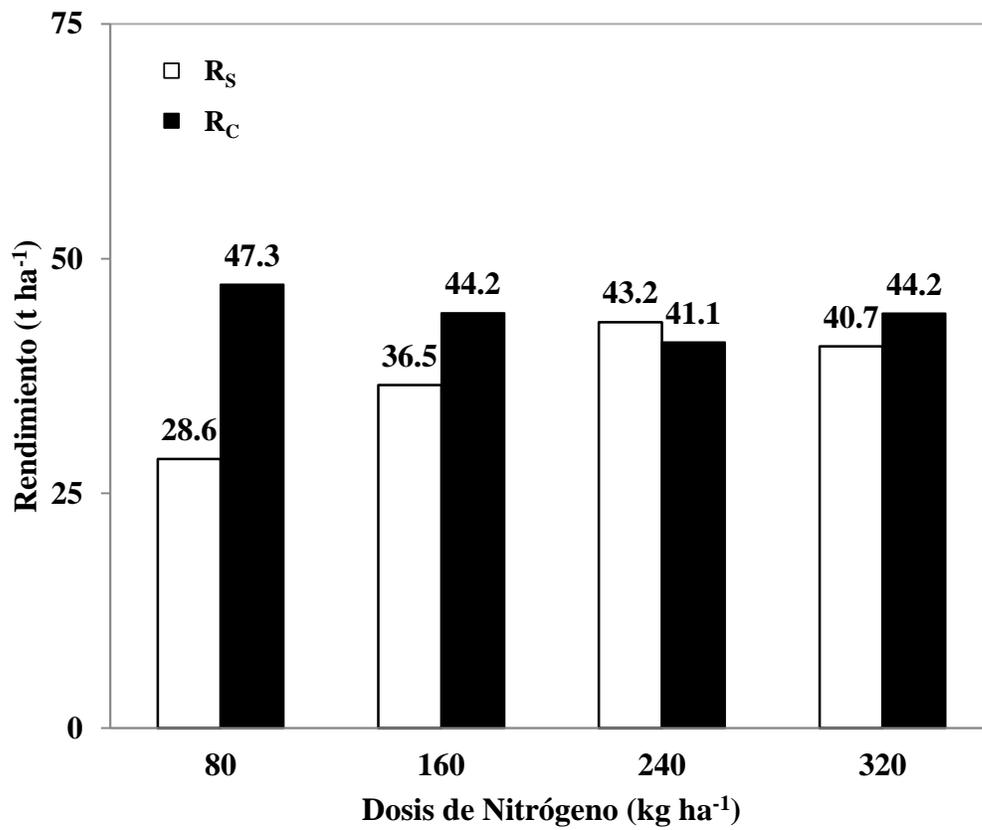


Figura 5.14. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el rendimiento de la inflorescencia de brócoli a los 100 días después del trasplante.

5.2.8. Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea e inflorescencia

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli, a los 100 días después del trasplante tuvo un incremento máximo de 15340.7 mg planta⁻¹ con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha y el menor incremento de 9688.4 mg planta⁻¹ con la dosis de nitrógeno de 80 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha. En la hoja diagnóstica el nitrógeno acumulado tuvo un promedio de 50.5 mg planta⁻¹ y no se apreciaron diferencias entre los tratamientos evaluados (Cuadro 5.43).

Cuadro 5.43. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Tratamientos	Días después del trasplante							
	1	20	40	60	80	90	50 H _D	
mg planta ⁻¹								
Dosis de nitrógeno								
N ₈₀	3.2	47.2	727.0	3451.2	9414.2	11278.2	48.2	
N ₁₆₀	3.2	65.5	763.1	3752.7	11704.2	11480.2	45.8	
N ₂₄₀	3.2	61.0	783.8	4289.4	10889.7	12086.4	52.5	
N ₃₂₀	3.2	67.6	874.4	4328.7	10640.7	13733.9	55.4	
Residuos de la cosecha								
R _S	3.2	62.2	773.2	3901.1	10549.7	11855.6	46.9	
R _C	3.2	57.9	800.3	4015.0	10745.1	12420.4	54.0	
Combinación								
N ₈₀	R _S	3.2	52.2	715.5	3849.9	8636.2	9688.4	42.3
	R _C	3.2	41.7	730.2	3061.7	10174.6	12976.1	54.3
N ₁₆₀	R _S	3.2	70.3	684.0	3864.8	12816.9	10434.7	47.4
	R _C	3.2	60.7	842.4	3628.9	10552.6	12553.6	44.3
N ₂₄₀	R _S	3.2	65.9	728.2	4001.6	11138.8	12206.2	51.7
	R _C	3.2	55.7	841.4	4579.7	10640.6	11966.1	53.2
N ₃₂₀	R _S	3.2	60.9	963.3	3878.9	9659.0	15340.7	46.2
	R _S	3.2	74.5	781.9	4756.0	11511.1	12194.7	64.9

H_D = Hoja diagnóstica.

En la inflorescencia el nitrógeno acumulado, se incrementó en los dos muestreos realizados, presentando valores que van en promedio desde 1687.8 hasta 4553.0 mg planta⁻¹, los

mayores aumentos fueron con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 5580.2 mg planta⁻¹ (Cuadro 5.44).

Cuadro 5.44. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos		Días después del trasplante	
		80	90
		mg planta ⁻¹	
		Dosis de nitrógeno	
N ₈₀		1405.0	4125.9
N ₁₆₀		1822.2	4424.4
N ₂₄₀		1724.8	4330.9
N ₃₂₀		1821.1	5282.8
		Residuos de la cosecha	
	R _S	1643.9	4344.2
	R _C	1759.1	4735.9
		Combinación	
N ₈₀	R _S	1044.0	3152.6
	R _C	1764.7	5159.5
N ₁₆₀	R _S	2114.3	3951.4
	R _C	1532.0	4913.4
N ₂₄₀	R _S	1933.6	4831.4
	R _C	1505.8	3844.6
N ₃₂₀	R _S	1401.2	5580.2
	R _S	2206.5	4991.0

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea en el tiempo tuvo una función sigmoidea, para los tratamientos evaluados. Durante todo el ciclo del cultivo se apreciaron pequeñas diferencias del nitrógeno acumulado en los tratamientos estudiados, notándose que desde los 30 hasta los 70 días después del trasplante un incremento exponencial y a partir de este tiempo hasta la cosecha desciende el nitrógeno. El valor máximo obtenido fue con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 15287.6 mg planta⁻¹ (Cuadro 5.45).

Cuadro 5.45. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$N_A B_A = \frac{10380.9}{1 + 965.8 x e^{(-0.1058 x D_{dt})}}$	1.00
	R _C	$N_A B_A = \frac{15620.6}{1 + 1525.2 x e^{(-0.0993 x D_{dt})}}$	0.99
N ₁₆₀	R _S	$N_A B_A = \frac{11664.0}{1 + 960380.0 x e^{(-0.2669 x D_{dt})}}$	0.97
	R _C	$N_A B_A = \frac{14217.6}{1 + 1347.1 x e^{(-0.1029 x D_{dt})}}$	0.99
N ₂₄₀	R _S	$N_A B_A = \frac{12878.1}{1 + 4369.2 x e^{(-0.1270 x D_{dt})}}$	0.99
	R _C	$N_A B_A = \frac{12850.8}{1 + 1100.7 x e^{(-0.1070 x D_{dt})}}$	0.99
N ₃₂₀	R _S	$N_A B_A = \frac{51828.6}{1 + 445.9 x e^{(-0.0581 x D_{dt})}}$	0.99
	R _C	$N_A B_A = \frac{12721.5}{1 + 3975.0 x e^{(-0.1300 x D_{dt})}}$	0.99

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y N_AB_A = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (mg planta⁻¹)

El nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia en el tiempo presentó una función sigmoidea, para las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha, notándose el mayor incremento a los 90 días después del trasplante. El menor valor se obtuvo con la dosis de nitrógeno de 240 kg ha⁻¹ y con residuos de la cosecha de 3844.6 mg planta⁻¹ y el mayor valor se obtuvo con la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha con 5580.7 mg planta⁻¹ (Cuadro 5.46).

El nitrógeno acumulado en la biomasa aérea a los 90 días después del trasplante, se obtuvo la mayor cantidad con 414 kg ha⁻¹ para la dosis de nitrógeno de 320 kg ha⁻¹ y sin residuos de la cosecha (Figura 5.15).

Cuadro 5.46. Función logística normal del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$N_A B_t = \frac{3186.6}{1 + 5384.2 x e^{(-0.5248 x D_{dt})}}$	1.00
	R _C	$N_A B_t = \frac{5195.3}{1 + 9126.5 x e^{(-0.5636 x D_{dt})}}$	1.00
N ₁₆₀	R _S	$N_A B_t = \frac{3959.9}{1 + 7223.7 x e^{(-0.6014 x D_{dt})}}$	1.00
	R _C	$N_A B_t = \frac{4958.2}{1 + 8594.4 x e^{(-0.5503 x D_{dt})}}$	1.00
N ₂₄₀	R _S	$N_A B_t = \frac{4854.3}{1 + 8640.3 x e^{(-0.5768 x D_{dt})}}$	1.00
	R _C	$N_A B_t = \frac{3867.4}{1 + 6754.4 x e^{(-0.5579 x D_{dt})}}$	1.00
N ₃₂₀	R _S	$N_A B_t = \frac{5658.5}{1 + 9687.2 x e^{(-0.5378 x D_{dt})}}$	1.00
	R _C	$N_A B_t = \frac{5008.0}{1 + 9045.6 x e^{(-0.5914 x D_{dt})}}$	1.00

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y N_AB_t = Nitrógeno acumulado en la biomasa de la inflorescencia (mg planta⁻¹).

La tasa absoluta de acumulación de brócoli en función del tiempo, se tuvieron los valores máximos entre los 60 y 80 días después del trasplante para las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha (Cuadro 5.47).

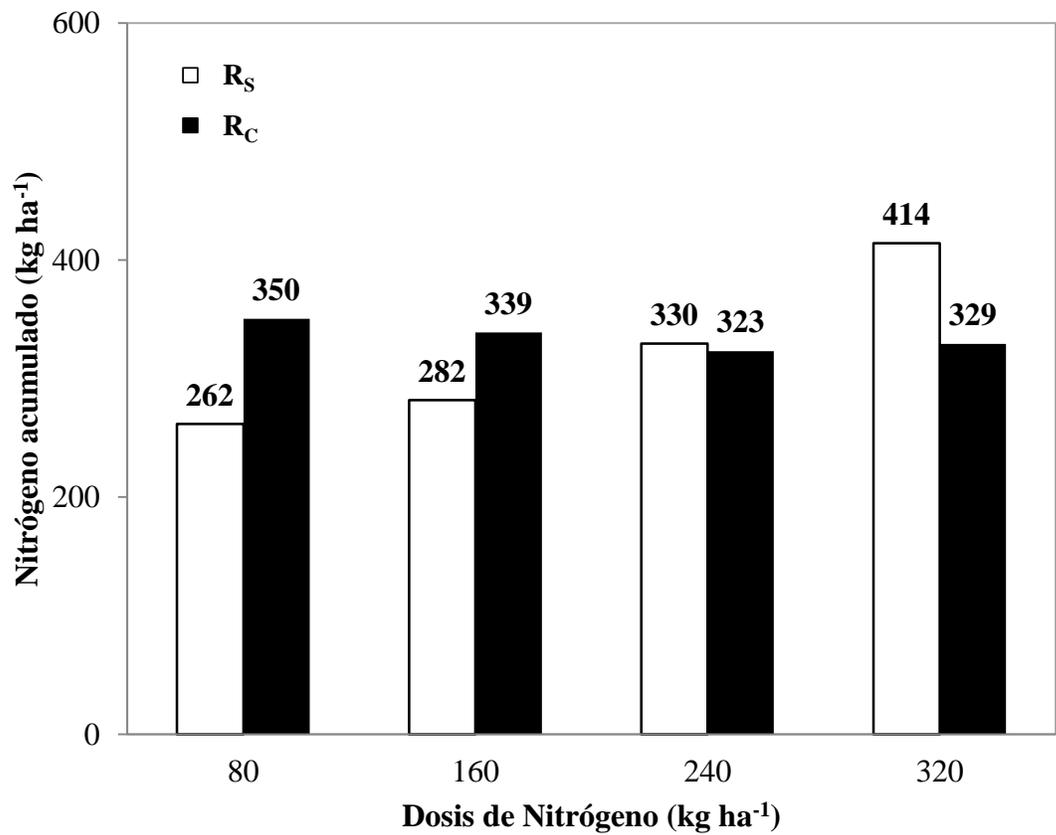


Figura 5.15. Efecto de dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha en el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea de brócoli a los 100 días después del trasplante.

Cuadro 5.47. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada, estimada y tasa absoluta de acumulación de brócoli.

Combinación		D _{dt}	N _A B _{AO}	N _A B _{AE}	T _{AA}
Nitrógeno	Residuos		mg planta ⁻¹		mg planta ⁻¹ día ⁻¹
N ₈₀	R _S	1	3.2	11.9	1.2
		20	52.2	88.4	9.2
		40	715.5	690.8	68.2
		60	3849.9	3858.5	256.4
		80	8636.2	8624.0	154.4
		90	9688.4	9695.2	67.7
		Valor t	- 0.00 NS		
	R _C	1	3.2	11.3	1.1
		20	41.8	74.2	7.3
		40	730.2	525.4	50.4
		60	3061.7	3160.3	250.3
		80	10174.7	10135.8	353.4
		90	12976.1	13012.1	215.7
		Valor t	0.00 NS		
N ₁₆₀	R _S	1	3.2	0.0	0.0
		20	70.3	0.2	0.0
		40	684.0	52.3	13.9
		60	3864.8	5646.3	777.4
		80	12816.9	11604.5	15.7
		90	10434.7	11659.8	1.1
		Valor t	- 0.06 NS		
	R _C	1	3.2	11.6	1.2
		20	60.7	82.1	8.4
		40	842.4	618.9	60.9
		60	3628.9	03735.7	283.4
		80	10552.6	10466.9	284.1
		90	12553.6	12603.6	147.2
		Valor t	0.01 NS		

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, N_AB_{AO} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada (mg planta⁻¹), N_AB_{AE} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea estimada (mg planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (mg planta⁻¹ día⁻¹).

Cuadro 5.47. Continuación...

Combinación		D_{dt}	N_AB_{AO}	N_AB_{AE}	T_{AA}
Nitrógeno	Residuos		mg planta⁻¹		mg planta⁻¹ día⁻¹
N₂₄₀	R_S	1	3.2	3.3	0.4
		20	65.9	37.2	4.7
		40	728.2	457.0	55.9
		60	4001.6	4097.0	354.7
		80	11138.8	11016.0	202.2
		90	12206.2	12294.4	70.7
		Valor t	0.01 NS		
	R_C	1	3.2	12.9	1.3
		20	55.7	98.4	10.4
		40	841.4	791.4	79.4
		60	4579.7	4601.6	316.0
		80	10640.6	10612.4	197.7
		90	11966.2	11983.8	86.5
		Valor t	- 0.00 NS		
N₃₂₀	R_S	1	3.2	122.8	7.1
		20	60.9	368.8	21.2
		40	963.3	1160.9	65.9
		60	3878.9	3536.6	191.4
		80	9659.0	9830.8	462.8
		90	15340.7	15290.8	626.3
		Valor t	- 0.02 NS		
	R_C	1	3.2	3.6	0.4
		20	74.5	42.9	5.5
		40	781.9	554.8	68.9
		60	4756.0	4839.4	389.8
		80	11511.2	11348.6	159.2
		90	12194.7	12315.4	51.1
		Valor t	0.01 NS		

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, NS = No significativo, D_{dt} = Días después del trasplante, N_AB_{AO} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea observada (mg planta⁻¹), N_AB_{AE} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea estimada (mg planta⁻¹) y T_{AA} = Tasa absoluta de acumulación (mg planta⁻¹ día⁻¹).

5.2.9. Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia

El nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia, se encontró el valor más alto en promedio con 217.5 mg plata⁻¹ en el muestreo realizado a los 90 días después del trasplante. Las diferencias del nitrato acumulado en los tratamientos en estudio fueron muy pequeñas (Cuadro 5.48).

Cuadro 5.48. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrato acumulado en la biomasa aérea de brócoli.

Tratamientos		Días después del trasplante	
		80	90
mg planta ⁻¹			
		Dosis de nitrógeno	
	N₈₀	35.6	204.7
	N₁₆₀	45.4	205.8
	N₂₄₀	84.8	172.9
	N₃₂₀	56.9	285.6
		Residuos de la cosecha	
	R_S	55.5	187.8
	R_C	55.2	244.9
		Combinación	
N₈₀	R_S	40.2	165.7
	R_C	21.5	241.9
N₁₆₀	R_S	51.8	152.7
	R_C	38.8	265.7
N₂₄₀	R_S	97.5	180.1
	R_C	72.1	164.0
N₃₂₀	R_S	30.6	251.7
	R_S	91.4	318.6

El nitrato acumulado en el tiempo presentó una función cuadrática inversa, mostrando los valores más altos a 90 días después del trasplante (Cuadro 5.49).

Cuadro 5.49. Función cuadrática inversa del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1148D_{dt} + 1.1120}$	1.00
	R _C	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1107D_{dt} + 1.1081}$	1.00
N ₁₆₀	R _S	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1159D_{dt} + 1.1130}$	1.00
	R _C	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1145D_{dt} + 1.1117}$	1.00
N ₂₄₀	R _S	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1175D_{dt} + 1.1146}$	1.00
	R _C	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1169D_{dt} + 1.1140}$	1.00
N ₃₂₀	R _S	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1133D_{dt} + 1.1105}$	1.00
	R _C	$NO_{3A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1172D_{dt} + 1.1143}$	1.00

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y NO_{3A}B_I = Nitrato acumulado en la biomasa de la inflorescencia (mg planta⁻¹).

5.2.10. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia

El nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia en promedio tuvo valores de 10.6 y 34.1 $\mu\text{g planta}^{-1}$ para los muestreos a los 80 y 90 días después del trasplante, respectivamente. En cada muestreo realizado no se observaron diferencias en los valores obtenidos entre los tratamientos evaluados (Cuadro 5.50).

Cuadro 5.50. Efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Tratamientos		Días después del trasplante	
		80	90
$\mu\text{g planta}^{-1}$			
Dosis de nitrógeno			
N_{80}		6.3	33.4
N_{160}		11.8	36.2
N_{240}		13.8	31.5
N_{320}		10.5	36.1
Residuos de la cosecha			
	R_S	10.2	34.2
	R_C	10.6	34.6
Combinación			
N_{80}	R_S	6.0	29.9
	R_C	5.5	34.9
N_{160}	R_S	11.6	32.2
	R_C	11.3	40.4
N_{240}	R_S	17.7	35.2
	R_C	10.3	28.0
N_{320}	R_S	6.4	37.6
	R_S	15.5	34.6

El nitrito acumulado en el tiempo presentó una función cuadrática inversa, indicando los valores más altos a los 90 días después del trasplante, con 40.4 $\mu\text{g planta}^{-1}$ para el tratamiento con la dosis de nitrógeno de 160 kg ha^{-1} y con residuos de la cosecha (Cuadro 5.51).

Cuadro 5.51. Función cuadrática inversa del efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha sobre el nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia de brócoli.

Combinación		Ecuación	R ²
Nitrógeno	Residuos		
N ₈₀	R _S	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0908D_{dt} + 1.0888}$	1.00
	R _C	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0875D_{dt} + 1.0857}$	1.00
N ₁₆₀	R _S	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1052D_{dt} + 1.1027}$	1.00
	R _C	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1044D_{dt} + 1.1019}$	1.00
N ₂₄₀	R _S	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1105D_{dt} + 1.1078}$	1.00
	R _C	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1035D_{dt} + 1.1011}$	1.00
N ₃₂₀	R _S	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.001D_{dt}^2 - 0.0920D_{dt} + 1.0900}$	1.00
	R _C	$NO_{2A}B_I = \frac{1}{0.002D_{dt}^2 - 0.1090D_{dt} + 1.1064}$	1.00

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, D_{dt} = Días después del trasplante y NO_{2A}B_I = Nitrito acumulado en la biomasa de la inflorescencia (µg planta⁻¹).

5.2.11. Generación de la dosis de fertilización nitrogenada

El análisis en conjunto de la información obtenida del rendimiento y nitrógeno acumulado bajo el efecto de las dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha, representados en tres cuadrantes, se pudo apreciar únicamente el efecto del tratamiento con residuos de la cosecha a la fertilización nitrogenada (cuadrante c) de la Figura 5.16.

Se aplicó una función lineal entre la dosis de nitrógeno y el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea, obteniéndose la ecuación:

$$N_{AB_A} = - 0.09 DN + 355$$

Dónde:

N_{AB_A} = Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (kg ha^{-1}).

DN = Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1}).

0.09 = Eficiencia de la fertilización nitrogenada.

355 = Suministro de nitrógeno en el suelo (kg ha^{-1}).

Los valores obtenidos del suministro de nitrógeno en el suelo y la eficiencia de la fertilización nitrogenada, se utilizaron para obtener el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea que corresponde a la demanda de nitrógeno estimada (Cuadro 5.52).

La demanda de nitrógeno estimada se aplicó en el modelo sistémico para calcular la dosis de nitrógeno estimada (Cuadro 5.52).

El coeficiente de determinación entre las dosis de nitrógeno aplicado y el estimado indica un buen ajuste, permitiendo predecir el 70% en la variación.

Los resultados preliminares obtenidos indica la confiabilidad de los parámetros utilizados para determinar la dosis de nitrógeno en brócoli (Cuadro 5.52).

Cuadro 5.52 Demanda de nitrógeno (observada y estimada), dosis de nitrógeno (aplicado y estimado), suministro del suelo (355 kg ha^{-1}), eficiencia de aplicación del fertilizante (9%), para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Combinación		Demanda de nitrógeno		Dosis de nitrógeno	
N	Residuos	Observada	Estimada	Aplicado	Estimado
		kg ha^{-1}		kg ha^{-1}	
N ₈₀	R _S	261.6	-	80	-
N ₁₆₀	R _S	281.7	-	160	-
N ₂₄₀	R _S	329.5	-	240	-
N ₃₂₀	R _S	414.2	-	320	-
N ₈₀	R _C	350.3	347.2	80	80
N ₁₆₀	R _C	338.9	339.3	160	160
N ₂₄₀	R _C	323.0	331.4	240	240
N ₃₂₀	R _C	329.2	323.5	320	320

Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1}), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha,

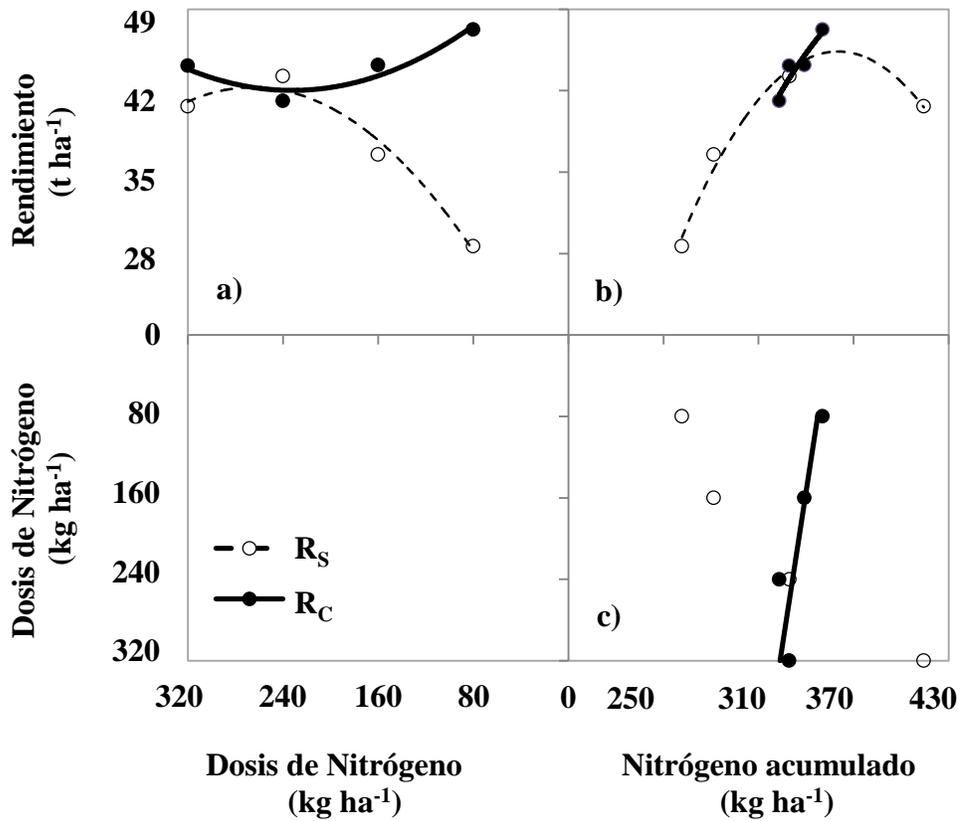


Figura 5.16. Relación entre dosis de nitrógeno y rendimiento (cuadrante a), nitrógeno acumulado en la biomasa aérea y rendimiento (cuadrante b) y dosis de nitrógeno y nitrógeno acumulado en la biomasa aérea (cuadrante c), en brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

6. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales indican que los mayores rendimientos de brócoli se obtuvieron al aplicar nitrógeno entre 160 y 240 kg ha⁻¹. Esto significa que no es necesario adicionar fertilizante en cantidades incluso superiores a los 350 kg ha⁻¹ de nitrógeno para alcanzar una alta productividad, lo cual es habitual en las plantaciones comerciales de este cultivo.

El efecto residual del nitrógeno aplicado más los residuos de la cosecha del cultivo previo tuvieron un efecto positivo en el rendimiento, incrementando la productividad hasta en 1.6 veces sin necesidad de adicionar fertilizante, por lo que esto debe ser considerado en los planes de fertilización en las plantaciones agrícolas de brócoli.

El suministro de nitrógeno en el suelo es un aspecto clave para mejorar la eficiencia de la fertilización nitrogenada donde ambas variables están relacionadas de manera inversa, lo cual incide sobre la formulación de la dosis de fertilizante que debe ser aplicado.

7. LITERATURA CITADA

- Abelenda, C., D. González, A. López, J. Lungo, T. Núñez y E. Pérez. 1996. El agua subterránea es más que H₂O. Revista Tierra Amiga. Población de redes amigos de la tierra. Uruguay. p. 29-36.
- Andrew, J., J. Beltrán, I. Delgado, J. L. Espada, M. Gil, M. Gutiérrez, F. Iguácel, R. Isla, F. Muñoz, F. Orús, M. Pérez, D. Quílez, E. Sin y M. R. Yagüe 2006. Fertilización nitrogenada. Guía de actualización.
- Anton, A. y J. Lizaso. 2001. Nitritos, Nitratos y Nitrosaminas. Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria. Madrid, España.
<http://mie.esab.upc.es/ms/formacio/Control%20%20Contaminacio%20Agricultura/biblio/nitratos%20y%20nitrosaminas.pdf>
- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico vegetal. Publicación especial 10. Sociedad mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Alan, B. R. 1989. The effect of nitrogen nutrition on growth, chemical composition and response of cucumbers (*Cucumis sativus* L.) to nitrogen forms in solution culture. Journal of Horticultural Science 64(4): 467-474.
- Arévalo, G. G. 2005. Materiales fertilizantes orgánicos y su impacto sobre el rendimiento de brócoli y cantidad de nitratos residuales en el suelo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Arévalo, G. G., T. M. Hernández, E. Salcedo P. y A. Galvis S. 2007. Aplicación de fertilizantes sintéticos y abonos verdes sobre la cantidad de nitrato residual en el suelo. Revista Chapingo. Serie forestales y del ambiente 2:85-90.
- Beltrán, R. y Volke, H. V., Núñez, E. R. 1996. Un modelo de balance nutrimental para generar recomendaciones de fertilización para arroz en suelos de Cuba. Serie Cuadernos de Edafología 26. Montecillos, México.
- Berti, M., Wilckens, R., Hevia, F., Serri, H., Vidal, I. y Méndez, C. 2000. Fertilización nitrogenada en Quínoa (*Chenopodium quinoa* WILLD). Ciencia e Investigación Agraria 27 (2): 81-90. Chile.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José (C. R.), Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 1, 111-153.

- Beverly, R. B., W. M. Jarrell and J. Letey. 1986. A Nitrogen and Water Response Surface for Sprinkler-Irrigated Broccoli. *Agronomy Journal* 78 (1):91-94.
- Boaretto, A. E., T. Muraoka e P. Trevelin. 2007. Uso eficiente de nitrogeno nos fertilizantes convencionais. *Informaciones Agronómicas. International Plant Nutrition Institute* 120:13-14.
- Bortholomew, W., V and F. Clark E. 1965. Soil nitrogen. In: *Agronomy series. American Society of Agronomy. Madison Wisconsin, USA.* 10. 524.
- Bouzo, C. A., Astegiano, E. D. y Favaro, J. C. 2003. Procedimiento para predecir la necesidad de abonos en cultivos hortícolas. *Revista FAVE-Ciencias Agrarias* 2(1-2):7-19.
- Bremner, J. M. 1965. Inorganic nitrogen. In: C .C. Black *et al.*, (eds) *Methods of soil analysis. PART II.* *Agronomy Journal* 9: 684-687.
- Byrnes, B. H. and B. L. Bumb. 1998. Population growth, food production and nutrient requirements, pp. 1-27. In: RENGEL, Z. (ed.). *Nutrient Use in Crop Production.* Food Products Press. Binghamton, USA.
- Cárdenas, N. R., J. M. Sánchez, R. Farías y J. J. Peña. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2):173-178
- Cartagena, A. Y. 2002. El análisis químico de suelos una herramienta para diseñar recomendaciones de fertilización y enmiendas en los cultivos. *Tesina de Especialista en Suelos y Nutrición de plantas.* Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Cartagena, A. Y. 2009. Determinación de la demanda nutrimental de nitrógeno en brócoli (*Brassica oleracea* var. *itálica*). *Tesis de Maestro en Ciencias.* Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Castellanos, R., J. Z. 1998. El seguimiento de la nutrición del brócoli en los sistemas de fertirrigación. *Plantaciones modernas. AGROSEM* año 3, 1:137-152.
- Castellanos, J. Z., S. Villalobos., J. Delgado A., Muñoz R., J. Sosa, A., P. Vargas., I. Lazcano., E. Álvarez S., and S. Enríquez. A. 2001. Use of best management practices to increase nitrogen use efficiency and protect environmental quality in a broccoli-corn rotation of central Mexico, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:7, 1265-1292.

- Castro, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Instituto Universitario Juan Castellanos. Tunja, Colombia. p. 163-355.
- Cataldo, D. A. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate plant tissue by nitration of acid salicilic. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 6:71-80.
- Cervantes, U. E. 2006. Extracción nutrimental en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) Tesis Ingeniero Agrónomo, Especialidad en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Cutcliffe, J. A. 1972. Effects of plant spacing and nitrogen on incidence of hollow stem in broccoli. *Canadian Journal Plant Science* 52:833-834.
- Devlin, R. M. 1970. Fisiología vegetal. Traducido del inglés por Javier Llimona. Barcelona, España. Ed. Omega.
- Dittrich, K., y C. Leitzmann. 1998. Protección contra el cáncer en Los alimentos bioactivos. RBA Ediciones de Librerías, S.A. Barcelona, España. pp 34-43.
- Domínguez, P. y A. Domínguez, 1994. Nitratos en hortalizas españolas. *Agrícola Vergel*. Año XII. No 147. Valencia. España. p. 18-20.
- Domínguez, G. A., M. D. Raigón, S. Torregrosa, M. Gómez y J. M. Carot. 2004. Efecto del sistema de riego y de cultivo ecológico sobre la asimilación de nitratos. *Cátedra Iberoamericana*.
<http://fci.uib.es/Servicios/libros/conferencias/seae/Efecto-del-sistema-de-riego-y-de-cultivo-ecologico.cid221878>
- Dorembos, J. y W. O. Pruitt. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje N° 24. FAO. pp. 194.
- Dufault, R. and L. Waters. 1985. Interaction of nitrogen fertility and plant population on transplanted broccoli and cauliflower yields. *HortScience* 20(1):127-128.
- Durán, J. M., N. Retamal y R. Moratiel. 2004. El papel del nitrógeno en la agricultura: I. Zonas vulnerables al nitrato. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España. 12 p.
- Etchevers, B., J. Rodríguez S., J. y A. Galvis S. 1991. Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistemático racional. *Terra* 9(1):3-10.

- Everaarts, A. P. 1994. Nitrogen fertilization and head rot in broccoli. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42-3:195-201.
- Everaarts, A. P. and P. de Willigen. 1999. The effect of the rate and method of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Netherlands Journal of Agricultural Science* 47:201-214.
- FAO STAT. 2001. Agriculture Statistics.
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- FAO e IFA. 2002. Los fertilizantes y su uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. 4ª. ed.
<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>
- FAO. 2013. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Informe 2013.
<http://www.fao.org/docrep/018/i3301s/i3301s.pdf>
- Fraire, C. M., D. Nieto, E. Cárdenas, G. Gutiérrez, R. Bujanos y H. Vaquera. 2010. Efecto de las variedades y densidad de plantación en la calidad física del florete del brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*). *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(2):141-147.
- Galvis, S., A. 1990. Validación de las normas de fertilización para maíz generadas con un modelo simplificado, con las obtenidas en la experimentación de campo. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Galvis, S., A y T. M. Hernández. 2003. Manejo integral de la nutrición de los cultivo. Método MINUTO. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Galvis, S., A. 2014. Notas del curso de Manejo de la Fertilización Orgánica y Mineral. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. 5a. ed., Universidad Autónoma de México, México. DF.
- Hallberg, G. R. 1989. Nitrate in groundwater in the United States. In: Follet R. F. Nitrogen management and groundwater protection. Elsevier, Amsterdam. p: 69-73.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. C. Nelson. 1993. Soil fertility and fertilizers and introduction to nutrient management. Sixth ed. Prentice Hall. The United States of America. 501 pp.

- Hipp, B. W. 1974. Influence of nitrogen and maturity rate on hollow stem in broccoli. *Scientia Horticulturae* 9:68-69.
- Letey, J., W. M. Jarrell, N. Valoras and R. Beverly. 1983. Fertilizer Application and Irrigation Management of Broccoli Production and Fertilizer Use Efficiency. *Agronomy Journal* 75 (3):502-507.
- Liu, L. and B. J. Shelp. 1993a. Nitrogen partitioning in greenhouse-grown broccoli in response to varying $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ ratios. *Commun. Soil Science Plant Analysis* 24(1&2), 45-60.
- Liu L. and B.J. Shelp. 1993b. Broccoli yield and nitrogen composition in response to different management regimens. *Commun. Soil Science Plant Analysis* 24 (1&2), 61-84.
- Loomis, R. S. y Connors, D. J. 1992. *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press. Melksham, England. 538 pp.
- López, P. L. 2001. Evaluación de los enfoques de funciones generalizadas de producción, balance nutrimental y balance nutrimental modificado para la generación de dosis óptimas de fertilización para cultivos. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Magnifico, V., V. Lattanzio, and G. Sarli. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *Journal of American Society for Horticultural Science* 104(2):201-203.
- Magnifico, V., V. Lattanzio, A. Elia and M. Molfetta. 1989. Growth and nutrient removal by broccoli raab. *Advances in Horticultural Science* 3:68-72.
- Matsumoto, S., A. Noriharu and M. Yamagata. 1999. Nitrogen uptake response of vegetable crops to organic material. *Soil Science and Plant Nutrition* 45(2):269-278.
- Matus, F. J. and J. Rodríguez. 1994. A simple model for estimating the contribution of nitrogen mineralization to the nitrogen supply of crops from a stabilized pool of soil organic matter and recent organic input. *Plant and Soil* 162:259-271.
- Matus, F. J. 1997. Mineralización de nitrógeno en suelos agrícolas: predicción, medición y recomendaciones de fertilización. *Ciencia e Investigación Agraria* 24(1):59-72.

- Mayor, X., J. R. Mutuberria, E. Muro, J. Anselma y D. Merino. 1993. Influencia del abonado nitrogenado en el contenido de nitratos en lechugas de invierno. *Horticultura* 50-54.
- Méndez, M. y J. Costa. 1996. La contaminación por nitratos. *Hortoinformación* 71:38-40.
- Merino, D. y J. Arozarena. 1991. Nitratos en hortalizas. *Agrícola Vergel*. Año X. No 120. Ediciones y promociones L.A.V.S.L. Valencia. España. pp. 25-27.
- MIRAT. 2006. Fertilización: Nutrición vegetal.
<http://www.mirat.com/fertilizantes/nutrición/macronutrientes/micronutrientes/htm>.
- Moniruzzaman, M. S., M. L. Rahman, M. G. Kibria, M. A. Rahman and M. M. Hossain. 2007. Effect of boron and nitrogen on yield and hollow stem of broccoli. *J. Soil Nat.* 1:24-29.
- Novoa, R. and R.S. Loomis. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant and Soil* 58:177-204.
- O'Leary, M., G. Rem y M. Schmitt. 1997. *Understanding nitrogen in soils*. University of Minnesota. Crookston, MN.
- Ortiz, S, C. A. y H. E. Cuanalo de la C. 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo. (Para la cartografía de tierras erosionadas). Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Padilla, C., J. 1998. Estimación de la demanda nutrimental de N, P y K de Brócoli y Cebolla. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Pereyra, C., M. 2001. Asimilación de nitrógeno en plantas. Facultad de Agronomía Universidad de la pampa.
<http://www.agro.unlpam.edu.ar/catedras-pdf/16Asimilaci.pdf>
- Rincón, L., J. Sáez, J. A. Pérez C., M. D. Gómez L. y C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Investigación Agraria.: Producción y Protección Vegetal* 14(1-2):225-236.
- Rodríguez, S., J. 1993. *La fertilización de los cultivos: un método racional*. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

- Rodríguez, J., D. Pinochet y F. Matus. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago-Talca-Valdivia, Chile.
- Rodríguez, S., J. y J. Álvarez M. 2010. Nutrición y fertilización de las plantaciones forestales. Santiago, Chile.
- Rouanet J. L. 1994. Eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno por cultivos anuales en futura agricultura sustentable. *Agricultura Técnica* 54(2):169-179.
- Sagardoy J. A. 1993. Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informe sobre temas hídricos. FAO. Roma. Italia. pp. 50-52.
- Salgado, S. R. Núñez, J. Peña, J. D. Etchevers, D. J. Palma y R. Marcos. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. *Terra* 19: 155-162.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo editorial Iberoamericana. D.F., México. 759 pp.
- Sánchez, G. P. 1999. Notas del curso de Nutrición Vegetal I. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- SAS. 1999. SAS System for windows V8. SAS Institute Inc., Cary, N C. USA.
- Sattelmacher, B., F. Klotz and H. Marschner. 1990. Influence of the nitrogen level growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition. *Plant soil* 123: 131-137.
- Smil, V. 1999. Long-range Perspectives in Inorganic Fertilizers in Global Agriculture. Travis P. Hignett Lecture, IFDC, Alabama, USA.
- Soares M. I. M. 2000. Biological denitrification of groundwater. *Water Air and Soil Pollution* 123:183-193.
- Soto, J. A. 1991. Efecto de la fertilización nitrogenada y la población sobre el rendimiento y calidad de brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica) durante dos ciclos en Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 15(1/2):19-27.

- Soto, H. V. 2002. Simulación de la acumulación diaria de nitrógeno en cultivos anuales y su asociación con la tasa de transpiración. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Stanford, G. 1973. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *Journal of Environmental Quality*. 2:159-166.
- Stewart, W. M. 2007. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas. International Plant Nutrition Institute* 67:1-7.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2007. *Fisiología vegetal*. 3a. ed., Universidad Jaume. New Jersey. 1338 pp.
- Tanaka, A., S. A. Navasero, C. V. García, F. T. Parao & E. Ramírez. 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI, Technical Bulletin No 3, 80 p.
- Thompson, T. L., T. A. Doerge., R. E. Godin. 2002. Subsurface drip irrigation and fertigation of broccoli: I. Yield, Quality and Nitrogen Uptake. *Soil Science Society of America Journal* 66:186-192.
- Torres, N. D. 2011. Caracterización del sistema de producción de Brócoli y efecto de la fertilización órgano mineral de la dinámica de nitrógeno. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1989. Federal Register. 54 FR 22062. 22 May. USEPA. Washington, D.C.
- Vågen, I. M., T. S. Aamlid and A. O. Skjelvåg. 2007. Nitrogen fertilization to broccoli cultivars at different planting times: Yield and nitrogen use. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science* 57:1, 35-44.
- Van Keulen, H. 1981. Modelling the interaction of water and nitrogen. *Plant and Soil* 58(1-3):205-229.
- Vidal, J. L., R. Núñez E., I. Lazcano F., J. Etchevers B. y R. Carrillo G. 2006. Nutrición potásica del brócoli (*Brassica oleracea*) con manejo convencional y fertirrigación en un Vertisol en invernadero. *Agrociencia* 40: 1-11.
- Villalobos, F. J., I. Mateos, F. Orgaz y E. Fereres. 2009. *Fitotecnia. Bases y Tecnologías de la producción agrícola*. Ediciones Mundi-Prensa. México. pp. 289-313.

- Villalobos, S., J. Castellanos, L. Tijerina C. y G. Crespo P. 2005. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad de brócoli con riego por goteo. *Terra Latinoamericana* 23(3): 321-328.
- Vimala P., M. K. Ilias, N. H. Yeong and H. Salbiah. 1997. Nutrient uptake studies on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italic*) grown on peat. *Journal of Tropical Agriculture And Food Science*. 25(1):9-14.
- Volque H., V. 1988. Generación de tecnología bajo condiciones de riesgo. Serie cuadernos de edafología 12. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Zebarth B. J., P. A. Bowen, and P. M. A. Toivonen. 1995. Influence of nitrogen fertilization on broccoli yield, nitrogen accumulation and apparent fertilizer-nitrogen recovery. *Canadian Journal Plant Science* 75: 717-725.

8. ANEXOS

8.1. Cálculos

8.1.1. Cálculo de la solución de Steiner

Para el cálculo de la solución de Steiner se consideró el análisis químico del agua y la cantidad de aniones y cationes que requiere la solución Steiner (Cuadros A.1, A.2 y A.3).

Cuadro A.1. Aporte de iones del agua para preparar la solución de Steiner.

	Aniones meq L ⁻¹				Cationes meq L ⁻¹		
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	H ₂ CO ₃ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Agua de riego	-	-	1.65	2.5	0.2	1.39	1.23
Solución Steiner	12	1	7	-	7	9	4
Diferencia	12	1	5.45	2.0	6.8	7.61	2.77
Aporte previsto	12.23	1.50	5.45	2.00	6.80	7.61	2.77

Cuadro A.2. Diseño del balance de la solución de Steiner.

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Total
NO ₃ ⁻	4.62	7.61			12.23
H ₂ PO ₄ ⁻		-	-	1.5	1.50
SO ₄ ⁼	2.18	-	2.77	0.5	5.45
Total	6.80	7.61	2.77	2.0	19.18

La preparación de la solución fertilizante se realizó al 50% de la concentración.

Cuadro A.3. Solución fertilizante.

Fertilizantes	meq L ⁻¹	Peq	Factor de corrección			100 % mg L ⁻¹	50 % mg L ⁻¹
			Densidad	Pureza	Unidad		
KNO ₃	4.62	101				466.62	233.31
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	7.61	118				897.98	448.99
K ₂ SO ₄	2.18	87				189.66	94.83
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2.77	123				340.71	170.36
H ₃ PO ₄	1.50	98	1/1.71	100/85	1/1000	0.10	0.05
H ₂ SO ₄	0.50	49	1/1.71	100/85	1/1000	0.01	0.005

8.1.2. Cálculo de las láminas de riego

- Riego inicial o de trasplante

Se tomaron muestras de suelo para determinar la curva característica de retención de humedad del suelo por el método de la olla de presión (Cuadro A.4).

Cuadro A.4. Propiedades físicas del suelo. Lote Montecillo dos-seis.

T atm	R	S_H g	S_S g	D_s g cm⁻³	θ_g g g⁻¹	θ_v cm³ cm⁻³
0.0	1	65.5	43.5	1.1	0.5	0.5
	2	65.6	44.8	1.1	0.4	0.5
	3	66.1	45.5	1.2	0.4	0.5
	4	61.0	40.9	1.0	0.4	0.5
	5	62.5	40.2	1.0	0.5	0.5
0.1	1	64.4	47.4	1.2	0.3	0.4
	2	54.8	39.7	1.0	0.3	0.4
	3	62.5	46.0	1.2	0.3	0.4
	4	63.4	47.5	1.2	0.3	0.4
	5	60.2	43.9	1.1	0.3	0.4
0.3	1	56.5	44.0	1.1	0.2	0.3
	2	53.9	41.3	1.1	0.3	0.3
	3	53.5	41.4	1.1	0.2	0.3
	4	61.5	47.6	1.2	0.2	0.3
	5	49.4	37.8	1.0	0.3	0.3
1.0	1	46.9	37.1	0.9	0.2	0.2
	2	54.0	39.6	1.0	0.3	0.3
	3	48.9	38.5	1.0	0.2	0.2
	4	55.3	43.3	1.1	0.2	0.3
	5	56.2	43.2	1.1	0.3	0.3
5.0	1	61.6	50.0	1.3	0.2	0.3
	2	51.1	40.9	1.0	0.2	0.2
	3	55.9	45.6	1.2	0.2	0.2
	4	59.3	47.9	1.2	0.2	0.3
	5	54.0	42.6	1.1	0.2	0.3
15	1	51.5	42.6	1.1	0.2	0.2
	2	50.4	40.7	1.0	0.2	0.2
	3	51.0	41.9	1.1	0.2	0.2
	4	56.0	46.0	1.2	0.2	0.2
	5	45.7	37.6	1.0	0.2	0.2

T = Tensión del suelo, R = Repetición, S_H = Suelo húmedo, S_S = Suelo seco, D_s = Densidad aparente, θ_g = Humedad gravimétrica y θ_v = Humedad volumétrica.

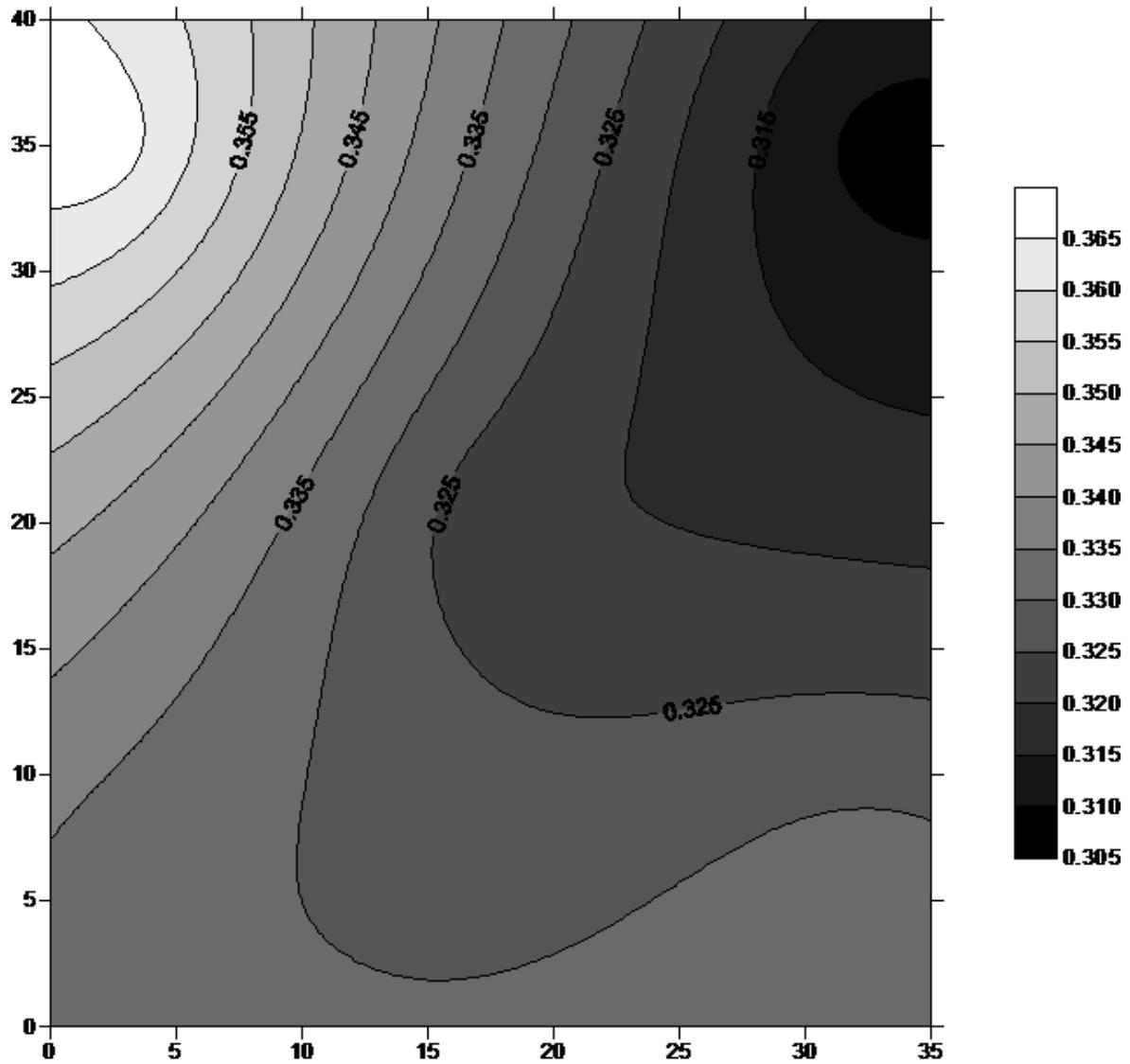


Figura A.1. Distribución espacial de la capacidad de campo a 0.30 m de profundidad del suelo.

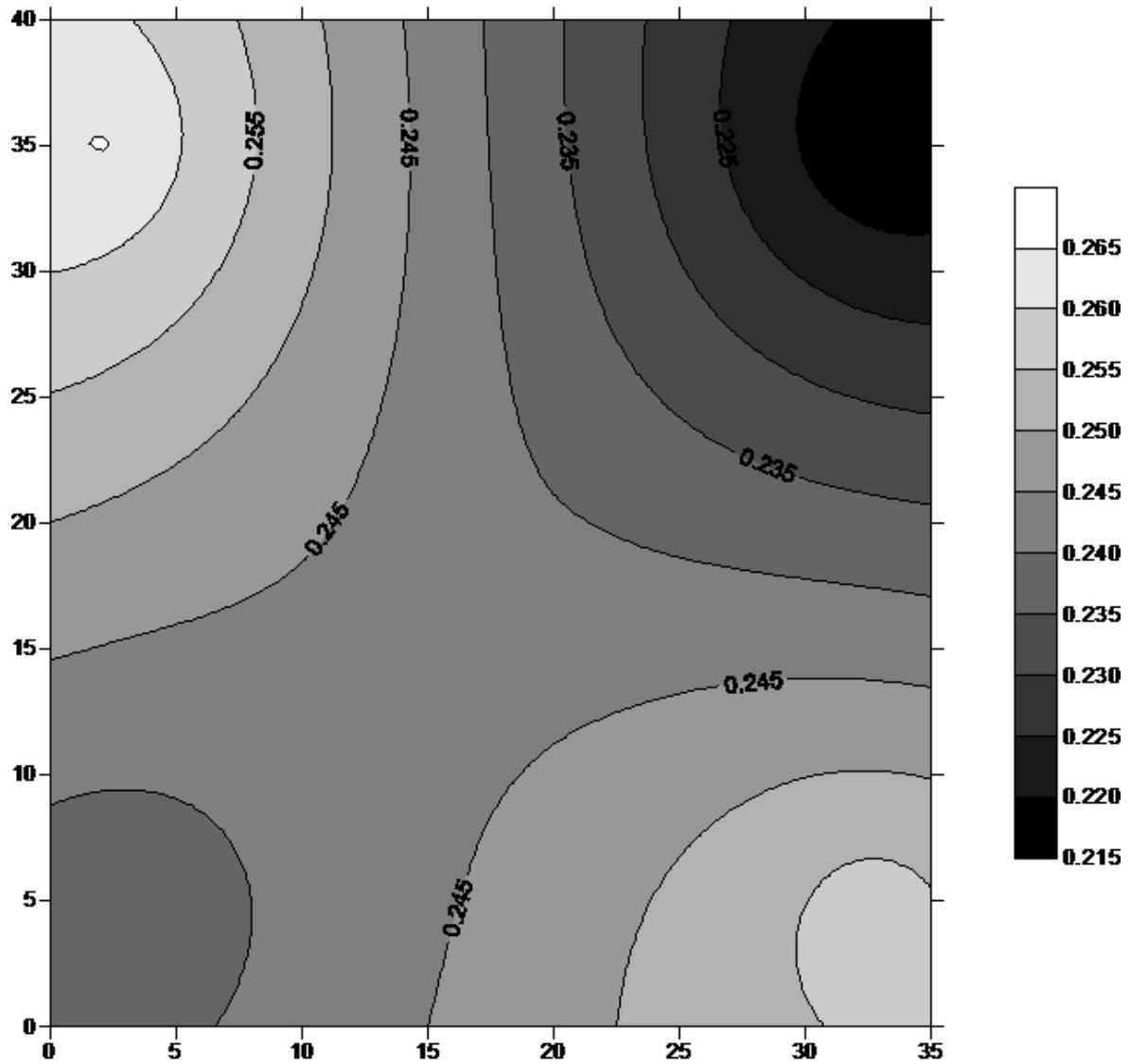


Figura A2. Distribución espacial del punto de marchitamiento a 0.30 m de profundidad del suelo.

Los valores del contenido de humedad del suelo y tensión expresados en centímetros de columna de agua (hPa), se ajustaron mediante la ecuación de Van Genuchten (Cuadro A.5).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + [\alpha + hPa]^n]^m}$$

Dónde:

θ_r = Humedad residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

θ = Humedad a la tensión aplicada ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

θ_s = Humedad a saturación ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

hPa = Carga de presión (cm).

α = Parámetro estimado.

n = Parámetro estimado.

m = Parámetro estimado (1-1/n).

$$\theta = 0.2428 + \frac{(0.5619 - 0.2428)}{[1 + [0.0304 + hPa]^{1.4749}]^{0.3220}}$$

Cuadro A.5. Humedad volumétrica ajustada.

T atm	hPa cm	θ_g g g^{-1}	θ_v $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$	θ_v ajustada $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
0.0	0.0	0.4937	0.5614	0.5619
0.1	100	0.3607	0.4288	0.4205
0.3	300	0.2960	0.3327	0.3531
1.0	1000	0.2954	0.3165	0.3057
5.0	5000	0.2425	0.2913	0.2722
15.0	15000	0.2194	0.2430	0.2603

T = Tensión del suelo, hPa = Carga de presión, θ_g = Humedad gravimétrica y θ_v = Humedad volumétrica.

La lámina de riego neta inicial se calculó con la ecuación:

$$L_{ni} = (\theta_{cc} - \theta_a) \times P_r$$

Dónde:

L_{ni} = Lámina de riego neta inicial (mm).

θ_{cc} = Humedad a capacidad de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

θ_a = Humedad actual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

P_r = Profundidad radical (mm).

$$L_{ni} = (0.3531 - 0.2680) \times 300$$

$$L_{ni} = 25.5 \text{ mm}$$

El valor de lámina de riego neta inicial obtenida, se aplicó una eficiencia del sistema de riego por goteo 90%, para obtener la lámina de riego bruta inicial.

$$L_{bi} = \frac{L_{ni}}{e}$$

Dónde:

L_{bi} = Lámina de riego bruta inicial (mm).

L_{ni} = Lámina de riego neta inicial (mm).

e = Eficiencia del sistema de riego (%).

$$L_{bi} = \frac{25.5}{0.9}$$

$$L_{bi} = 28.3 \text{ mm}$$

Posteriormente se calculó el tiempo de riego con la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{L_{bi} \times D_g \times D_l \times F_h}{Q \times CU}$$

Dónde:

T_r = Tiempo de riego (h).

L_{bi} = Lámina de riego bruta inicial ($mm \approx l\ m^{-2}$).

D_g = Distancia entre goteros (m).

D_l = Distancia entre líneas de goteo (m).

F_h = Factor de humedecimiento (%).

Q = Gasto del emisor ($l\ h^{-1}$).

CU = Coeficiente de uniformidad (%).

$$T_r = \frac{28.3 \times 0.5 \times 1.2 \times 0.5}{2 \times 0.9}$$

$$T_r = 4.7\ h$$

- **Riego diario**

Se aplicaron dos láminas de riego:

Lámina de riego de 3.0 mm

$$L_{n1} = 3.0\ mm$$

$$L_{b1} = \frac{3.0}{0.9}$$

$$L_{b1} = 3.3\ mm$$

$$T_r = \frac{3.3 \times 0.5 \times 1.2 \times 0.5}{2 \times 0.9}$$

$$T_r = 0.5\ h$$

Lámina de riego de 6.0 mm

$$L_{n2} = 6.0 \text{ mm}$$

$$L_{b2} = \frac{6.0}{0.9}$$

$$L_{b2} = 6.6 \text{ mm}$$

$$T_r = \frac{6.6 \times 0.5 \times 1.2 \times 0.5}{2 \times 0.9}$$

$$T_r = 1.1 \text{ h}$$

8.1.3. Cálculo del balance hídrico

Para el cálculo del balance hídrico se utilizó la metodología de la FAO (Dorembos y Pruitt 1990), con los siguientes requerimientos:

- **Evapotranspiración potencial**

Se utilizaron los datos de evaporación del tanque clase A de la estación meteorológica y el coeficiente de corrección.

$$ET_o = E \times K_p$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm).

E = Evaporación (mm).

K_p = Coeficiente de corrección (0.75).

- **Coeficiente de desarrollo del cultivo**

Para determinar el período vegetativo total y la duración de las fases de desarrollo del cultivo, a partir de la información local, se utilizó como referencia la plantación a finales de invierno en el Mediterráneo y se extrapola para 100 días de duración del ciclo de cultivo del brócoli, para las condiciones de Texcoco (Cuadro A.6).

Cuadro A.6. Duración del período vegetativo y fases de desarrollo del brócoli.

Cultivo	Duración del período vegetativo y fases de desarrollo
Brócoli	Amplia variación de la estación, debido a las diferencias entre variedades; plantación en primavera en climas mediterráneos y continentales 20/30/20/10 y (80); plantación a finales del invierno en el Mediterráneo 25/35/25/10 y (95) ; plantación en otoño en el litoral mediterráneo 30/35/90/40 y (135)

Con esta información se estimó el coeficiente de desarrollo del cultivo (Cuadro A.7).

Cuadro A.7. Duración de las fases de desarrollo y coeficiente del cultivo (K_c) del brócoli.

Fase	Duración días	K_c
Inicial	20	0.80
Desarrollo	55	0.85
Mediados	10	1.05
Finales	15	0.95
Total	100	

- **Evapotranspiración del cultivo o Uso consuntivo**

Obtenidos los valores de la evapotranspiración potencial y K_c del cultivo de brócoli en sus diferentes fases fenológicas, se procedió a calcular la evapotranspiración.

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm).

ET_o = Evapotranspiración potencial (mm).

K_c = Coeficiente de desarrollo del cultivo.

- **Precipitación efectiva**

Para obtener la precipitación efectiva se aplicó la ecuación para precipitaciones menores de 2.5 cm.

$$P_e = P - (0.05 - P)^2$$

Dónde:

P_e = Precipitación efectiva (mm).

P = Precipitación (mm).

- **Riego**

Se aplicaron riegos diarios, utilizando el criterio de la lámina neta, siendo las láminas de riego de 3 y 6 mm.

- **Balance hídrico**

En el balance hídrico se definieron las entradas (precipitación efectiva y riego) y la salida (evapotranspiración del cultivo).

$$B_H = P_e + L_n - ET_c$$

Dónde:

B_H = Balance hídrico (mm).

P_e = Precipitación efectiva (mm).

L_n = Lámina neta o Riego (mm).

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm).

8.2. Determinaciones analíticas

8.2.1. Determinación de nitrógeno

Método semimicro-kjeldahl modificado

- Reactivos

Mezcla de ácido sulfúrico con ácido salicílico. Se disuelven 50 g de ácido salicílico ($C_7H_6O_3$) en 2 L de H_2SO_4 concentrado.

Mezcla de indicadores. Se disuelven 0.099 g de bromocresol y 0.066 de rojo de metilo ($C_{15}H_{15}N_3O_2$) en 100 ml de alcohol etílico al 95%.

Solución de ácido bórico con indicador. Se coloca 80 g de ácido bórico (H_3BO_3) en un frasco de 5 l de capacidad en el cual se ha marcado el nivel de 4 litros, se adiciona 3.8 litros de agua, se calienta y se agita hasta la completa disolución del ácido. Se enfría la solución y se agrega 80 ml de la mezcla de indicadores. El pH de la mezcla H_3BO_3 - indicador debe ser aproximadamente 5.0. Si fuese más ácido se agrega cuidadosamente gotas de NaOH 0.1N hasta que la solución adquiriera una coloración púrpura rojiza o se alcance el pH indicado. Se completa a 4 litros con agua y se mezcla vigorosamente.

Mezcla de catalizadores. Se muele en un mortero y se mezcla 1 kg de K_2SO_4 , 100 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ y 10 g de selenio metálico. La mezcla debe homogenizarse perfectamente para evitar segregación de las partículas de los componentes.

Agua libre de CO_2 . Se hierve el agua necesaria en un matraz erlenmeyer durante 15 minutos, se tapa con un vaso de precipitados y se enfría.

Hidróxido de sodio 10 N. Se colocan 40 kg de NaOH en un botellón de vidrio Pyrex de pared gruesa de aproximadamente 10 litros de capacidad. Se adiciona 4 litros de agua y se agita el botellón hasta que el hidróxido se disuelva. Se deja que la solución se enfríe en el depósito al cual se debe proveer de una tapa para evitar la absorción de CO_2 ambiental. Se

deja reposar toda la noche, o más si es necesario, y se trasvasa por medio de un sifón el sobrenadante a otro botellón marcado a 10 litros que contiene 1.5 litros de agua libre de CO₂.

Se completa al volumen indicado con agua de igual calidad y se agita vigorosamente. El NaOH debe protegerse del CO₂ atmosférico con un filtro de ascarita o de cualquier otra naturaleza.

Ácido sulfúrico 0.05N. Se disuelven 1.4 ml de H₂SO₄ (si $\rho = 1.84 \text{ g/cm}^3$ y 95% de pureza) en agua y se enrasa a un litro.

Anaranjado de metilo. Se disuelven 0.01 g de C₁₄H₄N₃NaO₃S en 100 ml de agua.

Ácido sulfúrico 0.01 N. Se diluye 1 litros de H₂SO₄ 0.05 N a 5 litros con agua. Se estandariza con Na₂CO₃ seco en la siguiente forma: se pesan 0.2500 g de sal, se disuelven en un matraz de 50 ml y se afora. Se titulan 3 alícuotas de 10 ml de esta solución con el ácido diluido, se adicionan 5 o 6 gotas de anaranjado de metilo como indicador. Otra forma de estandarizar y la más exacta es pesado x g de la sal, se adiciona y ml de agua y se titula con el ácido, las pesadas deben realizarse por triplicado. Se calcula la normalidad:

$$N_{H_2SO_4} = \frac{P \text{ Na}_2\text{CO}_3}{P_E \text{ Na}_2\text{CO}_3 \times V}$$

Dónde:

N_{H₂SO₄} = Normalidad H₂SO₄.

P = Peso Na₂CO₃ (g).

P_E = Peso equivalente (Na₂CO₃ = 53).

V = Volumen del ácido (L).

Tiosulfato de sodio. Se muele el tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃.5H₂O), debe pasar el tamiz de 20 mallas.

- **Material y equipo**

Tamiz (Malla 40).

Tubos Follin wu o matraz microkjeldahl.

Matraz Erlenmeyer de 125 ml.

Probeta de 25 ml.

Bureta o titulador automático.

Block digestor.

Aparato de destilación por arrastre de vapor.

- **Procedimiento**

Digestión. Se transfiere una muestra molida y tamizada que contenga aproximadamente 1 mg de N (en general 0.100 g) a un matraz microkjeldahl o a tubos Follin wu. Se adicionan 4 ml de la mezcla de ácido sulfúrico-salicílico, cuidando que el ácido se ponga en íntimo contacto con la muestra. El H_2SO_4 es un mal agente mojante por lo que la impregnación de la muestra se debe favorecer agitando suavemente el contenido del tubo.

Se deja en reposo toda la noche o durante varias horas. Se añaden 0.5 g de $Na_2S_2O_3$ a través de un embudo de tallo largo para alcanzar el bulbo del matraz. Seque la espuma suba por el cuello del matraz. Esto se logra mezclando bien el $Na_2S_2O_3$ con el ácido y calentando suavemente al inicio de la digestión. Una vez terminada esta fase, para la cual bastan de 5 a 15 minutos, se deja enfriar la solución. Se adiciona 1.1 g de mezcla catalizadora. La adición del $Na_2S_2O_3$ y la mezcla pueden hacerse mediante medidas volumétricas calibradas.

Se digesta nuevamente aumentando la temperatura. La placa de digestión debe alcanzar entre 360 y 390°C para permitir la ebullición de la mezcla de ácido con sales que se adicionan al suelo. Temperaturas inferiores o superiores a esta pueden provocar recuperación incompleta o pérdida de N respectivamente. Después de una corta ebullición la mezcla aclara. Cuando se alcanza este punto, se ebulle lentamente por una hora adicional para el caso de muestras de rutina. Cuando se desea una recuperación entre 99 y 100%, se

debe ebulir por 5 horas después de clarear. La temperatura de esta fase debe regularse para que los vapores de H_2SO_4 se condensen en el primer tercio inferior del cuello del matraz. Cuando la digestión esté completa se enfría y se agregan aproximadamente 3 ml de agua. Se agita vigorosamente para disolver el material soluble.

Destilación. Se transfiere el contenido al bulbo de la cámara de destilación del aparato. Se lava el tubo con pequeñas porciones de agua, para tener aproximadamente 7 ml. Se coloca en el tubo de salida del aparato de digestión un matraz Erlenmeyer de 125 ml conteniendo 10 ml de la solución H_3BO_3 + indicadores. Se adicionan 10 ml de NaOH 10N al bulbo de destilación. Se conecta el flujo de vapor y se inicia la destilación. Se destilan aproximadamente 50 ml y se lava el condensador. Se determina el nitrógeno amoniacal presente en el destilado titulado con el H_2SO_4 0.01N. El cambio de color verde a rosado indica el punto final de la titulación (titular los blancos y tomar como referencia este vire).

- **Cálculos**

El porcentaje de N en la muestra se determina según la siguiente fórmula.

$$N = \frac{(V_{muestra} - V_{blanco}) \times N_{acido} \times 14}{muestra \times 10}$$

Dónde:

N = Nitrógeno (%).

$V_{muestra}$ = Volumen del H_2SO_4 para titular la muestra (ml).

V_{blanco} = Volumen de H_2SO_4 para titular el blanco (ml).

N_{acido} = Normalidad exacta del H_2SO_4 .

14 = Peso miliequivalente del N (mg).

muestra = Peso de muestra en gramos.

10 = Factor para convertir en porcentaje (1000/100).

8.2.2. Determinación de nitrato

Método del ácido salicílico por colorimetría, (Cataldo, 1975)

- **Reactivos**

Ácido salicílico 5% (p/v). Disolver 5 g de ácido salicílico grado reactivo en 100 ml de H_2SO_4 . Este reactivo debe prepararse fresco antes de realizar las determinaciones.

Hidróxido de sodio 2N. Disolver 80 g de NaOH en un litro de agua destilada, bajo chorro de agua fría. Guardar en un frasco color ambar.

Estándar de N- NO_3 de 100 ppm. Disolver exactamente 0.7221 g de KNO_3 (puro y seco a la estufa a $105^\circ C$) en un litro de agua destilada. Guardar en un frasco bajo refrigeración.

Curva de calibración. Preparar las siguientes soluciones en matraces de 10 ml. Aforando con agua destilada.

- **Material y equipo**

Tubos de ensayo de 50 ml.

Papel filtro.

Microbureta y bureta clase A.

Pipeta volumétrica de 0.5 ml.

Buretas de 25 y 50 ml.

Balanza.

Matríz volumétrico.

Mezclador “vortex”.

Espectrofotómetro.

- **Procedimiento**

Preparación del extracto. El material vegetal, seco o liofilizado se muele y tamiza a través de 40 mallas.

Pesar 1 g del material vegetal seco bien homogenizado, colocar en un tubo de ensayo de 50 ml, agregar agua destilada hasta aforar a los 50 ml, agitar durante 2 horas. Se filtra y transfiere a un matraz volumétrico de 50 ml.

Desarrollo de color. Tonar alícuotas de 0.2 ml del extracto que se pipeteen en matraces volumétricos de 50 ml y colocar 0.8 ml del reactivo de ácido salicílico-H₂SO₄ al 5% (p/v). Después de 20 minutos a temperatura ambiente se agregan lentamente 19 ml de NaOH 2N para elevar el pH 12.

Medición de la absorbancia. Las muestras se enfrían a temperatura ambiente y se espera 24 horas para que desarrolle el color y se determina absorbancia a 410 nm.

Para la curva de calibración se utilizan alícuotas de 0.2 ml. de cada solución y se continúa con el procedimiento. Se utiliza un blanco con 0.2 ml. de agua.

Cuadro A.8. Alícuotas para la curva de calibración de NO₃.

Alícuota a partir de 100 mg kg⁻¹ de N-NO₃	N-NO₃ mg kg⁻¹	Absorbancia 410 nm
0.0	0	0.000
2.5	5	0.031
5.0	10	0.082
10.0	20	0.150
15.0	30	0.235
20.0	40	0.260
25.0	50	0.364
30.0	60	0.459
35.0	70	0.518
40.0	80	0.575
45.0	90	0.647
50.0	100	0.768

- **Cálculos**

La curva de calibración se puede trazar en mg kg^{-1} de NO_3 .

$$\text{NO}_3 = \text{CC} \times \frac{v}{p}$$

Dónde:

NO_3 = Nitrato (mg kg^{-1}).

CC = Obtenida de la curva de calibración (mg kg^{-1}).

v = Volumen del extracto (cm^3).

p = Peso de la muestra (g).

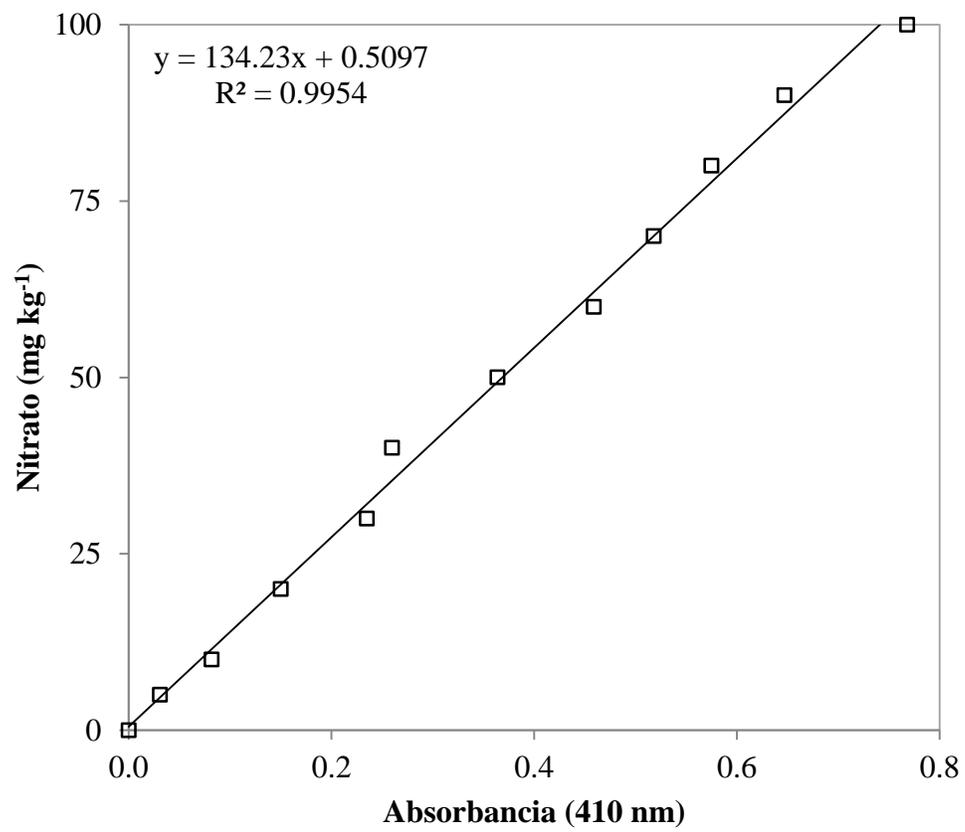


Figura A.3. Curva de calibración de nitrato.

8.2.3. Determinación de nitrito

Método modificado de Griess-Ilosvay, (Bremner, 1965)

- **Reactivos**

Cloruro de potasio 2M. Disolver 1500 g de KCl grado reactivo en 8 litros de agua y diluir la solución hasta 10 litros.

Reactivo diazotizante. Disolver 0.5 g de sulfanilamida en 100 ml de Ácido hidrociorhídrico (HCl) 2.4N. Guardar en un frasco bajo refrigeración a 4°C.

Reactivo de acoplamiento. Disolver 0.5 g de N-(1-naphthyl)-ethylenediamina hidrocioridico en 100 ml de ácido hidrociorhídrico (HCl) 0.12N. Guardar la solución en un frasco de color ámbar bajo refrigeración a 4°C.

Estándar de N-NO₂. Disolver 0.24 g de NaNO₂ en agua y diluir la solución hasta un volumen de 1000 ml en un matraz volumétrico. Si es puro y seco el NaNO₂, se utiliza esta solución con 50 ug de NO₂-N ml⁻¹. Guardar en un frasco bajo refrigeración a 4°C.

- **Material y equipo**

Papel filtro Whatman No. 42.

Pipeta volumétrica de 2 ml.

Matraz volumétrico de 50 ml.

Microbureta.

Pipeta, bureta o dosificador automático.

Balanza.

Espectrómetro.

- **Procedimiento**

Preparación del extracto. El material vegetal seco se muele y tamiza a través de una malla número 40.

Pesar 2 g del material vegetal en un tubo de ensayo 50 ml y agregar 20 ml de KCl 2M, agitar en un agitador mecánico durante 1 hora. Permitir que el extracto repose hasta que el líquido sobrenadante quede claro (usualmente alrededor de 30 minutos) y realizar los análisis descritos en alícuotas de este líquido. En el caso de que el extracto de KCl, no puede ser analizado después de esta preparación (24 horas), filtrar (papel filtro Whatman No. 42) y guardar el filtrado en un refrigerador hasta que los análisis puedan ser realizados.

Desarrollo del color. Pipetear una alícuota (usualmente 2 ml) del extracto en un matraz volumétrico de 50 ml y adicionar agua hasta un volumen de 45 ml. Adicionar 1 ml del reactivo diazotizante y mezclar la solución.

Después de 5 minutos, adicionar 1 ml del reactivo de acoplamiento. Mezcle la solución y deje reposar durante 20 minutos. A continuación, mezclar bien la solución al volumen, y medir su intensidad de color hasta 540 nm comparando a una solución con el blanco de reactivo.

Determinar el contenido de NO_2^- -N de la muestra haciendo referencia a una curva de calibración trazada a partir de los resultados obtenidos con las muestras que contienen 0, 1, 2, 3, 4, 5 ug de un NO_2^- -N.

Para preparar esta curva, diluir 20 ml de la solución estándar de NO_2^- -N con 1000 ml de agua en un matraz aforado, y mezclar la solución. A continuación, añadir 0, 1, 2, 3, 4, 5, y 6 ml de volumen de esta solución estándar diluida en matraces volumétricos de 50 ml y medir las absorbancias obtenidas por el procedimiento descrito para el análisis del extracto.

Cuadro A.9. Alícuotas para la curva de calibración de NO₂.

Alícuota a partir de 1 mg kg⁻¹ de N-NO₂	N-NO₂ mg kg⁻¹	Absorbancia 540 nm
0.0	0.00	0.049
1.0	0.02	0.061
2.0	0.04	0.047
3.0	0.06	0.126
4.0	0.08	0.147
5.0	0.10	0.149
6.0	0.12	0.004

- **Cálculos**

La curva de calibración se puede trazar en mg kg⁻¹ de NO₂.

$$NO_2 = CC \times \frac{v}{p}$$

Dónde:

NO₂ = Nitrito (mg kg⁻¹).

CC = Obtenida de la curva de calibración (mg kg⁻¹).

v = Volumen del extracto (cm³).

p = Peso de la muestra (g).

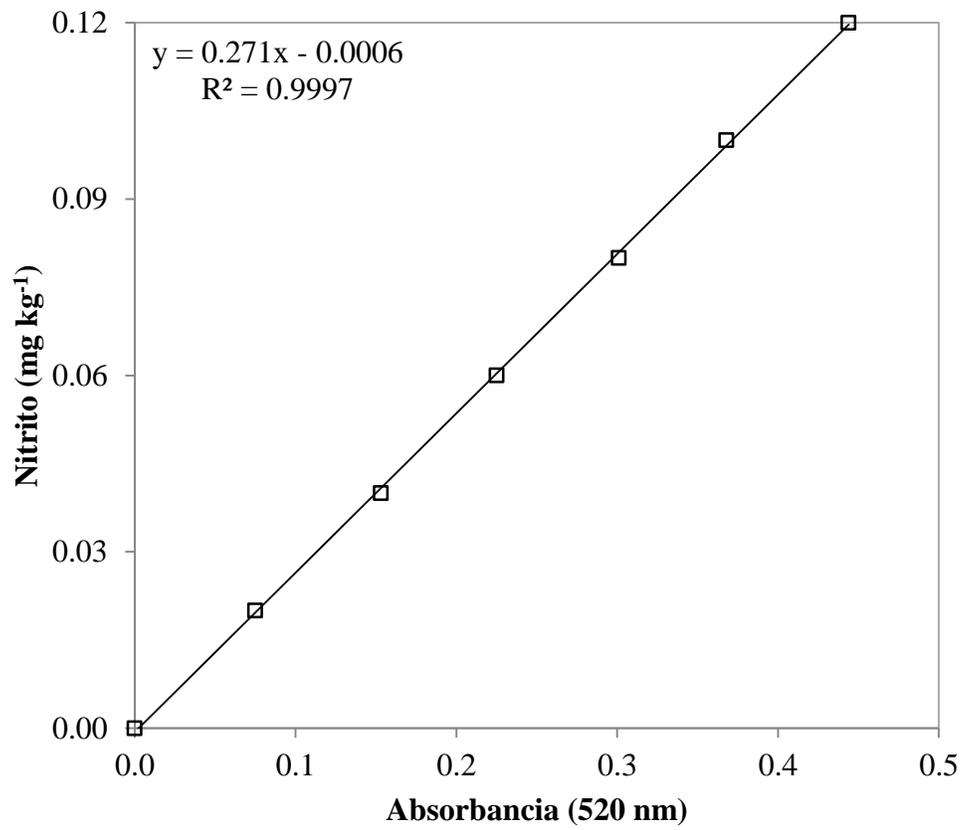


Figura A.4. Curva de calibración de nitrito.

8.3. Experimentos

8.3.1. Experimento 1: Láminas de riego y dosis de nitrógeno

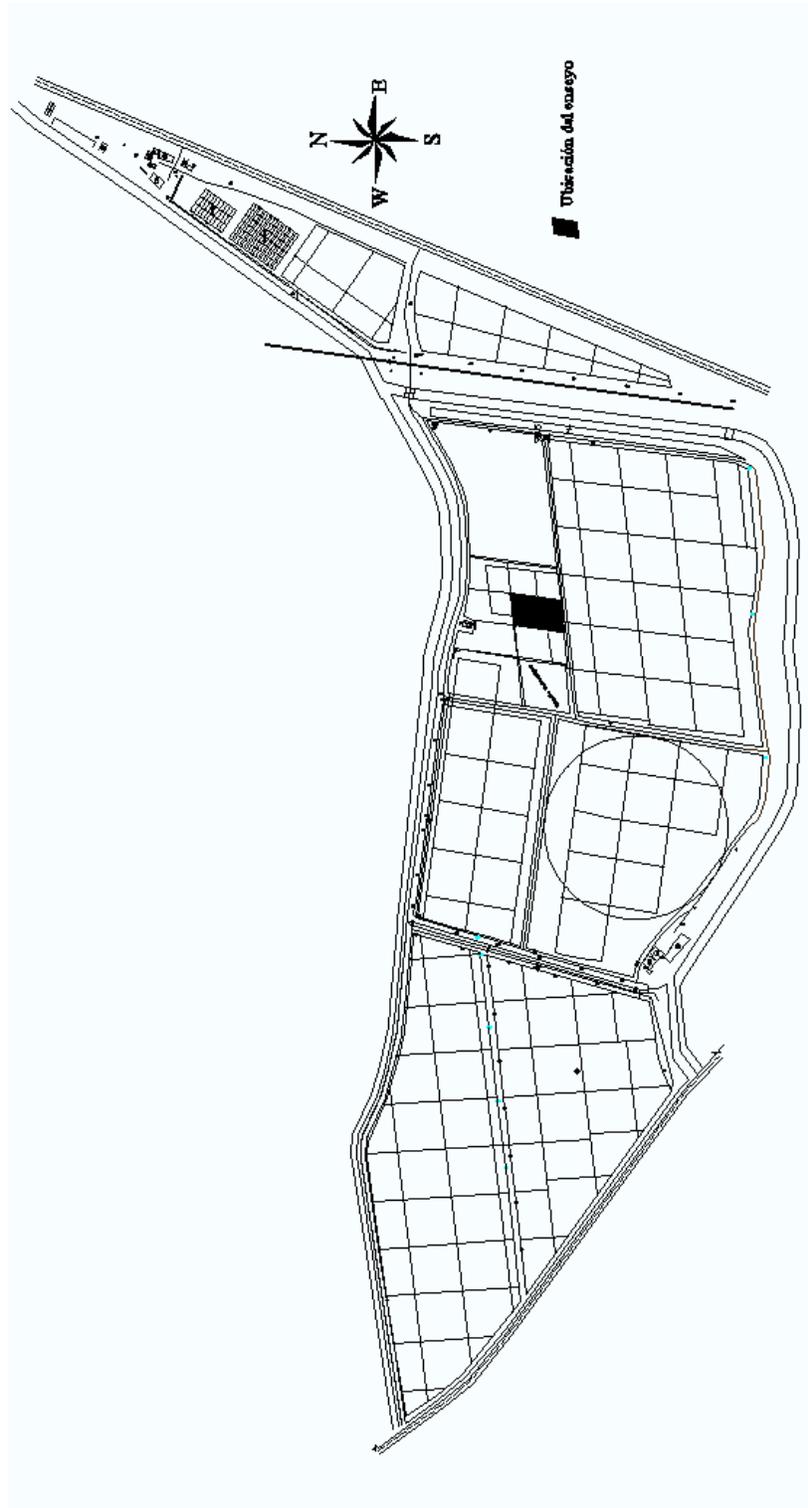


Figura A.5. Ubicación del experimento, Campo Experimental Tlapeaxco, Universidad Autónoma Chapingo.

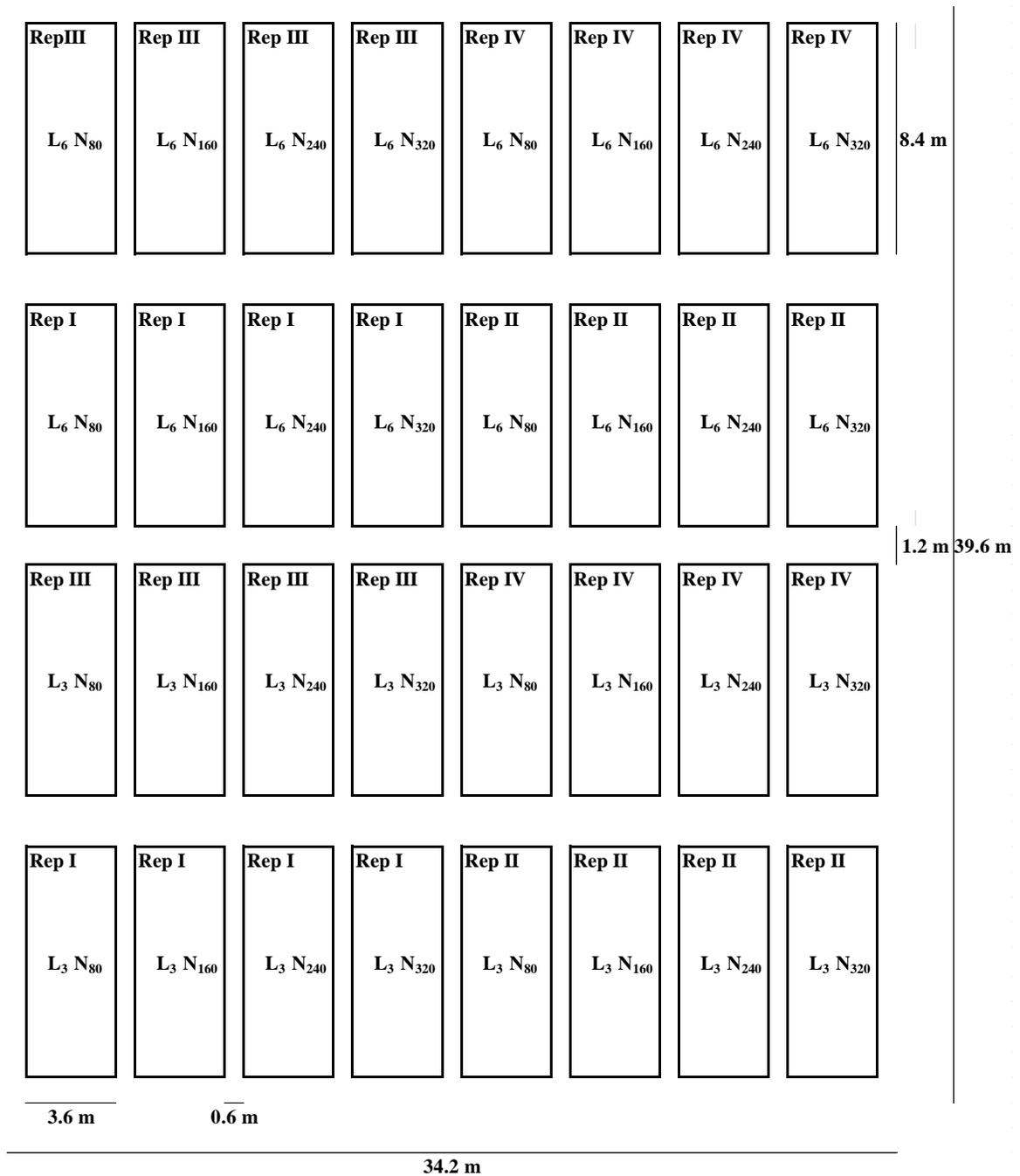


Figura A.6. Distribución de los tratamientos en el sitio experimental, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Cuadro A.10. Datos climáticos diarios, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

mes	Fecha día	D _{dt}	Temperatura			U _T	P	E	H _R	
			máx.	mín.	media		diaria	diaria	máx.	mín.
			°C			mm		%		
10	3	1	23.9	2.3	13.1	8.7	0.0	3.7	81	3
	4	2	26.1	2.4	14.3	18.6	0.0	4.4	83	5
	5	3	25.1	1.7	13.4	27.6	0.0	8.9	85	7
	6	4	24.6	4.6	14.6	37.8	0.0	5.6	86	10
	7	5	25.2	3.8	14.5	47.9	0.0	4.8	81	8
	8	6	24.0	7.3	15.7	59.1	0.0	3.5	92	24
	9	7	24.6	7.6	16.1	70.8	4.8	4.8	95	21
	10	8	23.2	7.2	15.2	81.6	1.0	2.0	92	28
	11	9	25.5	7.8	16.7	93.9	0.0	7.7	95	16
	12	10	23.2	6.6	14.9	104.4	0.0	2.1	94	25
	13	11	24.7	8.6	16.7	116.6	0.0	3.8	94	22
	14	12	26.5	6.4	16.5	128.7	0.0	4.1	94	8
	15	13	25.4	3.4	14.4	138.7	0.0	6.0	88	6
	16	14	25.6	3.8	14.7	149.0	0.0	2.8	85	7
	17	15	25.3	6.3	15.8	160.4	0.0	4.2	76	8
	18	16	26.7	6.2	16.5	172.4	0.0	5.2	79	11
	19	17	26.1	6.0	16.1	184.1	0.0	6.1	81	11
	20	18	25.2	7.0	16.1	195.8	0.0	5.2	81	8
	21	19	26.1	4.4	15.3	206.6	0.0	4.2	81	5
	22	20	26.0	5.2	15.6	217.8	0.0	4.4	96	10
	23	21	27.5	5.4	16.5	229.9	0.0	3.3	89	9
	24	22	26.2	7.1	16.7	242.1	0.0	6.7	75	2
	25	23	25.2	4.3	14.8	252.5	0.0	2.8	76	3
	26	24	26.0	1.4	13.7	261.8	0.0	9.3	70	6
	27	25	24.3	1.6	13.0	270.3	0.0	5.6	65	11
	28	26	24.7	5.3	15.0	280.9	0.0	2.5	83	11
	29	27	28.5	5.2	16.9	293.4	0.0	3.3	80	6
	30	28	22.7	7.6	15.2	304.1	0.0	2.9	86	9
	31	29	22.3	3.6	13.0	312.7	0.0	5.2	76	9
11	1	30	21.0	6.6	13.8	322.1	0.0	1.9	64	11
	2	31	19.5	5.4	12.5	330.1	0.0	3.1	94	20
	3	32	21.2	6.1	13.7	339.4	0.0	3.8	84	21
	4	33	19.4	8.0	13.7	348.7	0.0	0.8	84	30
	5	34	19.6	10.4	15.0	359.3	0.0	2.5	96	32
	6	35	18.9	10.7	14.8	369.7	0.0	3.2	80	22
	7	36	22.5	1.8	12.2	377.4	0.0	2.6	83	5
	8	37	21.6	1.6	11.6	384.6	0.0	3.6	82	7
	9	38	22.7	2.2	12.5	392.7	4.8	4.3	90	12
	10	39	24.1	1.8	13.0	401.2	1.0	4.8	83	8
	11	40	23.7	3.2	13.5	410.3	0.0	3.7	84	13

Cuadro A.10. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	Temperatura			U _T	P	E	H _R		
			máx.	mín.	media		diaria	diaria	máx.	mín.	
			°C			mm		%			
11	12	41	23.4	5.0	14.2	420.1	0.0	3.7	89	9	
	13	42	20.4	7.4	13.9	429.6	0.0	3.3	84	29	
	14	43	20.2	5.2	12.7	437.9	0.0	3.9	79	23	
	15	44	23.0	3.1	13.1	446.5	0.0	4.6	81	12	
	16	45	23.1	2.4	12.8	454.9	0.0	4.2	78	20	
	17	46	20.6	5.2	12.9	463.4	0.0	4.9	69	19	
	18	47	24.1	4.0	14.1	473.0	0.0	3.7	86	5	
	19	48	24.2	0.8	12.5	481.1	0.0	5.9	76	3	
	20	49	24.5	0.6	12.6	489.3	0.0	3.8	86	6	
	21	50	22.2	0.7	11.5	496.3	0.0	3.0	74	16	
	22	51	21.0	2.2	11.6	503.5	0.0	3.6	76	14	
	23	52	22.2	3.0	12.6	511.7	0.0	4.9	80	9	
	24	53	20.0	3.6	11.8	519.1	0.0	3.7	76	7	
	25	54	20.7	0.6	10.7	525.4	0.0	3.4	90	12	
	26	55	23.1	1.4	12.3	533.2	0.0	1.5	-	-	
	27	56	23.0	1.6	12.3	541.1	0.0	4.6	-	-	
	28	57	21.5	1.2	11.4	548.1	0.0	4.0	-	-	
	29	58	22.6	1.9	12.3	555.9	0.0	3.0	-	-	
	30	59	22.6	2.2	12.4	563.9	0.0	3.6	-	-	
	12	1	60	21.6	3.4	12.5	572.0	0.0	3.6	82	13
		2	61	22.0	1.6	11.8	579.4	0.0	2.9	82	9
		3	62	22.8	1.0	11.9	586.9	0.0	5.1	88	7
		4	63	22.4	1.6	12.0	594.5	0.0	3.2	74	6
		5	64	20.4	-0.6	9.9	600.0	0.0	5.6	76	11
		6	65	21.4	-0.1	10.7	606.3	0.0	2.4	86	3
		7	66	23.3	-0.3	11.5	613.4	0.0	5.7	72	4
		8	67	23.0	-0.2	11.4	620.4	0.0	4.2	71	6
		9	68	24.8	0.4	12.6	628.6	0.0	4.3	79	7
		10	69	25.3	1.4	13.4	637.5	0.0	3.6	91	7
		11	70	21.4	2.9	12.2	645.3	0.0	7.9	60	18
12		71	23.5	5.3	14.4	655.3	0.0	2.9	80	12	
13		72	22.0	3.4	12.7	663.6	0.0	1.8	88	13	
14		73	24.1	2.6	13.4	672.5	0.0	5.3	88	13	
15		74	24.1	2.4	13.3	681.4	0.0	2.1	86	12	
16		75	25.5	3.2	14.4	691.3	0.0	4.8	90	8	
17		76	25.5	1.4	13.5	700.4	0.0	4.6	80	2	
18		77	23.3	2.4	12.9	708.8	0.0	3.9	85	14	
19		78	24.1	2.2	13.2	717.6	0.0	4.6	84	8	
20		79	23.1	1.4	12.3	725.4	0.0	4.2	86	13	
21		80	20.4	2.5	11.5	732.5	0.0	3.4	79	16	

Cuadro A.10. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	Temperatura			U _T	P diaria	E diaria	H _R	
			máx.	mín.	media				máx.	mín.
			°C			mm		%		
12	22	81	21.1	-1.5	9.8	737.9	0.0	2.2	90	12
	23	82	23.8	-1.4	11.2	744.7	0.0	4.3	87	6
	24	83	24.8	0.4	12.6	752.9	0.0	4.2	100	5
	25	84	23.1	1.4	12.3	760.7	0.0	3.7	74	4
	26	85	21.0	2.4	11.7	768.0	0.0	4.8	82	14
	27	86	23.0	2.2	12.6	776.2	0.0	7.0	76	11
	28	87	24.2	3.1	13.7	785.5	0.0	4.8	66	3
	29	88	24.2	0.5	12.4	793.4	0.0	3.5	74	12
	30	89	22.0	0.4	11.2	800.2	0.0	4.7	82	13
	31	90	22.3	0.1	11.2	807.0	0.0	3.6	81	15
1	1	91	22.6	2.8	12.7	815.3	0.0	4.5	84	15
	2	92	17.8	3.0	10.4	821.3	0.0	4.0	78	29
	3	93	20.5	5.4	13.0	829.9	0.0	2.6	83	19
	4	94	22.1	3.0	12.6	838.0	0.0	3.4	86	14
	5	95	21.9	2.7	12.3	845.9	0.0	4.5	83	13
	6	96	23.7	2.0	12.9	854.4	0.0	5.0	85	8
	7	97	22.7	4.0	13.4	863.3	0.0	5.2	92	11
	8	98	21.0	4.3	12.7	871.6	0.0	7.3	74	21
	9	99	20.6	6.0	13.3	880.5	0.0	3.4	59	19
	10	100	25.5	2.0	13.8	889.8	0.0	6.3	78	6

D_{dt} = Días después del trasplante, U_T = Unidades térmicas, P = Precipitación, E = Evaporación y H_R = Humedad relativa.

Cuadro A.11. Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 3 mm.

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o mm	K _c	ET _c mm	P _e mm	L _n mm	B _H mm
10	3	1	2.7	0.80	2.1	0.0	3.0	0.8
	4	2	3.3	0.80	2.6	0.0	3.0	0.3
	5	3	6.6	0.80	5.3	0.0	3.0	- 2.3
	6	4	4.1	0.80	3.3	0.0	3.0	- 0.3
	7	5	3.5	0.80	2.8	0.0	3.0	0.1
	8	6	2.5	0.80	2.0	0.0	3.0	0.9
	9	7	3.5	0.80	2.8	4.7	3.0	4.8
	10	8	1.4	0.80	1.1	0.9	3.0	2.8
	11	9	5.7	0.80	4.6	0.0	3.0	- 1.6
	12	10	1.5	0.80	1.2	0.0	3.0	1.7
	13	11	2.8	0.80	2.2	0.0	3.0	0.7
	14	12	3.0	0.80	2.4	0.0	3.0	0.5
	15	13	4.4	0.80	3.5	0.0	3.0	- 0.5
	16	14	2.0	0.80	1.6	0.0	3.0	1.3
	17	15	3.1	0.80	2.4	0.0	3.0	0.5
	18	16	3.8	0.80	3.1	0.0	3.0	- 0.1
	19	17	4.5	0.80	3.6	0.0	3.0	- 0.6
	20	18	3.9	0.80	3.1	0.0	3.0	- 0.1
	21	19	3.1	0.80	2.5	0.0	3.0	0.4
	22	20	3.2	0.80	2.6	0.0	3.0	0.3
	23	21	2.4	0.85	2.1	0.0	3.0	0.8
	24	22	5.0	0.85	4.2	0.0	3.0	- 1.2
	25	23	2.0	0.85	1.7	0.0	3.0	1.2
	26	24	6.9	0.85	5.9	0.0	3.0	- 2.9
	27	25	4.2	0.85	3.5	0.0	3.0	- 0.5
	28	26	1.8	0.85	1.5	0.0	3.0	1.4
	29	27	2.4	0.85	2.0	0.0	3.0	0.9
	30	28	2.1	0.85	1.8	0.0	3.0	1.1
	31	29	3.8	0.85	3.2	0.0	3.0	- 0.2
11	1	30	1.4	0.85	1.2	0.0	3.0	1.7
	2	31	2.3	0.85	1.9	0.0	3.0	1.0
	3	32	2.8	0.85	2.4	2.8	3.0	3.4
	4	33	0.5	0.85	0.4	0.0	3.0	2.5
	5	34	1.8	0.85	1.5	2.4	3.0	3.9
	6	35	2.4	0.85	2.0	0.0	3.0	0.9
	7	36	1.9	0.85	1.6	0.0	3.0	1.3
	8	37	2.6	0.85	2.2	0.0	3.0	0.7
	9	38	3.2	0.85	2.7	0.0	3.0	0.2
	10	39	3.5	0.85	3.0	0.0	3.0	- 0.0
	11	40	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6

Cuadro A.11. Continuación...

mes	Fecha día	D_{dt}	ET_o mm	K_c	ET_c mm	P_e mm	L_n mm	B_H mm
11	12	41	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6
	13	42	2.5	0.85	2.1	0.0	3.0	0.8
	14	43	2.9	0.85	2.4	0.0	3.0	0.5
	15	44	3.4	0.85	2.9	0.0	3.0	0.0
	16	45	3.1	0.85	2.7	0.0	3.0	0.2
	17	46	3.6	0.85	3.1	0.0	3.0	-0.1
	18	47	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6
	19	48	4.4	0.85	3.7	0.0	3.0	-0.7
	20	49	2.8	0.85	2.4	0.0	3.0	0.5
	21	50	2.2	0.85	1.9	0.0	3.0	1.0
	22	51	2.6	0.85	2.2	0.0	3.0	0.7
	23	52	3.6	0.85	3.1	0.0	3.0	-0.1
	24	53	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6
	25	54	2.5	0.85	2.1	0.0	3.0	0.8
	26	55	1.1	0.85	0.9	0.0	3.0	2.0
	27	56	3.4	0.85	2.9	0.0	3.0	0.0
	28	57	2.9	0.85	2.5	0.0	3.0	0.4
	29	58	2.2	0.85	1.9	0.0	3.0	1.1
	30	59	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6
12	1	60	2.7	0.85	2.3	0.0	3.0	0.6
	2	61	2.1	0.85	1.8	0.0	3.0	1.1
	3	62	3.8	0.85	3.2	0.0	3.0	-0.2
	4	63	2.4	0.85	2.0	0.0	3.0	0.9
	5	64	4.1	0.85	3.5	0.0	3.0	-0.5
	6	65	1.8	0.85	1.5	0.0	3.0	1.4
	7	66	4.2	0.85	3.6	0.0	3.0	-0.6
	8	67	3.1	0.85	2.6	0.0	3.0	0.3
	9	68	3.2	0.85	2.7	0.0	3.0	0.2
	10	69	2.6	0.85	2.2	0.0	3.0	0.7
	11	70	5.9	0.85	5.0	0.0	3.0	-2.0
	12	71	2.1	0.85	1.8	0.0	3.0	1.1
	13	72	1.3	0.85	1.1	0.0	3.0	1.8
	14	73	3.9	0.85	3.3	0.0	3.0	-0.3
	15	74	1.5	0.85	1.3	0.0	3.0	1.6
	16	75	3.5	0.85	3.0	0.0	3.0	-0.0
	17	76	3.4	1.05	3.5	0.0	3.0	-0.5
	18	77	2.9	1.05	3.0	0.0	3.0	-0.0
	19	78	3.4	1.05	3.6	0.0	3.0	-0.6
	20	79	3.1	1.05	3.3	0.0	3.0	-0.3
	21	80	2.5	1.05	2.7	0.0	3.0	0.2

Cuadro A.11. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o	K _c	ET _c	P _e	L _n	B _H
			mm		mm			mm
12	22	81	1.6	1.05	1.7	0.0	3.0	1.2
	23	82	3.2	1.05	3.3	0.0	3.0	- 0.3
	24	83	3.1	1.05	3.3	0.0	3.0	- 0.3
	25	84	2.7	1.05	2.9	0.0	3.0	0.0
	26	85	3.5	1.05	3.7	0.0	3.0	- 0.7
	27	86	5.2	0.95	5.0	0.0	3.0	- 2.0
	28	87	3.5	0.95	3.3	0.0	3.0	- 0.3
	29	88	2.5	0.95	2.4	0.0	3.0	0.5
	30	89	3.5	0.95	3.3	0.0	3.0	- 0.3
	31	90	2.6	0.95	2.5	0.0	3.0	0.4
	1	1	91	3.4	0.95	3.2	0.0	3.0
2		92	3.0	0.95	2.8	0.0	3.0	0.1
3		93	1.9	0.95	1.8	0.0	3.0	1.1
4		94	2.5	0.95	2.4	0.0	3.0	0.5
5		95	3.3	0.95	3.1	0.0	3.0	- 0.1
6		96	3.7	0.95	3.5	0.0	3.0	- 0.5
7		97	3.8	0.95	3.6	0.0	3.0	- 0.6
8		98	5.4	0.95	5.2	0.0	3.0	- 2.2
9		99	2.5	0.95	2.3	0.0	3.0	0.6
10		100	4.7	0.95	4.4	0.0	3.0	- 1.4
Total					273.5	11.1	300.0	37.5

D_{dt} = Días después del trasplante, ET_o = Evapotranspiración potencial, K_c = Coeficiente de desarrollo del cultivo, ET_c o U_C = Evapotranspiración del cultivo o Uso consuntivo, P_e = Precipitación efectiva, L_n = Lámina de riego neta y B_H = Balance hídrico.

Cuadro A.12. Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 6 mm.

mes	Fecha día	D_{dt}	ET_o mm	K_c	ET_c mm	P_e mm	L_n mm	B_H mm
10	3	1	2.7	0.80	2.1	0.0	6.0	3.8
	4	2	3.3	0.80	2.6	0.0	6.0	3.3
	5	3	6.6	0.80	5.3	0.0	6.0	0.6
	6	4	4.1	0.80	3.3	0.0	6.0	2.6
	7	5	3.5	0.80	2.8	0.0	6.0	3.1
	8	6	2.5	0.80	2.0	0.0	6.0	3.9
	9	7	3.5	0.80	2.8	4.7	6.0	7.8
	10	8	1.4	0.80	1.1	0.9	6.0	5.8
	11	9	5.7	0.80	4.6	0.0	6.0	1.3
	12	10	1.5	0.80	1.2	0.0	6.0	4.7
	13	11	2.8	0.80	2.2	0.0	6.0	3.7
	14	12	3.0	0.80	2.4	0.0	6.0	3.5
	15	13	4.4	0.80	3.5	0.0	6.0	2.4
	16	14	2.0	0.80	1.6	0.0	6.0	4.3
	17	15	3.1	0.80	2.4	0.0	6.0	3.5
	18	16	3.8	0.80	3.1	0.0	6.0	2.8
	19	17	4.5	0.80	3.6	0.0	6.0	2.3
	20	18	3.9	0.80	3.1	0.0	6.0	2.8
	21	19	3.1	0.80	2.5	0.0	6.0	3.4
	22	20	3.2	0.80	2.6	0.0	6.0	3.3
	23	21	2.4	0.85	2.1	0.0	6.0	3.8
	24	22	5.0	0.85	4.2	0.0	6.0	1.7
	25	23	2.0	0.85	1.7	0.0	6.0	4.2
	26	24	6.9	0.85	5.9	0.0	6.0	0.0
	27	25	4.2	0.85	3.5	0.0	6.0	2.4
	28	26	1.8	0.85	1.5	0.0	6.0	4.4
	29	27	2.4	0.85	2.0	0.0	6.0	3.9
	30	28	2.1	0.85	1.8	0.0	6.0	4.1
	31	29	3.8	0.85	3.2	0.0	6.0	2.7
11	1	30	1.4	0.85	1.2	0.0	6.0	4.7
	2	31	2.3	0.85	1.9	0.0	6.0	4.0
	3	32	2.8	0.85	2.4	2.8	6.0	6.4
	4	33	0.5	0.85	0.4	0.0	6.0	5.5
	5	34	1.8	0.85	1.5	2.4	6.0	6.9
	6	35	2.4	0.85	2.0	0.0	6.0	3.9
	7	36	1.9	0.85	1.6	0.0	6.0	4.3
	8	37	2.6	0.85	2.2	0.0	6.0	3.7
	9	38	3.2	0.85	2.7	0.0	6.0	3.2
	10	39	3.5	0.85	3.0	0.0	6.0	2.9
	11	40	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6

Cuadro A.12. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o	K _c	ET _c	P _e	L _n	B _H	
			mm		mm			mm	mm
11	12	41	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6	
	13	42	2.5	0.85	2.1	0.0	6.0	3.8	
	14	43	2.9	0.85	2.4	0.0	6.0	3.5	
	15	44	3.4	0.85	2.9	0.0	6.0	3.0	
	16	45	3.1	0.85	2.7	0.0	6.0	3.2	
	17	46	3.6	0.85	3.1	0.0	6.0	2.8	
	18	47	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6	
	19	48	4.4	0.85	3.7	0.0	6.0	2.2	
	20	49	2.8	0.85	2.4	0.0	6.0	3.5	
	21	50	2.2	0.85	1.9	0.0	6.0	4.0	
	22	51	2.6	0.85	2.2	0.0	6.0	3.7	
	23	52	3.6	0.85	3.1	0.0	6.0	2.8	
	24	53	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6	
	25	54	2.5	0.85	2.1	0.0	6.0	3.8	
	26	55	1.1	0.85	0.9	0.0	6.0	5.0	
	27	56	3.4	0.85	2.9	0.0	6.0	3.0	
	28	57	2.9	0.85	2.5	0.0	6.0	3.4	
	29	58	2.2	0.85	1.9	0.0	6.0	4.1	
	30	59	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6	
	12	1	60	2.7	0.85	2.3	0.0	6.0	3.6
		2	61	2.1	0.85	1.8	0.0	6.0	4.1
		3	62	3.8	0.85	3.2	0.0	6.0	2.7
		4	63	2.4	0.85	2.0	0.0	6.0	3.9
		5	64	4.1	0.85	3.5	0.0	6.0	2.4
		6	65	1.8	0.85	1.5	0.0	6.0	4.4
		7	66	4.2	0.85	3.6	0.0	6.0	2.3
		8	67	3.1	0.85	2.6	0.0	6.0	3.3
		9	68	3.2	0.85	2.7	0.0	6.0	3.2
		10	69	2.6	0.85	2.2	0.0	6.0	3.7
		11	70	5.9	0.85	5.0	0.0	6.0	0.9
12		71	2.1	0.85	1.8	0.0	6.0	4.1	
13		72	1.3	0.85	1.1	0.0	6.0	4.8	
14		73	3.9	0.85	3.3	0.0	6.0	2.6	
15		74	1.5	0.85	1.3	0.0	6.0	4.6	
16		75	3.5	0.85	3.0	0.0	6.0	2.9	
17		76	3.4	1.05	3.5	0.0	6.0	2.4	
18		77	2.9	1.05	3.0	0.0	6.0	2.9	
19		78	3.4	1.05	3.6	0.0	6.0	2.3	
20		79	3.1	1.05	3.3	0.0	6.0	2.6	
21		80	2.5	1.05	2.7	0.0	6.0	3.2	

Cuadro A.12. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o	K _c	ET _c	P _e	L _n	B _H
			mm		mm			mm
12	22	81	1.6	1.05	1.7	0.0	6.0	4.2
	23	82	3.2	1.05	3.3	0.0	6.0	2.6
	24	83	3.1	1.05	3.3	0.0	6.0	2.6
	25	84	2.7	1.05	2.9	0.0	6.0	3.0
	26	85	3.5	1.05	3.7	0.0	6.0	2.2
	27	86	5.2	0.95	5.0	0.0	6.0	0.9
	28	87	3.5	0.95	3.3	0.0	6.0	2.6
	29	88	2.5	0.95	2.4	0.0	6.0	3.5
	30	89	3.5	0.95	3.3	0.0	6.0	2.6
	31	90	2.6	0.95	2.5	0.0	6.0	3.4
	1	1	91	3.4	0.95	3.2	0.0	6.0
2		92	3.0	0.95	2.8	0.0	6.0	3.1
3		93	1.9	0.95	1.8	0.0	6.0	4.1
4		94	2.5	0.95	2.4	0.0	6.0	3.5
5		95	3.3	0.95	3.1	0.0	6.0	2.8
6		96	3.7	0.95	3.5	0.0	6.0	2.4
7		97	3.8	0.95	3.6	0.0	6.0	2.3
8		98	5.4	0.95	5.2	0.0	6.0	0.7
9		99	2.5	0.95	2.3	0.0	6.0	3.6
10		100	4.7	0.95	4.4	0.0	6.0	1.5
Total					273.5	11.1	600.0	337.5

D_{dt} = Días después del trasplante, ET_o = Evapotranspiración potencial, K_c = Coeficiente de desarrollo del cultivo, ET_c o U_C = Evapotranspiración del cultivo o Uso consuntivo, P_e = Precipitación efectiva, L_n = Lámina de riego neta y B_H = Balance hídrico.

Cuadro A.13. Peso fresco de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
g planta⁻¹								
L ₃	N ₈₀	1	0.6	1.1	1.6	21.9	29.7	44.3
		2	0.6	1.3	2.6	26.1	40.4	49.8
		3	0.6	1.1	3.5	16.1	31.9	78.7
		4	0.6	1.9	1.3	35.8	57.3	71.4
	N ₁₆₀	1	0.6	1.0	1.8	23.7	52.3	50.1
		2	0.6	0.6	2.8	20.1	38.7	61.0
		3	0.6	1.3	2.6	23.8	51.9	81.3
		4	0.6	1.0	3.0	26.6	41.0	77.9
	N ₂₄₀	1	0.6	1.5	2.5	15.8	59.9	56.6
		2	0.6	1.4	3.7	17.4	53.6	51.5
		3	0.6	1.1	2.4	22.2	63.5	55.5
		4	0.6	1.2	2.9	29.1	57.5	78.1
	N ₃₂₀	1	0.6	1.0	6.4	15.5	43.8	51.0
		2	0.6	1.8	3.2	18.9	47.8	62.0
		3	0.6	2.0	4.7	29.9	37.8	56.3
		4	0.6	1.2	2.6	19.2	47.5	67.9
L ₆	N ₈₀	1	0.6	1.8	1.4	19.3	29.5	84.2
		2	0.6	1.6	1.2	28.1	36.6	74.0
		3	0.6	1.4	2.1	29.0	49.6	86.4
		4	0.6	1.3	2.7	17.8	31.1	87.9
	N ₁₆₀	1	0.6	2.2	3.3	26.2	70.4	69.3
		2	0.6	1.5	2.7	29.1	38.1	67.3
		3	0.6	2.0	3.9	16.1	40.6	76.3
		4	0.6	1.7	2.8	32.2	41.5	63.4
	N ₂₄₀	1	0.6	3.0	6.2	16.4	71.6	81.1
		2	0.6	1.9	3.9	23.8	49.1	67.9
		3	0.6	1.7	3.6	31.3	39.1	58.3
		4	0.6	1.5	4.2	27.7	35.7	81.1
	N ₃₂₀	1	0.6	1.5	5.0	29.1	52.7	68.1
		2	0.6	1.7	3.7	25.5	70.8	62.9
		3	0.6	1.8	3.6	28.0	76.6	78.3
		4	0.6	1.5	3.9	22.2	50.2	85.3

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y Rep = Repetición.

Cuadro A.14. Peso fresco del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
g planta⁻¹								
L ₃	N ₈₀	1	0.3	1.5	12.5	121.9	145.6	254.6
		2	0.3	1.7	15.3	111.6	187.6	389.9
		3	0.3	1.4	14.5	98.5	232.7	334.5
		4	0.3	2.6	6.3	85.2	222.6	268.6
	N ₁₆₀	1	0.3	2.0	13.6	98.7	218.2	311.6
		2	0.3	1.6	18.2	63.5	167.6	300.3
		3	0.3	1.7	18.2	95.2	284.8	461.5
		4	0.3	1.1	11.4	82.0	179.3	340.7
	N ₂₄₀	1	0.3	2.1	19.8	67.5	291.6	348.7
		2	0.3	1.4	18.9	76.7	231.3	329.7
		3	0.3	1.5	15.8	73.4	209.6	336.0
		4	0.3	1.6	15.0	99.5	189.2	315.8
	N ₃₂₀	1	0.3	2.1	38.9	86.2	163.5	308.3
		2	0.3	3.2	18.0	98.7	244.2	332.7
		3	0.3	3.7	22.1	89.0	163.3	295.8
		4	0.3	2.3	19.3	113.9	135.1	331.5
L ₆	N ₈₀	1	0.3	2.6	9.9	82.4	125.3	347.9
		2	0.3	2.3	8.9	78.2	186.7	301.5
		3	0.3	2.3	9.4	98.2	234.1	342.4
		4	0.3	2.7	11.7	95.2	123.5	353.4
	N ₁₆₀	1	0.3	2.3	16.9	108.7	258.5	454.6
		2	0.3	1.3	13.0	111.0	117.1	250.6
		3	0.3	3.6	21.4	93.4	253.1	352.4
		4	0.3	3.3	13.9	97.4	213.3	309.5
	N ₂₄₀	1	0.3	4.2	33.1	57.7	270.6	415.0
		2	0.3	1.6	20.5	77.1	190.1	369.0
		3	0.3	3.5	17.0	105.2	155.6	336.5
		4	0.3	2.2	19.6	89.3	213.8	397.2
	N ₃₂₀	1	0.3	2.2	27.7	115.4	240.2	384.7
		2	0.3	3.1	14.0	79.9	198.1	266.2
		3	0.3	3.0	22.6	126.1	276.1	410.0
		4	0.3	2.7	25.3	83.5	194.1	374.8

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y Rep = Repetición.

Cuadro A.15. Peso fresco de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante						
			1	20	40	60	80	100	50 H _D
			g planta⁻¹						
L ₃	N ₈₀	1	1.4	11.1	89.1	918.0	791.0	965.0	5.3
		2	1.4	12.2	114.4	693.1	1134.7	1416.2	9.0
		3	1.4	9.7	124.8	748.2	1469.6	1446.9	4.3
		4	1.4	16.0	47.0	711.6	1469.7	1470.4	6.1
	N ₁₆₀	1	1.4	16.9	91.6	975.0	1222.7	1226.0	5.7
		2	1.4	10.2	115.4	443.5	988.5	1119.6	6.0
		3	1.4	11.4	130.4	281.5	1575.5	2247.8	7.0
		4	1.4	7.9	82.9	619.4	912.0	1455.0	5.6
	N ₂₄₀	1	1.4	14.3	111.4	444.3	1617.2	1349.5	7.7
		2	1.4	8.9	123.8	581.5	1496.8	1343.6	4.3
		3	1.4	8.8	123.5	600.8	1318.5	1551.9	8.2
		4	1.4	10.1	137.1	750.2	1070.1	1488.1	3.4
	N ₃₂₀	1	1.4	15.5	244.9	666.2	1045.1	1382.7	7.8
		2	1.4	20.0	129.2	729.9	1567.2	1603.0	7.9
		3	1.4	25.4	144.5	762.0	932.5	1072.3	4.6
		4	1.4	14.1	109.7	855.4	890.3	1426.0	5.0
L ₆	N ₈₀	1	1.4	18.8	69.9	562.6	736.4	1628.8	6.5
		2	1.4	14.9	58.7	662.9	1155.0	1003.5	4.5
		3	1.4	14.4	78.8	850.2	1561.7	1469.2	5.7
		4	1.4	14.2	82.3	641.4	814.9	1711.2	4.8
	N ₁₆₀	1	1.4	10.9	118.1	894.6	1755.4	2160.2	4.3
		2	1.4	8.9	107.5	817.3	730.7	1073.6	6.5
		3	1.4	23.7	150.8	665.9	1550.2	1431.8	6.8
		4	1.4	18.0	099.9	767.1	1390.0	1156.3	4.3
	N ₂₄₀	1	1.4	27.3	206.9	525.9	1770.9	1840.6	6.7
		2	1.4	10.6	159.8	626.7	1212.9	1454.3	6.9
		3	1.4	18.0	135.6	722.9	961.5	1280.4	4.1
		4	1.4	16.4	141.6	748.3	1311.9	1757.3	5.7
	N ₃₂₀	1	1.4	14.5	184.8	822.7	1431.3	1698.8	4.8
		2	1.4	22.2	104.5	654.7	1329.5	970.2	6.8
		3	1.4	18.5	158.2	708.5	1768.3	1457.1	4.7
		4	1.4	14.7	178.2	665.5	1460.3	1905.7	5.4

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), H_D = Hoja diagnóstico y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.16. Peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante				
			80	85	90	95	100
			g planta⁻¹				
L ₃	N ₈₀	1	41.3	294.3	432.8	631.4	663.6
		2	77.2	230.8	331.2	532.0	1134.8
		3	85.8	374.5	605.6	719.5	905.4
		4	78.7	341.6	422.9	624.8	733.5
	N ₁₆₀	1	186.6	435.7	477.6	598.1	833.1
		2	47.3	283.3	495.2	645.1	798.2
		3	200.7	528.2	713.0	936.6	1184.1
		4	41.1	243.1	308.3	595.3	760.0
	N ₂₄₀	1	189.3	522.8	545.7	606.1	799.1
		2	105.7	453.2	482.5	884.3	1037.0
		3	102.6	407.3	480.1	613.0	1046.6
		4	26.0	350.1	596.1	755.2	842.9
	N ₃₂₀	1	61.9	423.4	449.1	615.2	842.1
		2	114.9	356.8	630.8	793.4	1111.0
		3	36.2	429.9	483.1	700.8	892.7
		4	33.3	361.1	539.9	910.2	784.8
L ₆	N ₈₀	1	24.1	358.8	566.7	806.0	1098.6
		2	68.4	529.3	648.6	695.2	639.2
		3	92.1	396.8	472.0	722.6	1038.5
		4	19.5	677.9	720.8	674.7	1036.6
	N ₁₆₀	1	125.7	475.5	752.9	694.8	1202.7
		2	16.7	423.6	391.0	843.1	925.2
		3	109.8	356.0	496.9	863.2	1289.3
		4	58.7	371.6	627.4	870.5	873.0
	N ₂₄₀	1	170.9	444.9	526.0	798.3	1209.0
		2	55.7	499.5	644.9	1058.4	824.7
		3	26.8	560.6	577.0	756.0	941.4
		4	63.2	596.0	755.5	893.3	1264.5
	N ₃₂₀	1	85.6	493.5	551.0	1057.0	1171.1
		2	60.5	402.0	650.5	860.8	796.6
		3	121.9	646.4	746.8	858.8	1032.2
		4	71.1	336.2	691.1	905.9	1155.1

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.17. Peso fresco aéreo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
			g planta⁻¹					
L ₃	N ₈₀	1	1.7	12.6	101.6	1039.9	978.1	1883.3
		2	1.7	13.9	129.7	804.8	1399.5	2941.0
		3	1.7	11.1	139.4	846.7	1788.2	2686.9
		4	1.7	18.7	53.4	796.8	1771.2	2472.6
	N ₁₆₀	1	1.7	18.9	105.2	1073.7	1627.6	2370.8
		2	1.7	11.9	133.7	507.1	1203.5	2218.1
		3	1.7	13.1	148.7	376.8	2061.1	3893.5
		4	1.7	9.1	94.3	701.4	1132.5	2555.7
	N ₂₄₀	1	1.7	16.5	131.2	511.8	2098.2	2497.4
		2	1.7	10.4	142.7	658.3	1833.9	2710.3
		3	1.7	10.3	139.4	674.2	1630.8	2934.6
		4	1.7	11.8	152.1	849.7	1285.4	2646.9
	N ₃₂₀	1	1.7	17.7	283.9	752.4	1270.7	2533.2
		2	1.7	23.3	147.2	828.6	1926.5	3046.7
		3	1.7	29.1	166.7	851.0	1132.1	2260.9
		4	1.7	16.4	129.1	969.3	1058.9	2542.5
L ₆	N ₈₀	1	1.7	21.5	79.8	645.1	885.9	3075.3
		2	1.7	17.2	67.7	741.1	1410.2	1944.2
		3	1.7	16.7	88.2	948.5	1888.0	2850.2
		4	1.7	16.9	94.1	736.7	957.9	3101.3
	N ₁₆₀	1	1.7	13.2	135.0	1003.4	2139.7	3817.5
		2	1.7	10.2	120.6	928.3	864.6	2249.5
		3	1.7	27.3	172.2	759.4	1913.2	3073.6
		4	1.7	21.3	113.8	864.6	1662.1	2338.9
	N ₂₄₀	1	1.7	31.5	240.1	583.7	2212.5	3464.8
		2	1.7	12.3	180.3	703.8	1458.8	2648.2
		3	1.7	21.5	152.7	828.2	1144.0	2558.5
		4	1.7	18.6	161.2	837.7	1589.0	3419.1
	N ₃₂₀	1	1.7	16.8	212.6	938.2	1757.2	3254.8
		2	1.7	25.4	118.5	734.6	1588.2	2033.1
		3	1.7	21.6	180.8	834.6	2166.3	2899.4
		4	1.7	17.5	203.5	749.0	1725.6	3435.7

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.18. Biomasa de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
			g planta⁻¹					
L ₃	N ₈₀	1	0.06	0.1	0.8	8.0	8.7	16.0
		2	0.06	0.2	1.0	5.6	10.5	17.3
		3	0.06	0.1	1.2	5.7	10.9	26.8
		4	0.06	0.3	0.6	6.4	14.8	19.3
	N ₁₆₀	1	0.06	0.1	0.8	6.7	13.9	16.4
		2	0.06	0.1	1.0	3.5	9.9	16.4
		3	0.06	0.2	1.1	5.3	13.1	22.8
		4	0.06	0.1	0.9	5.4	12.4	21.7
	N ₂₄₀	1	0.06	0.2	1.2	4.8	16.9	20.3
		2	0.06	0.2	1.2	4.3	13.1	14.7
		3	0.06	0.2	0.9	4.6	13.5	16.2
		4	0.06	0.2	1.2	6.4	12.9	24.1
	N ₃₂₀	1	0.06	0.1	1.7	5.1	12.8	17.5
		2	0.06	0.3	1.2	4.3	13.0	19.3
		3	0.06	0.3	1.4	7.4	10.9	16.7
		4	0.06	0.2	1.1	5.8	10.2	16.4
L ₆	N ₈₀	1	0.06	0.3	0.7	4.3	9.2	25.5
		2	0.06	0.2	0.5	5.5	11.2	24.3
		3	0.06	0.2	0.8	7.7	12.6	27.2
		4	0.06	0.1	0.9	5.4	7.5	24.2
	N ₁₆₀	1	0.06	0.2	1.1	5.8	14.3	19.3
		2	0.06	0.2	1.0	5.8	9.2	24.7
		3	0.06	0.3	1.2	4.9	10.3	20.2
		4	0.06	0.2	1.1	8.0	9.9	18.3
	N ₂₄₀	1	0.06	0.4	1.9	3.6	14.2	23.5
		2	0.06	0.2	1.2	5.5	9.5	23.5
		3	0.06	0.2	1.4	6.3	9.4	14.8
		4	0.06	0.2	1.2	5.5	9.9	18.6
	N ₃₂₀	1	0.06	0.2	1.6	5.9	12.6	18.0
		2	0.06	0.2	1.3	5.5	15.1	18.9
		3	0.06	0.2	1.4	6.3	18.4	19.8
		4	0.06	0.2	1.5	5.1	12.3	20.2

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.19. Biomasa del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
			g planta⁻¹					
L ₃	N ₈₀	1	0.06	0.2	1.2	11.8	17.3	31.6
		2	0.06	0.2	1.6	11.1	21.1	47.3
		3	0.06	0.1	1.4	9.1	22.8	40.1
		4	0.06	0.3	0.7	8.6	24.1	30.0
	N ₁₆₀	1	0.06	0.3	1.2	10.3	23.1	37.0
		2	0.06	0.2	2.0	6.9	17.3	31.7
		3	0.06	0.2	1.8	9.0	26.9	53.4
		4	0.06	0.1	1.1	9.0	20.4	41.4
	N ₂₄₀	1	0.06	0.2	2.1	7.9	30.0	45.6
		2	0.06	0.2	1.8	7.4	22.1	39.3
		3	0.06	0.2	1.6	7.1	20.9	34.6
		4	0.06	0.2	1.5	10.4	21.0	39.6
	N ₃₂₀	1	0.06	0.3	3.6	10.1	16.0	36.5
		2	0.06	0.4	1.7	9.1	22.1	33.8
		3	0.06	0.4	2.3	9.3	16.3	32.4
		4	0.06	0.3	2.2	10.9	11.6	35.0
L ₆	N ₈₀	1	0.06	0.3	1.1	8.4	12.8	42.5
		2	0.06	0.3	1.0	6.6	18.4	37.3
		3	0.06	0.3	1.0	10.6	24.2	40.1
		4	0.06	0.3	1.2	10.8	13.0	37.2
	N ₁₆₀	1	0.06	0.2	1.8	11.1	25.9	48.4
		2	0.06	0.1	1.4	12.0	12.6	31.6
		3	0.06	0.4	2.2	10.4	22.9	34.6
		4	0.06	0.4	1.5	10.6	20.9	34.3
	N ₂₄₀	1	0.06	0.5	2.9	6.0	27.8	52.1
		2	0.06	0.2	1.8	7.9	18.3	43.0
		3	0.06	0.4	1.7	11.8	16.1	34.1
		4	0.06	0.2	1.9	9.9	21.5	34.8
	N ₃₂₀	1	0.06	0.2	2.8	10.5	25.0	43.5
		2	0.06	0.4	1.6	8.5	18.8	28.4
		3	0.06	0.4	2.2	12.4	25.4	45.7
		4	0.06	0.4	2.7	9.2	17.6	39.2

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y Rep = Repetición.

Cuadro A.20. Biomasa de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante						
			1	20	40	60	80	100	50 H _D
g planta⁻¹									
L ₃	N ₈₀	1	0.1	1.5	10.4	96.8	109.2	114.6	0.7
		2	0.1	1.6	13.6	77.2	134.3	173.9	1.3
		3	0.1	1.3	14.8	81.9	171.5	145.4	0.5
		4	0.1	2.1	5.9	81.2	177.0	152.1	0.8
	N ₁₆₀	1	0.1	2.3	10.3	85.3	145.2	142.4	0.8
		2	0.1	1.5	14.0	54.2	123.8	120.1	0.8
		3	0.1	1.5	14.6	82.6	152.3	285.2	0.9
		4	0.1	1.1	9.3	68.9	116.3	174.7	0.8
	N ₂₄₀	1	0.1	1.9	13.8	52.7	189.6	178.2	1.2
		2	0.1	1.3	14.6	61.8	141.1	147.3	0.5
		3	0.1	1.2	14.2	66.1	139.1	180.3	1.1
		4	0.1	1.4	16.5	87.9	110.3	190.6	0.4
	N ₃₂₀	1	0.1	2.1	27.7	83.8	108.3	156.5	1.0
		2	0.1	2.6	15.6	76.5	150.5	182.6	1.0
		3	0.1	3.3	16.0	85.0	106.4	127.3	0.6
		4	0.1	1.8	13.5	94.0	90.6	149.3	0.7
L ₆	N ₈₀	1	0.1	2.4	8.4	62.4	84.9	199.2	1.0
		2	0.1	1.9	7.0	77.5	123.8	129.2	0.6
		3	0.1	1.9	8.7	93.4	181.7	181.6	0.8
		4	0.1	1.9	9.3	75.5	92.3	184.0	0.7
	N ₁₆₀	1	0.1	1.4	13.5	93.8	206.7	242.6	0.5
		2	0.1	1.2	12.3	92.5	95.3	145.6	0.9
		3	0.1	3.1	16.9	80.3	177.7	161.9	0.9
		4	0.1	2.3	12.2	92.9	149.6	138.5	0.5
	N ₂₄₀	1	0.1	3.5	22.7	60.5	215.7	233.9	0.9
		2	0.1	1.5	17.1	65.4	136.4	172.4	0.9
		3	0.1	2.3	14.9	81.0	115.3	140.0	0.5
		4	0.1	2.1	15.6	82.4	126.6	181.2	0.7
	N ₃₂₀	1	0.1	1.9	20.0	86.8	166.6	175.6	0.6
		2	0.1	2.9	12.6	75.6	145.9	112.9	0.9
		3	0.1	2.4	17.6	82.2	188.3	176.2	0.6
		4	0.1	1.9	19.9	74.0	134.7	161.4	0.7

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), H_D = Hoja diagnóstico y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.21. Biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Rep	Días después del trasplante				
			80	85	90	95	100
							g planta⁻¹
L ₃	N ₈₀	1	5.2	26.7	43.2	50.5	52.2
		2	8.7	26.4	37.4	49.6	101.4
		3	9.3	39.3	55.1	58.4	82.4
		4	9.7	31.6	49.8	51.5	63.0
	N ₁₆₀	1	20.3	43.6	45.4	49.4	76.6
		2	5.6	29.4	51.2	50.9	68.3
		3	20.6	48.2	75.1	78.0	102.6
		4	5.1	27.6	34.9	50.4	65.4
	N ₂₄₀	1	18.1	50.9	50.5	56.0	70.7
		2	11.6	42.3	54.5	73.6	90.4
		3	10.9	37.7	52.0	54.4	89.2
		4	3.8	33.8	51.1	65.2	71.1
	N ₃₂₀	1	6.9	43.6	44.6	54.3	73.7
		2	12.0	35.2	58.4	61.8	90.2
		3	4.2	40.3	52.5	55.9	77.1
		4	3.7	34.4	47.9	62.9	67.7
L ₆	N ₈₀	1	2.8	36.5	48.9	67.6	91.4
		2	7.6	44.0	66.5	56.2	58.9
		3	10.7	39.7	49.4	64.9	75.0
		4	2.1	61.0	72.7	61.5	85.5
	N ₁₆₀	1	13.9	49.1	65.0	59.5	95.5
		2	2.1	40.2	42.4	74.0	69.3
		3	11.7	34.7	53.2	71.9	103.6
		4	6.6	34.3	57.2	68.6	68.5
	N ₂₄₀	1	18.4	44.2	49.5	65.5	91.6
		2	6.3	45.3	61.3	73.8	68.1
		3	3.2	52.2	51.5	52.4	68.3
		4	7.0	51.2	74.6	65.2	86.7
	N ₃₂₀	1	9.8	46.7	57.3	85.1	94.0
		2	6.5	37.2	64.3	68.4	61.1
		3	13.7	62.0	63.5	61.9	83.7
		4	7.6	28.4	58.2	74.4	78.0

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y Rep = Repetición.

Cuadro A.22. Biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	100
			g planta⁻¹					
L ₃	N ₈₀	1	0.2	1.7	11.6	108.6	131.8	198.5
		2	0.2	1.9	15.2	88.4	164.3	322.7
		3	0.2	1.5	16.3	91.0	203.7	268.0
		4	0.2	2.5	6.7	89.8	210.9	245.2
	N ₁₆₀	1	0.2	2.6	11.6	95.7	188.6	256.1
		2	0.2	1.7	16.0	61.1	146.8	220.2
		3	0.2	1.8	16.5	91.6	199.9	441.3
		4	0.2	1.2	10.5	77.9	141.9	281.6
	N ₂₄₀	1	0.2	2.1	15.9	60.6	237.8	294.6
		2	0.2	1.5	16.5	69.2	174.9	277.0
		3	0.2	1.4	15.8	73.2	170.9	304.1
		4	0.2	1.7	18.0	98.4	135.1	301.4
	N ₃₂₀	1	0.2	2.5	31.3	93.9	131.3	266.7
		2	0.2	3.0	17.4	85.6	184.7	306.7
		3	0.2	3.8	18.4	94.4	127.0	236.9
		4	0.2	2.2	15.7	105.0	105.9	252.1
L ₆	N ₈₀	1	0.2	2.8	9.5	70.9	100.6	333.2
		2	0.2	2.2	8.0	84.1	149.9	225.5
		3	0.2	2.3	9.7	104.1	216.6	296.8
		4	0.2	2.2	10.5	086.3	107.4	306.8
	N ₁₆₀	1	0.2	1.7	15.3	104.9	246.6	386.5
		2	0.2	1.4	13.7	104.6	110.1	246.5
		3	0.2	3.6	19.2	90.7	212.4	300.1
		4	0.2	2.8	13.7	103.6	177.2	241.4
	N ₂₄₀	1	0.2	4.0	25.6	66.5	261.9	377.6
		2	0.2	1.7	19.0	73.4	161.1	283.6
		3	0.2	2.7	16.6	92.8	134.7	242.6
		4	0.2	2.4	17.5	92.4	155.2	302.8
	N ₃₂₀	1	0.2	2.2	22.8	97.4	201.5	313.2
		2	0.2	3.3	14.2	84.2	171.3	202.4
		3	0.2	2.8	19.8	94.6	227.5	305.6
		4	0.2	2.3	22.6	83.3	160.1	278.7

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.23. Nitrógeno en la biomasa de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	100
		%					
L ₃	N ₈₀	2.2	2.7	2.7	2.0	1.3	1.0
	N ₁₆₀	2.2	2.7	2.5	1.8	1.4	1.0
	N ₂₄₀	2.2	2.7	2.5	2.2	1.3	0.9
	N ₃₂₀	2.2	3.1	2.7	2.1	1.4	1.2
L ₆	N ₈₀	2.2	2.8	2.5	2.0	1.3	0.5
	N ₁₆₀	2.2	2.3	2.3	2.2	1.6	1.1
	N ₂₄₀	2.2	2.8	2.4	2.1	1.6	1.1
	N ₃₂₀	2.2	3.0	2.5	2.1	1.5	0.8

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.24. Nitrógeno en la biomasa del tallo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	100
		%					
L ₃	N ₈₀	1.4	3.3	3.8	3.6	2.8	2.0
	N ₁₆₀	1.4	3.2	3.9	3.5	2.6	2.0
	N ₂₄₀	1.4	3.4	3.8	3.9	3.3	1.9
	N ₃₂₀	1.4	3.5	3.9	3.7	3.3	2.3
L ₆	N ₈₀	1.4	3.4	3.5	3.6	2.9	2.2
	N ₁₆₀	1.4	3.5	3.8	3.4	2.9	2.1
	N ₂₄₀	1.4	3.7	4.1	3.8	2.9	2.1
	N ₃₂₀	1.4	3.8	3.9	3.8	3.2	2.1

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.25. Nitrógeno en la biomasa de las hojas de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante						
		1	20	40	60	80	100	50 H _D
		%						
L ₃	N ₈₀	2.8	5.2	5.5	3.9	2.9	1.9	6.7
	N ₁₆₀	2.8	5.4	5.6	4.1	2.9	2.1	7.3
	N ₂₄₀	2.8	5.2	5.1	4.0	3.4	2.2	6.4
	N ₃₂₀	2.8	5.5	5.3	4.0	3.4	2.3	6.3
L ₆	N ₈₀	2.8	5.4	5.4	4.2	3.1	1.8	7.4
	N ₁₆₀	2.8	4.9	5.5	4.0	3.2	2.1	6.9
	N ₂₄₀	2.8	5.4	5.2	4.3	3.2	2.7	7.1
	N ₃₂₀	2.8	5.3	4.8	4.1	3.7	2.4	7.1

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm), N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹) y H_D = Hoja diagnóstico.

Cuadro A.26. Nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante				
		80	85	90	95	100
		%				
L ₃	N ₈₀	6.2	4.7	3.9	4.0	3.8
	N ₁₆₀	5.5	4.4	3.9	3.9	4.1
	N ₂₄₀	6.0	4.6	4.1	3.9	6.2
	N ₃₂₀	6.7	4.8	4.2	4.7	4.2
L ₆	N ₈₀	6.3	4.4	4.1	4.1	4.0
	N ₁₆₀	6.7	4.8	4.0	4.4	4.1
	N ₂₄₀	6.1	5.1	4.4	4.1	4.3
	N ₃₂₀	6.7	5.1	4.3	4.4	4.3

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.27. Nitrógeno en la biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	100
		%					
L ₃	N ₈₀	2.5	4.9	5.3	3.9	3.1	2.5
	N ₁₆₀	2.5	5.1	5.4	4.0	3.1	2.6
	N ₂₄₀	2.5	5.0	5.0	4.0	3.5	3.3
	N ₃₂₀	2.5	5.2	5.1	4.0	3.6	2.8
L ₆	N ₈₀	2.5	5.1	5.2	4.1	3.2	2.4
	N ₁₆₀	2.5	4.7	5.3	3.9	3.3	2.7
	N ₂₄₀	2.5	5.2	5.1	4.2	3.3	3.0
	N ₃₂₀	2.5	5.0	4.7	4.0	3.8	2.9

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.28. Nitrato en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante				
		80	85	90	95	100
mg kg⁻¹						
L ₃	N ₈₀	280	354	924	542	307
	N ₁₆₀	267	300	1092	414	300
	N ₂₄₀	387	300	871	783	495
	N ₃₂₀	253	267	616	421	340
L ₆	N ₈₀	267	327	1079	716	347
	N ₁₆₀	267	334	797	569	340
	N ₂₄₀	280	314	743	488	401
	N ₃₂₀	246	320	515	481	421

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.29. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

L	N	Días después del trasplante				
		80	85	90	95	100
µg kg⁻¹						
L ₃	N ₈₀	175	286	413	329	123
	N ₁₆₀	113	243	449	411	156
	N ₂₄₀	270	205	405	408	180
	N ₃₂₀	102	421	402	259	215
L ₆	N ₈₀	161	446	511	397	551
	N ₁₆₀	167	210	356	321	183
	N ₂₄₀	205	256	335	256	253
	N ₃₂₀	150	318	451	294	332

L₃ = Lámina de riego (3 mm), L₆ = Lámina de riego (6 mm) y N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Cuadro A.30. Análisis de varianza del peso fresco aéreo de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		20			40		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	21.6	3.0	NS	2222.2	2.2	NS
Láminas	1	131.2	18.4	*	472.3	0.4	NS
Error (a)	3	7.1			973.7		
Nitrógeno	3	48.4	1.5	NS	11627.2	8.6	**
L x N	3	34.2	1.1	NS	1553.8	1.1	*
Error (b)	18	31.1			1339.1		
Total	31						
C. V. (%)			32.1			25.9	

Cuadro A.30. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		60			80		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	11983.2	0.6	NS	169567.1	1.6	NS
Láminas	1	11037.2	0.5	NS	42429.3	0.4	NS
Error (a)	3	18914.4			104520.5		
Nitrógeno	3	26037.0	1.0	NS	106845.9	0.5	NS
L x N	3	40736.7	1.6	NS	175709.7	0.9	NS
Error (b)	18	25290.3			186329.4		
Total	31						
C. V. (%)			20.2			27.8	

Cuadro A.30. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		100			50 H _D		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	302263.7	0.3	NS	3.0	7.3	NS
Láminas	1	492364.3	0.5	NS	2.6	6.5	NS
Error (a)	3	976108.9			0.4		
Nitrógeno	3	87606.4	0.4	NS	0.0	0.0	NS
L x N	3	19168.0	0.1	NS	0.2	0.1	NS
Error (b)	18	185300.8			2.5		
Total	31						
C. V. (%)			15.5			27.1	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$), ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$) y H_D = Hoja diagnóstica.

Cuadro A.31. Análisis de varianza del peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		80		85	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	6199.8	9.2 *	6511.0	0.7 NS
Láminas	1	2078.0	3.1 NS	73409.6	7.9 NS
Error (a)	3	667.5		9250.0	
Nitrógeno	3	2395.1	0.9 NS	12900.4	1.3 NS
L x N	3	1531.8	0.6 NS	7569.0	0.7 NS
Error (b)	18	2551.7		9839.2	
Total	31				
C. V. (%)			62.1		23.3

Cuadro A.31. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		90		95	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	4711.9	0.2 NS	6220.7	0.6 NS
Láminas	1	104128.8	5.8 NS	150906.4	15.1 *
Error (a)	3	17727.5		9968.7	
Nitrógeno	3	8659.6	0.6 NS	38063.3	2.6 NS
L x N	3	2849.2	0.2 NS	2102.9	0.1 NS
Error (b)	18	13410.2		14479.0	
Total	31				
C. V. (%)			20.8		15.7

Cuadro A.31. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante	
		100	
		C. M.	F. C.
Repetición	3	27523.0	0.1 NS
Láminas	1	141642.3	0.9 NS
Error (a)	3	149344.8	
Nitrógeno	3	12767.1	0.7 NS
L x N	3	2427.7	0.1 NS
Error (b)	18	17213.8	
Total	31		
C. V. (%)			13.6

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo y * = Significativo ($\alpha = 0.05$).

Cuadro A.32. Análisis de varianza de la biomasa aérea de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		20			40		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	0.3	2.5	NS	20.3	1.6	NS
Láminas	1	1.7	13.6	*	0.5	0.0	NS
Error (a)	3	0.1			12.0		
Nitrógeno	3	0.8	1.6	NS	134.2	9.1	**
L x N	3	0.5	1.0	NS	15.0	1.0	NS
Error (b)	18	0.5			14.7		
Total	31						
C. V. (%)			30.3			23.9	

Cuadro A.32. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		60			80		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	198.2	1.8	NS	3093.6	3.0	NS
Láminas	1	76.1	0.7	NS	599.4	0.6	NS
Error (a)	3	107.3			1003.6		
Nitrógeno	3	342.1	2.5	NS	721.1	0.3	NS
L x N	3	309.1	2.2	NS	2635.3	1.3	NS
Error (b)	18	136.4			1911.7		
Total	31						
C. V. (%)			13.2			25.6	

Cuadro A.32. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		100			50 H _D		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	3242.5	0.4	NS	0.070	5.6	NS
Láminas	1	909.7	0.1	NS	0.069	5.5	NS
Error (a)	3	7931.7			0.012		
Nitrógeno	3	1680.6	0.7	NS	0.004	0.0	NS
L x N	3	499.7	0.2	NS	0.003	0.0	NS
Error (b)	18	2413.3			0.056		
Total	31						
C. V. (%)			17.2			29.0	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$), ** = Altamente significativo ($\alpha = 0.01$) y H_D = Hoja diagnóstico.

Cuadro A.33. Análisis de varianza de la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		80		85	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	63.3	10.8 *	94.0	3.2 NS
Láminas	1	20.6	3.5 NS	419.1	14.4 *
Error (a)	3	5.8		28.9	
Nitrógeno	3	23.0	0.8 NS	74.2	0.9 NS
L x N	3	18.1	0.6 NS	51.9	0.6 NS
Error (b)	18	26.4		80.2	
Total	31				
C. V. (%)			57.3		22.0

Cuadro A.33. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		90		95	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	56.7	0.2 NS	8.6	0.1 NS
Láminas	1	541.9	2.8 NS	685.3	8.2 NS
Error (a)	3	193.5		83.3	
Nitrógeno	3	20.5	0.2 NS	92.3	1.2 NS
L x N	3	37.3	0.4 NS	52.6	0.6 NS
Error (b)	18	86.3		75.8	
Total	31				
C. V. (%)			17.0		13.9

Cuadro A.33. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante	
		100	
		C. M.	F. C.
Repetición	3	224.2	0.2 NS
Láminas	1	43.5	0.0 NS
Error (a)	3	884.2	
Nitrógeno	3	35.3	0.2 NS
L x N	3	19.9	0.1 NS
Error (b)	18	120.9	
Total	31		
C. V. (%)			13.9

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo y * = Significativo ($\alpha = 0.05$).

Cuadro A.34. Análisis de varianza del índice de la raíz de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		80		100	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	0.0001	0.4 NS	0.00024	0.3 NS
Láminas	1	0.0004	1.7 NS	0.00033	0.4 NS
Error (a)	3	0.0002		0.00075	
Nitrógeno	3	0.0003	3.4 *	0.00049	4.1 *
L x N	3	0.0003	2.9 NS	0.00001	0.1 NS
Error (b)	18	0.0001		0.00011	
Total	31				
C. V. (%)			14.2		14.7

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo y * = Significativo ($\alpha = 0.05$).

Cuadro A.35. Análisis de varianza del índice de la cosecha de brócoli, para láminas de riego y dosis de nitrógeno.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante			
		80		100	
		C. M.	F. C.	C. M.	F. C.
Repetición	3	0.0007	4.4 NS	0.00148	0.8 NS
Láminas	1	0.0012	7.0 NS	0.00006	0.0 NS
Error (a)	3	0.0001		0.00181	
Nitrógeno	3	0.0003	0.8 NS	0.00064	0.8 NS
L x N	3	0.0003	0.8 NS	0.00058	0.7 NS
Error (b)	18	0.0003		0.00074	
Total	31				
C. V. (%)			39.4		9.8

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado y NS = No significativo.

8.3.2. Experimento 2: Dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha

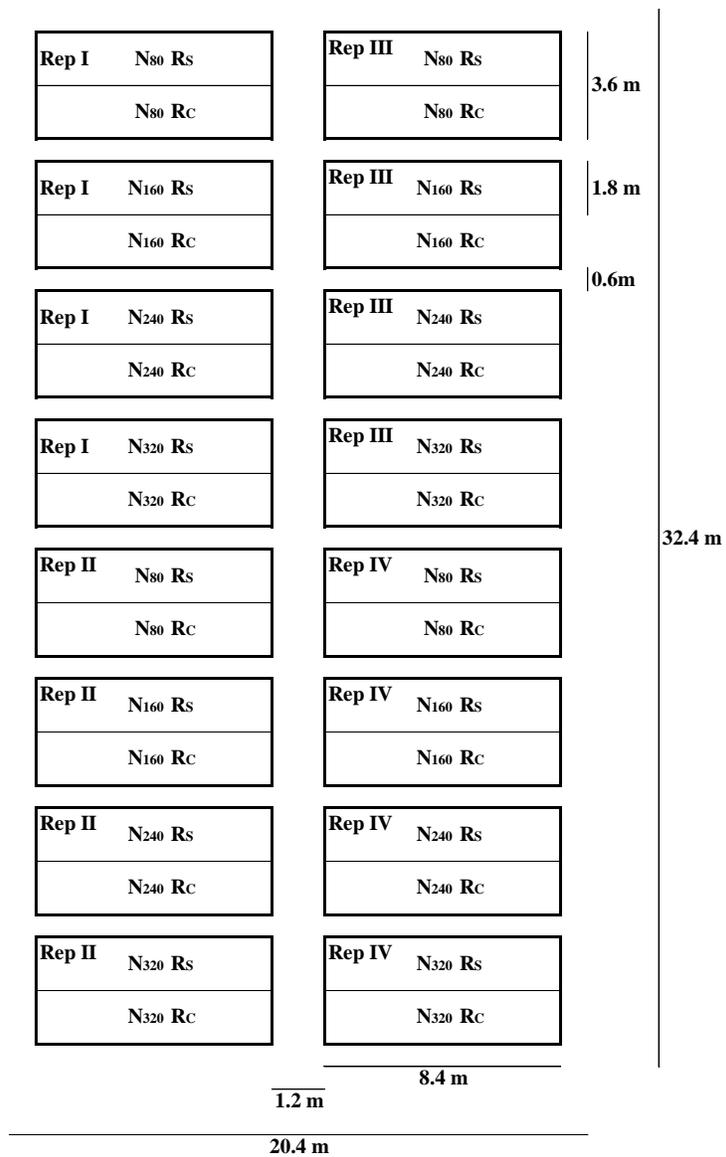


Figura A.7. Distribución de los tratamientos en el sitio experimental, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Cuadro A.36. Datos climáticos diarios, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

mes	Fecha día	D _{dt}	Temperatura			U _T	P	E	H _R		
			máx.	mín.	media		diaria	diaria	máx.	mín.	
			°C			mm		%			
4	3	1	29.6	7.4	18.5	13.8	2.8	10.3	45	8	
	4	2	28.0	9.1	18.6	26.6	0.0	6.9	51	7	
	5	3	28.4	8.0	18.2	37.9	5.5	9.9	85	7	
	6	4	29.0	5.3	17.2	51.2	0.4	6.3	79	4	
	7	5	26.1	5.4	15.8	64.7	0.0	8.0	76	7	
	8	6	28.1	7.2	17.7	79.5	0.0	12.4	76	4	
	9	7	27.0	8.9	18.0	94.2	0.0	10.3	29	3	
	10	8	28.1	10.3	19.2	103.3	0.0	1.4	61	15	
	11	9	28.4	9.8	19.1	113.8	0.0	5.7	75	12	
	12	10	19.5	7.4	13.5	128.1	0.0	10.5	34	18	
	13	11	24.5	5.4	15.0	144.3	0.0	9.2	34	12	
	14	12	27.8	9.6	18.7	160.3	0.0	13.2	56	13	
	15	13	28.3	12.8	20.6	174.0	0.0	13.4	73	16	
	16	14	29.2	11.6	20.4	188.6	0.0	7.4	66	16	
	17	15	30.2	6.1	18.2	204.1	0.0	8.0	75	20	
	18	16	30.9	7.0	19.0	219.6	0.0	8.0	74	21	
	19	17	30.5	9.4	20.0	234.0	0.0	10.4	82	34	
	20	18	30.4	9.3	19.9	246.2	0.0	9.3	100	34	
	21	19	28.6	9.1	18.9	261.1	0.0	8.3	89	23	
	22	20	27.2	6.0	16.6	275.8	1.6	6.4	84	26	
	23	21	29.2	9.4	19.3	292.2	2.7	5.7	88	34	
	24	22	29.5	8.6	19.1	308.0	10.7	5.2	100	39	
	25	23	28.5	13.2	20.9	322.2	0.0	6.4	100	34	
	26	24	27.1	13.2	20.2	334.4	0.7	5.6	100	34	
	27	25	25.3	12.0	18.7	348.2	0.0	7.5	100	14	
	28	26	23.6	9.6	16.6	362.7	0.0	8.6	81	24	
	29	27	28.1	8.2	18.2	376.2	0.0	12.0	95	26	
	30	28	26.5	11.3	18.9	389.3	0.0	6.0	74	26	
	5	01	29	28.7	10.1	19.4	404.3	0.0	9.6	64	14
		02	30	29.5	06.9	18.2	418.1	0.0	5.7	94	16
03		31	26.0	09.0	17.5	431.2	0.0	8.9	100	29	
04		32	25.6	11.5	18.6	445.4	0.0	8.3	98	35	
05		33	28.4	06.7	17.6	458.5	0.0	8.1	75	14	
06		34	27.7	07.4	17.6	471.7	0.0	5.9	100	21	
07		35	28.0	08.6	18.3	485.6	0.0	11.6	94	21	
08		36	28.7	10.6	19.7	500.8	0.0	7.4	88	24	
09		37	28.8	12.2	20.5	516.9	0.0	8.7	73	24	
10		38	28.3	11.7	20.0	532.5	0.0	7.3	69	19	
11		39	28.5	10.8	19.7	547.8	6.2	4.4	98	32	
12		40	26.5	09.5	18.0	561.4	7.5	4.9	100	27	

Cuadro A.36. Continuación...

mes	Fecha		Temperatura				P	E	H _R		
	día	D _{dt}	máx.	mín.	media	U _T	diaria	diaria	máx.	mín.	
			°C				mm		%		
5	13	41	24.5	10.2	17.4	574.3	0.0	4.4	100	46	
	14	42	24.6	12.0	18.3	588.2	0.0	5.0	100	44	
	15	43	27.5	9.4	18.5	602.3	0.0	7.5	100	31	
	16	44	28.0	10.0	19.0	616.9	1.0	7.6	100	28	
	17	45	28.7	10.0	19.4	631.8	0.0	6.0	100	26	
	18	46	29.5	9.6	19.6	647.0	3.2	8.1	100	23	
	19	47	29.7	11.0	20.4	662.9	0.4	4.9	100	24	
	20	48	28.5	11.9	20.2	678.7	0.0	8.6	100	26	
	21	49	24.1	10.7	17.4	691.7	2.4	9.1	100	19	
	22	50	30.2	10.6	20.4	707.7	7.9	4.6	100	25	
	23	51	24.0	10.7	17.4	720.7	0.0	5.9	100	24	
	24	52	27.7	10.0	18.9	735.1	4.7	5.7	100	18	
	25	53	24.4	11.0	17.7	748.4	3.1	3.0	100	38	
	26	54	23.5	12.0	17.8	761.8	17.0	10.2	100	58	
	27	55	23.0	11.0	17.0	774.4	0.0	4.0	100	54	
	28	56	26.5	8.9	17.7	787.7	0.0	6.1	100	34	
	29	57	26.8	9.6	18.2	801.5	0.0	7.5	100	26	
	30	58	23.0	10.4	16.7	813.8	0.0	5.7	098	27	
	31	59	27.7	6.6	17.2	826.5	0.0	8.9	098	26	
	6	1	60	28.1	8.2	18.2	840.3	6.3	6.7	100	26
		2	61	27.9	12.3	20.1	856.0	0.0	7.0	100	32
		3	62	26.5	12.8	19.7	871.2	0.0	8.2	100	26
		4	63	28.4	10.0	19.2	886.0	0.0	6.8	100	19
		5	64	28.2	5.7	17.0	898.6	0.0	9.3	100	14
		6	65	29.0	5.8	17.4	911.6	0.0	10.7	100	12
		7	66	29.5	3.8	16.7	923.8	0.0	6.8	096	16
		8	67	28.8	5.4	17.1	936.5	0.0	6.2	100	19
		9	68	22.6	12.4	17.5	949.6	11.4	5.5	100	46
		10	69	26.5	8.0	17.3	962.5	0.0	3.6	100	34
		11	70	24.1	12.5	18.3	976.4	8.2	6.0	094	46
		12	71	23.6	12.4	18.0	990.0	0.0	3.3	100	44
13		72	24.5	11.5	18.0	1003.6	6.8	2.6	100	52	
14		73	23.6	12.2	17.9	1017.1	16.0	0.8	100	56	
15		74	23.8	10.4	17.1	1029.8	0.0	6.4	100	58	
16		75	25.7	9.6	17.7	1043.0	4.2	7.9	100	38	
17		76	25.7	12.0	18.9	1057.5	0.0	8.9	100	31	
18		77	26.8	8.0	17.4	1070.5	19.3	5.6	100	29	
19		78	25.0	9.0	17.0	1083.1	2.3	2.9	100	43	
20		79	19.6	13.2	16.4	1095.1	5.9	0.2	100	91	
21		80	19.1	13.0	16.1	1106.7	2.3	3.7	100	86	

Cuadro A.36. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	Temperatura			U _T	P	E	H _R	
			máx.	mín.	media		diaria	diaria	máx.	mín.
			°C			mm		%		
12	22	81	22.0	13.4	17.7	1120.0	0.8	4.4	100	60
	23	82	23.8	13.4	18.6	1134.2	0.8	6.2	100	54
	24	83	24.6	11.8	18.2	1148.0	0.2	2.8	100	47
	25	84	24.7	10.8	17.8	1161.4	13.1	5.0	100	28
	26	85	25.4	12.7	19.1	1176.0	0.0	6.5	97	30
	27	86	26.7	9.6	18.2	1189.8	0.0	4.3	98	21
	28	87	25.0	7.4	16.2	1201.6	0.0	4.0	98	17
	29	88	24.2	12.2	18.2	1215.4	2.3	5.2	97	31
	30	89	23.8	8.4	16.1	1227.1	0.0	6.2	99	28
1	1	90	23.8	7.0	15.4	1238.1	2.3	8.5		

D_{dt} = Días después del trasplante, U_T = Unidades térmicas, P = Precipitación, E = Evaporación y H_R = Láminas relativa.

Cuadro A.37. Balance hídrico en brócoli, para la lámina de riego de 6 mm.

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o mm	K _c	ET _c mm	P _e mm	L _n mm	B _H mm	
4	3	1	7.7	0.80	6.2	2.7	6.0	2.5	
	4	2	5.2	0.80	4.1	0.0	6.0	1.8	
	5	3	7.4	0.80	5.9	5.4	6.0	5.4	
	6	4	4.7	0.80	3.8	0.4	6.0	2.5	
	7	5	6.0	0.80	4.8	0.0	6.0	1.1	
	8	6	9.3	0.80	7.4	0.0	6.0	- 1.4	
	9	7	7.7	0.80	6.1	0.0	6.0	- 0.1	
	10	8	1.0	0.80	0.8	0.0	6.0	5.1	
	11	9	4.3	0.80	3.4	0.0	6.0	2.5	
	12	10	7.8	0.80	6.3	0.0	6.0	- 0.3	
	13	11	6.9	0.80	5.5	0.0	6.0	0.4	
	14	12	9.9	0.80	7.9	0.0	6.0	- 1.9	
	15	13	10.0	0.80	8.0	0.0	6.0	- 2.0	
	16	14	5.5	0.80	4.4	0.0	6.0	1.5	
	17	15	6.0	0.80	4.8	0.0	6.0	1.1	
	18	16	6.0	0.80	4.8	0.0	6.0	1.1	
	19	17	7.8	0.80	6.2	0.0	6.0	- 0.2	
	20	18	6.9	0.80	5.5	0.0	6.0	0.4	
	21	19	6.2	0.85	5.2	0.0	6.0	0.7	
	22	20	4.8	0.85	4.1	1.5	6.0	3.4	
	23	21	4.3	0.85	3.6	2.6	6.0	5.0	
	24	22	3.9	0.85	3.3	10.4	6.0	13.0	
	25	23	4.8	0.85	4.1	0.0	6.0	1.8	
	26	24	4.2	0.85	3.5	0.6	6.0	3.1	
	27	25	5.6	0.85	4.8	0.0	6.0	1.1	
	28	26	6.4	0.85	5.4	0.0	6.0	0.5	
	29	27	9.0	0.85	7.6	0.0	6.0	- 1.6	
	30	28	4.5	0.85	3.8	0.0	6.0	2.1	
	5	1	29	7.2	0.85	6.1	0.0	6.0	- 0.1
		2	30	4.2	0.85	3.6	0.0	6.0	2.3
3		31	6.6	0.85	5.6	0.0	6.0	0.3	
4		32	6.2	0.85	5.3	0.0	6.0	0.6	
5		33	6.0	0.85	5.1	0.0	6.0	0.8	
6		34	4.4	0.85	3.7	0.0	6.0	2.2	
7		35	8.7	0.85	7.4	0.0	6.0	- 1.4	
8		36	5.6	0.85	4.7	0.0	6.0	1.2	
9		37	6.5	0.85	5.5	0.0	6.0	0.4	
10		38	5.5	0.85	4.6	0.0	6.0	1.3	
11		39	3.3	0.85	2.8	6.1	6.0	9.2	
12		40	3.6	0.85	3.1	7.3	6.0	10.2	

Cuadro A.37. Continuación...

mes	Fecha día	D _{dt}	ET _o	K _c	ET _c	P _e	L _n	B _H	
			mm		mm			mm	mm
5	13	41	3.3	0.85	2.8	0.0	6.0	3.1	
	14	42	3.8	0.85	3.2	0.0	0.0	- 3.2	
	15	43	5.6	0.85	4.7	0.0	6.0	1.2	
	16	44	5.7	0.85	4.8	0.9	6.0	2.1	
	17	45	4.5	0.85	3.8	0.0	6.0	2.1	
	18	46	6.0	0.85	5.1	3.1	6.0	4.0	
	19	47	3.7	0.85	3.1	0.4	0.0	- 2.7	
	20	48	6.4	0.85	5.5	0.0	6.0	0.4	
	21	49	6.8	0.85	5.8	2.3	6.0	2.5	
	22	50	3.4	0.85	2.9	7.7	6.0	10.7	
	23	51	4.4	0.85	3.7	0.0	6.0	2.2	
	24	52	4.3	0.85	3.6	4.6	6.0	6.9	
	25	53	2.3	0.85	1.9	3.0	6.0	7.1	
	26	54	7.6	0.85	6.5	16.2	6.0	15.7	
	27	55	3.0	0.85	2.5	0.0	6.0	3.4	
	28	56	4.5	0.85	3.8	0.0	0.0	- 3.8	
	29	57	5.6	0.85	4.7	0.0	6.0	1.2	
	30	58	4.3	0.85	3.6	0.0	6.0	2.3	
	31	59	6.7	0.85	5.7	0.0	6.0	0.2	
	6	1	60	5.0	0.85	4.2	6.2	6.0	7.9
		2	61	5.2	0.85	4.5	0.0	6.0	1.4
		3	62	6.1	0.85	5.2	0.0	6.0	0.7
		4	63	5.1	0.85	4.3	0.0	6.0	1.6
		5	64	7.0	0.85	5.9	0.0	6.0	0.0
		6	65	8.0	0.85	6.8	0.0	0.0	- 6.8
		7	66	5.1	0.85	4.3	0.0	0.0	- 4.3
		8	67	4.7	0.85	3.9	0.0	0.0	- 3.9
		9	68	4.1	0.85	3.5	11.0	0.0	7.5
		10	69	2.7	1.05	2.8	0.0	6.0	3.1
		11	70	4.5	1.05	4.7	8.0	6.0	9.2
		12	71	2.5	1.05	2.6	0.0	6.0	3.3
13		72	1.9	1.05	2.0	6.6	0.0	4.5	
14		73	0.6	1.05	0.6	15.3	6.0	20.6	
15		74	4.8	1.05	5.0	0.0	0.0	- 5.0	
16		75	5.9	1.05	6.2	4.1	0.0	- 2.1	
17		76	6.6	1.05	7.0	0.0	0.0	- 7.0	
18		77	4.2	1.05	4.4	18.3	0.0	13.9	
19		78	2.2	0.95	2.1	2.2	6.0	6.1	
20		79	0.1	0.95	0.1	5.8	0.0	5.6	
21		80	2.7	0.95	2.6	2.2	0.0	- 0.3	

Cuadro A.37. Continuación...

mes	Fecha día	D_{dt}	ET_o mm	K_c	ET_c mm	P_e mm	L_n mm	B_H mm
6	22	81	3.3	0.95	3.1	0.7	0.0	- 2.3
	23	82	4.6	0.95	4.4	0.7	0.0	- 3.6
	24	83	2.1	0.95	2.0	0.2	0.0	- 1.8
	25	84	3.8	0.95	3.6	12.6	0.0	9.0
	26	85	4.9	0.95	4.6	0.0	0.0	- 4.6
	27	86	3.2	0.95	3.0	0.0	0.0	- 3.0
	28	87	3.0	0.95	2.8	0.0	0.0	- 2.8
	29	88	3.9	0.95	3.7	2.2	0.0	- 1.4
	30	89	4.6	0.95	4.4	0.0	0.0	- 4.4
	7	1	90	6.3	0.95	6.0	2.2	0.0
Total					401.8	175.4	396.0.0	169.6

D_{dt} = Días después del trasplante, ET_o = Evapotranspiración potencial, K_c = Coeficiente de desarrollo del cultivo, ET_c o U_C = Evapotranspiración del cultivo o Uso consuntivo, P_e = Precipitación efectiva, L_n = Lámina de riego neta y B_H = Balance hídrico.

Cuadro A.38. Peso fresco de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.05	0.18	3.2	24.1	103.4	98.4
		2	0.05	0.19	2.4	27.1	92.0	111.4
		3	0.05	0.19	2.5	49.1	104.1	89.4
		4	0.05	0.17	2.8	15.1	82.8	82.8
	R _C	1	0.05	0.18	2.0	31.7	73.8	132.8
		2	0.05	0.11	2.8	19.8	127.9	96.2
		3	0.05	0.13	3.2	33.6	94.1	124.1
		4	0.05	0.19	3.7	19.2	93.4	114.9
N ₁₆₀	R _S	1	0.05	0.24	2.7	36.0	106.0	102.5
		2	0.05	0.15	1.4	37.1	131.1	120.0
		3	0.05	0.12	2.3	24.0	95.3	100.0
		4	0.05	0.17	2.4	27.5	165.8	92.9
	R _C	1	0.05	0.14	6.3	45.2	77.6	114.8
		2	0.05	0.18	2.5	56.6	106.6	97.4
		3	0.05	0.15	1.9	24.4	93.0	113.2
		4	0.05	0.11	2.5	15.3	91.5	114.3
N ₂₄₀	R _S	1	0.05	0.21	2.1	23.3	98.1	98.1
		2	0.05	0.14	1.6	55.0	62.7	125.8
		3	0.05	0.19	2.5	24.5	149.1	105.1
		4	0.05	0.17	3.8	40.0	131.9	115.8
	R _C	1	0.05	0.15	4.6	36.6	81.0	98.4
		2	0.05	0.11	2.2	55.2	118.8	110.1
		3	0.05	0.21	3.4	34.3	90.2	133.1
		4	0.05	0.19	2.7	30.4	92.8	105.3
N ₃₂₀	R _S	1	0.05	0.09	6.4	50.6	95.0	121.3
		2	0.05	0.14	2.3	33.8	114.6	127.3
		3	0.05	0.19	3.7	46.8	104.1	140.5
		4	0.05	0.20	2.6	29.8	89.9	150.0
	R _C	1	0.05	0.09	3.2	36.7	91.1	117.9
		2	0.05	0.33	2.3	27.8	112.4	130.1
		3	0.05	0.13	2.1	48.4	134.9	112.6
		4	0.05	0.18	2.2	46.7	116.7	100.8

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.39. Peso fresco del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.1	0.5	18.4	94.8	324.4	403.3
		2	0.1	0.9	13.9	108.2	346.3	368.7
		3	0.1	0.8	16.4	160.6	372.5	458.9
		4	0.1	0.3	14.6	56.5	264.0	365.4
	R _C	1	0.1	0.1	8.6	105.1	309.5	475.0
		2	0.1	0.4	9.8	95.5	446.3	407.0
		3	0.1	0.6	9.6	129.5	410.1	491.4
		4	0.1	0.8	20.7	73.0	365.8	352.9
N ₁₆₀	R _S	1	0.1	0.8	19.4	126.4	316.7	466.5
		2	0.1	0.7	10.8	98.4	687.8	433.0
		3	0.1	0.5	9.9	122.2	420.5	405.5
		4	0.1	1.0	12.7	121.9	506.0	424.4
	R _C	1	0.1	0.5	28.0	147.1	280.4	432.0
		2	0.1	0.9	15.1	160.8	452.8	428.8
		3	0.1	1.0	9.0	88.8	376.0	496.6
		4	0.1	0.5	13.5	89.4	427.2	498.0
N ₂₄₀	R _S	1	0.1	0.7	13.1	100.2	295.8	408.4
		2	0.1	0.4	8.5	154.2	265.6	418.2
		3	0.1	1.3	11.2	110.3	468.0	465.4
		4	0.1	0.9	20.5	134.3	395.0	478.8
	R _C	1	0.1	0.6	21.1	127.4	278.2	408.9
		2	0.1	0.4	9.2	153.5	389.9	456.9
		3	0.1	0.6	15.5	152.0	385.4	553.5
		4	0.1	0.7	9.7	126.1	408.4	446.0
N ₃₂₀	R _S	1	0.1	0.2	29.6	147.9	311.7	484.8
		2	0.1	0.6	10.1	88.7	357.3	445.6
		3	0.1	1.1	20.3	126.9	385.0	544.5
		4	0.1	1.1	11.1	106.2	385.7	638.2
	R _C	1	0.1	0.6	20.5	119.4	313.7	530.9
		2	0.1	1.6	11.9	76.8	348.8	449.2
		3	0.1	0.4	15.3	194.6	473.1	381.1
		4	0.1	0.9	10.3	158.3	387.5	434.2

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.40. Peso fresco de las hojas de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante						
			1	20	40	60	80	90	50 H _D
g planta⁻¹									
N ₈₀	R _S	1	0.5	5.3	123.4	503.3	2089.2	2384.4	6.4
		2	0.5	5.4	83.6	745.8	2110.0	1886.3	4.4
		3	0.5	5.7	117.1	1433.6	2285.2	2536.6	4.5
		4	0.5	4.2	84.0	275.0	1623.1	2199.5	4.6
	R _C	1	0.5	1.8	74.3	559.0	1605.3	3146.6	4.9
		2	0.5	3.3	81.5	549.9	2877.1	2066.3	7.6
		3	0.5	4.0	89.2	866.7	2788.3	2801.4	6.1
		4	0.5	5.1	104.0	416.5	2315.1	2485.9	6.9
N ₁₆₀	R _S	1	0.5	8.5	130.3	856.3	2080.2	1976.5	5.5
		2	0.5	4.6	63.8	639.6	2858.8	2369.3	4.7
		3	0.5	3.4	74.2	851.1	2757.9	2221.0	6.0
		4	0.5	5.9	97.2	753.9	3747.8	2239.5	7.6
	R _C	1	0.5	5.7	212.3	1009.9	1536.0	2469.7	3.5
		2	0.5	5.8	109.2	1111.4	3078.7	2125.3	4.6
		3	0.5	6.1	69.5	596.1	2663.3	2641.2	6.7
		4	0.5	4.4	98.4	502.5	2451.1	2736.9	7.9
N ₂₄₀	R _S	1	0.5	8.3	95.4	584.6	1658.8	2141.7	5.7
		2	0.5	2.9	78.1	1058.0	1491.2	2371.6	3.9
		3	0.5	7.3	82.0	678.1	3619.4	2610.1	8.3
		4	0.5	4.7	122.1	1012.3	2873.3	3214.1	6.0
	R _C	1	0.5	6.7	155.3	833.0	1392.8	1951.9	6.0
		2	0.5	2.7	82.8	1241.2	2838.3	2525.3	7.1
		3	0.5	5.0	114.5	957.8	2576.4	3648.0	7.3
		4	0.5	3.9	71.1	819.6	2140.5	2839.4	5.3
N ₃₂₀	R _S	1	0.5	3.1	219.1	981.7	1884.6	2829.5	5.1
		2	0.5	3.8	78.0	490.4	2506.7	2440.1	7.0
		3	0.5	7.4	141.3	1022.3	2809.8	3551.5	6.8
		4	0.5	6.1	90.3	619.9	2273.1	4284.6	3.4
	R _C	1	0.5	4.3	145.5	789.7	1904.2	3093.3	8.2
		2	0.5	10.5	88.4	570.2	2432.2	2546.3	11.9
		3	0.5	3.1	103.1	1466.5	3602.5	2055.2	5.8
		4	0.5	6.1	77.9	1182.2	2809.4	1953.9	4.4

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, H_D = Hoja diagnóstico y Rep = Repetición.

Cuadro A.41. Peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante	
			80	90
			g planta ⁻¹	
N ₈₀	R _S	1	215.5	412.7
		2	59.7	1603.0
		3	278.7	1063.2
		4	138.8	1163.4
	R _C	1	167.4	905.9
		2	445.5	1915.8
		3	304.1	1755.0
		4	332.8	2423.7
N ₁₆₀	R _S	1	233.2	1710.0
		2	272.1	1643.3
		3	282.3	854.8
		4	947.5	1203.1
	R _C	1	192.8	2221.5
		2	540.6	974.4
		3	171.5	1825.4
		4	430.9	1527.5
N ₂₄₀	R _S	1	499.2	1499.9
		2	110.2	1009.1
		3	371.2	1877.4
		4	580.1	2019.2
	R _C	1	404.9	1560.3
		2	185.9	1562.2
		3	302.8	1575.5
		4	303.4	1392.1
N ₃₂₀	R _S	1	147.2	1031.0
		2	310.5	1865.1
		3	284.2	986.1
		4	334.5	2141.2
	R _C	1	143.5	1868.8
		2	343.5	1661.1
		3	966.8	1793.9
		4	524.7	1218.6

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.42. Peso fresco aéreo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	R _{ep}	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.7	5.8	141.8	598.1	2629.1	3200.5
		2	0.7	6.3	97.5	854.0	2516.0	3858.1
		3	0.7	6.5	133.6	1594.3	2936.5	4058.7
		4	0.7	4.6	98.6	331.6	2025.9	3728.4
	R _C	1	0.7	2.0	82.9	664.1	2082.3	4527.6
		2	0.7	3.8	91.4	645.5	3769.0	4389.1
		3	0.7	4.6	98.9	996.2	3502.5	5047.8
		4	0.7	6.0	124.7	489.6	3013.9	5262.5
N ₁₆₀	R _S	1	0.7	9.3	149.7	982.7	2630.2	4153.1
		2	0.7	5.4	74.6	738.0	3818.8	4445.7
		3	0.7	3.9	84.19	973.4	3460.8	3481.4
		4	0.7	6.9	110.0	875.8	5201.4	3867.1
	R _C	1	0.7	6.2	240.3	1157.1	2009.3	5123.3
		2	0.7	6.7	124.4	1272.3	4072.2	3528.6
		3	0.7	7.2	78.6	685.0	3211.0	4963.3
		4	0.7	5.0	112.0	591.9	3309.4	4762.5
N ₂₄₀	R _S	1	0.7	9.0	108.5	684.8	2454.0	4050.1
		2	0.7	3.4	86.7	1212.2	1867.1	3799.1
		3	0.7	8.7	93.2	788.5	4458.6	4953.0
		4	0.7	5.6	142.6	1146.6	3848.5	5712.3
	R _C	1	0.7	7.4	176.5	960.4	2076.0	3921.3
		2	0.7	3.2	92.0	1394.8	3414.2	4544.5
		3	0.7	5.6	130.0	1109.9	3264.7	5777.0
		4	0.74	4.6	80.92	945.7	2852.3	4677.7
N ₃₂₀	R _S	1	0.7	3.3	248.8	1129.7	2343.6	4345.3
		2	0.7	4.5	88.1	579.2	3174.5	4750.9
		3	0.7	8.5	161.7	1149.3	3479.1	5082.1
		4	0.7	7.3	101.4	726.2	2993.4	7064.1
	R _C	1	0.7	5.0	166.0	909.1	2361.5	5493.1
		2	0.7	12.2	100.4	647.0	3124.6	4656.6
		3	0.7	3.6	118.5	1661.1	5042.5	4230.4
		4	0.7	7.0	88.2	1340.6	3721.8	3606.8

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.43. Biomasa de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.04	0.14	1.4	6.3	23.9	27.3
		2	0.04	0.16	1.1	8.0	18.0	27.7
		3	0.04	0.16	1.1	12.2	21.8	21.2
		4	0.04	0.15	1.3	4.1	20.9	24.3
	R _C	1	0.04	0.10	1.0	7.8	15.6	36.8
		2	0.04	0.09	1.2	4.7	24.3	23.5
		3	0.04	0.11	1.5	7.3	19.1	28.3
		4	0.04	0.17	1.6	5.4	19.3	28.1
N ₁₆₀	R _S	1	0.04	0.20	1.2	9.1	23.4	22.5
		2	0.04	0.14	0.7	8.6	27.4	31.6
		3	0.04	0.11	1.1	6.4	18.2	26.6
		4	0.04	0.15	1.1	6.5	31.0	23.1
	R _C	1	0.04	0.12	2.1	11.5	18.1	30.9
		2	0.04	0.16	1.2	13.2	22.6	24.7
		3	0.04	0.14	0.9	6.1	18.1	26.6
		4	0.04	0.10	1.0	4.3	20.2	29.3
N ₂₄₀	R _S	1	0.04	0.19	1.0	5.1	22.7	24.4
		2	0.04	0.12	0.8	11.1	12.1	33.6
		3	0.04	0.16	1.1	5.9	30.7	27.1
		4	0.04	0.14	1.6	8.9	25.3	30.0
	R _C	1	0.04	0.12	1.5	9.0	18.5	25.2
		2	0.04	0.10	1.0	11.4	22.5	26.8
		3	0.04	0.18	1.3	7.0	17.7	37.3
		4	0.04	0.17	1.2	7.1	19.2	29.7
N ₃₂₀	R _S	1	0.04	0.07	2.0	14.1	20.4	36.1
		2	0.04	0.12	1.1	7.2	23.0	31.5
		3	0.04	0.15	1.5	8.5	19.5	37.3
		4	0.04	0.19	1.1	6.4	19.0	33.1
	R _C	1	0.04	0.07	1.3	7.0	13.2	32.3
		2	0.04	0.27	1.1	5.2	23.3	32.1
		3	0.04	0.08	1.0	12.2	30.4	35.0
		4	0.04	0.16	1.0	12.4	23.5	33.0

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.44. Biomasa del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.03	0.08	2.3	9.5	34.3	39.9
		2	0.03	0.16	1.8	10.7	31.0	31.8
		3	0.03	0.17	2.1	14.7	26.1	47.7
		4	0.03	0.10	2.1	5.5	26.9	37.6
	R _C	1	0.03	0.04	1.1	10.3	27.1	44.0
		2	0.03	0.10	1.3	9.2	39.6	34.7
		3	0.03	0.13	1.2	11.7	35.3	44.3
		4	0.03	0.17	2.5	7.8	35.9	40.4
N ₁₆₀	R _S	1	0.03	0.13	2.3	11.9	30.2	41.8
		2	0.03	0.17	1.5	10.4	35.6	41.3
		3	0.03	0.11	1.4	11.1	35.5	36.0
		4	0.03	0.22	1.6	12.0	46.0	35.0
	R _C	1	0.03	0.10	3.4	14.5	20.5	39.4
		2	0.03	0.17	2.0	15.6	43.2	39.6
		3	0.03	0.21	1.2	9.4	29.7	42.3
		4	0.03	0.12	1.5	9.0	36.0	48.0
N ₂₄₀	R _S	1	0.03	0.15	1.8	9.5	28.6	37.8
		2	0.03	0.10	1.1	14.1	22.8	36.1
		3	0.03	0.23	1.3	10.2	41.6	43.2
		4	0.03	0.17	2.8	12.9	34.3	44.1
	R _C	1	0.03	0.12	2.7	12.0	25.2	37.4
		2	0.03	0.10	1.4	14.6	35.5	42.9
		3	0.03	0.12	2.0	13.5	32.7	47.3
		4	0.03	0.16	1.2	12.0	32.8	41.7
N ₃₂₀	R _S	1	0.03	0.06	3.7	15.0	29.3	46.5
		2	0.03	0.15	1.2	9.4	32.3	40.5
		3	0.03	0.19	2.6	10.8	32.5	46.1
		4	0.03	0.23	1.5	9.2	36.6	59.8
	R _C	1	0.03	0.13	2.6	10.1	28.7	49.1
		2	0.03	0.32	1.5	7.6	30.0	42.1
		3	0.03	0.10	1.9	19.1	42.3	34.9
		4	0.03	0.18	1.3	14.9	35.5	41.2

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.45. Biomasa de las hojas de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante						
			1	20	40	60	80	90	50 H _D
g planta⁻¹									
N ₈₀	R _S	1	0.09	0.9	17.9	57.7	216.3	199.7	0.7
		2	0.09	1.0	13.3	83.2	189.2	149.6	0.5
		3	0.09	1.2	18.4	152.6	202.4	216.5	0.5
		4	0.09	0.9	13.9	33.5	175.9	196.1	0.6
	R _C	1	0.09	0.4	11.2	62.3	155.2	264.4	0.6
		2	0.09	0.7	12.2	55.7	266.4	165.3	0.8
		3	0.09	0.9	13.8	91.6	251.1	222.6	0.7
		4	0.09	1.0	19.1	51.2	239.1	195.2	0.8
N ₁₆₀	R _S	1	0.09	1.8	18.7	92.2	191.7	160.7	0.6
		2	0.09	0.9	10.3	74.0	299.5	186.7	0.5
		3	0.09	0.7	12.1	88.2	242.2	182.2	0.7
		4	0.09	1.2	14.9	78.3	361.1	174.0	0.9
	R _C	1	0.09	1.0	28.4	110.0	138.7	198.3	0.4
		2	0.09	1.1	15.9	121.9	296.6	171.7	0.5
		3	0.09	1.2	10.6	67.4	230.8	209.2	0.8
		4	0.09	0.9	14.4	51.0	207.9	240.1	1.0
N ₂₄₀	R _S	1	0.09	1.6	14.9	60.2	170.3	183.9	0.6
		2	0.09	0.6	11.7	113.8	134.4	194.2	0.4
		3	0.09	1.4	12.7	73.6	340.4	202.9	0.9
		4	0.09	0.9	18.6	108.0	275.5	248.3	0.7
	R _C	1	0.09	1.2	22.1	88.4	213.5	173.4	0.6
		2	0.09	0.5	13.3	128.7	264.3	208.6	0.8
		3	0.09	1.0	17.1	98.2	286.7	291.4	0.9
		4	0.09	0.9	11.0	88.7	193.3	230.8	0.6
N ₃₂₀	R _S	1	0.09	0.6	31.0	112.2	167.8	229.2	0.6
		2	0.09	0.8	12.2	55.5	230.0	192.2	0.8
		3	0.09	1.5	21.9	108.7	206.4	284.1	0.7
		4	0.09	1.2	14.4	62.4	214.8	342.3	0.4
	R _C	1	0.09	0.7	21.1	83.7	195.4	230.8	0.9
		2	0.09	2.3	13.3	62.3	228.6	223.4	1.4
		3	0.09	0.7	15.4	166.6	347.1	186.7	0.7
		4	0.09	1.2	12.1	125.9	281.1	167.6	0.5

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha, H_D = Hoja diagnóstico y Rep = Repetición.

Cuadro A.46. Biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante	
			80	90
			g planta ⁻¹	
N ₈₀	R _S	1	23.5	39.0
		2	6.2	118.1
		3	24.6	84.1
		4	15.9	84.8
	R _C	1	16.0	78.1
		2	36.5	124.1
		3	35.8	128.3
		4	30.9	166.9
N ₁₆₀	R _S	1	20.3	140.6
		2	26.3	121.9
		3	23.3	62.4
		4	87.1	76.2
	R _C	1	16.5	159.9
		2	42.5	78.2
		3	17.1	130.7
		4	38.4	110.0
N ₂₄₀	R _S	1	42.8	112.6
		2	11.1	72.8
		3	36.2	121.1
		4	54.0	135.5
	R _C	1	33.3	110.7
		2	19.4	116.8
		3	25.9	90.2
		4	29.2	45.9
N ₃₂₀	R _S	1	14.7	91.2
		2	30.0	131.0
		3	24.3	63.8
		4	29.1	224.5
	R _C	1	14.0	123.5
		2	28.5	140.2
		3	74.8	138.0
		4	49.2	96.8

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.47. Biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Rep	Días después del trasplante					
			1	20	40	60	80	90
g planta⁻¹								
N ₈₀	R _S	1	0.1	1.0	20.2	67.2	274.1	278.6
		2	0.1	1.2	15.1	93.9	226.5	299.6
		3	0.1	1.3	20.6	167.3	253.1	348.4
		4	0.1	1.0	16.0	39.1	218.8	318.6
	R _C	1	0.1	0.4	12.3	72.7	198.4	386.5
		2	0.1	0.8	13.6	65.0	342.6	324.2
		3	0.1	1.0	15.0	103.3	322.4	395.3
		4	0.1	1.2	21.6	59.1	306.0	402.6
N ₁₆₀	R _S	1	0.1	1.9	21.0	104.1	242.3	343.2
		2	0.1	1.1	11.9	84.4	361.5	350.0
		3	0.1	0.8	13.6	99.4	301.1	280.7
		4	0.1	1.5	16.5	90.3	494.3	285.3
	R _C	1	0.1	1.1	31.8	124.6	175.8	397.7
		2	0.1	1.3	17.9	137.6	382.4	289.6
		3	0.1	1.4	11.8	76.9	277.6	382.3
		4	0.1	1.0	15.9	60.0	282.4	398.1
N ₂₄₀	R _S	1	0.1	1.7	16.8	69.7	241.8	334.4
		2	0.1	0.7	12.8	127.9	168.5	303.2
		3	0.1	1.6	14.0	83.9	418.2	367.3
		4	0.1	1.1	21.5	120.9	363.9	427.9
	R _C	1	0.1	1.3	24.8	100.5	272.0	321.7
		2	0.1	0.6	14.8	143.4	319.3	368.3
		3	0.1	1.1	19.2	111.7	345.3	428.9
		4	0.1	1.1	12.2	100.8	255.4	318.5
N ₃₂₀	R _S	1	0.1	0.7	34.7	127.3	211.9	367.0
		2	0.1	1.0	13.4	64.9	292.4	363.8
		3	0.1	1.6	24.5	119.6	263.3	394.1
		4	0.1	1.5	15.9	71.6	280.5	626.7
	R _C	1	0.1	0.9	23.7	93.8	238.2	403.5
		2	0.1	2.6	14.8	70.0	287.2	405.8
		3	0.1	0.8	17.3	185.8	464.3	359.7
		4	0.1	1.4	13.5	140.8	366.0	305.6

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y R_{ep} = Repetición.

Cuadro A.48. Nitrógeno en la biomasa de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	90
mg planta⁻¹							
N ₈₀	R _S	1.7	2.2	1.8	1.5	1.3	1.3
	R _C	1.7	1.8	1.9	1.4	1.2	1.4
N ₁₆₀	R _S	1.7	2.3	1.9	1.6	1.4	1.0
	R _C	1.7	2.2	2.1	1.6	1.5	1.1
N ₂₄₀	R _S	1.7	2.2	2.1	1.5	1.4	1.3
	R _C	1.7	2.2	2.4	1.6	1.3	1.1
N ₃₂₀	R _S	1.7	2.0	2.6	1.6	1.3	1.3
	R _C	1.7	2.4	2.2	1.7	1.5	1.2

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.49. Nitrógeno en la biomasa del tallo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	90
mg planta⁻¹							
N ₈₀	R _S	1.5	2.7	3.14	3.4	3.0	2.7
	R _C	1.5	3.6	3.5	3.7	2.4	2.7
N ₁₆₀	R _S	1.5	3.7	3.5	3.7	3.4	2.6
	R _C	1.5	3.4	3.7	3.5	2.8	2.7
N ₂₄₀	R _S	1.5	3.4	3.6	3.8	2.4	2.8
	R _C	1.5	3.3	3.6	3.9	2.7	2.6
N ₃₂₀	R _S	1.5	3.6	3.5	3.6	3.2	2.9
	R _C	1.5	3.6	3.6	3.8	3.0	2.8

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.50. Nitrógeno en la biomasa de la hoja de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante						
		1	20	40	60	80	90	50 H _D
		mg planta⁻¹						
N ₈₀	R _S	2.8	4.5	4.0	4.2	3.4	2.8	6.7
	R _C	2.8	4.8	4.7	4.1	3.3	3.1	6.8
N ₁₆₀	R _S	2.8	5.3	4.4	4.1	3.4	3.0	6.4
	R _C	2.8	5.1	4.4	3.6	3.7	3.1	6.4
N ₂₄₀	R _S	2.8	5.1	4.5	3.9	3.6	3.0	7.2
	R _C	2.8	5.4	4.8	4.0	3.4	3.1	6.9
N ₃₂₀	R _S	2.8	5.1	4.4	4.0	3.5	3.1	6.7
	R _C	2.8	5.3	4.6	3.8	3.1	2.9	7.0

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha, R_C = Con residuos de la cosecha y H_D = Hoja diagnóstico.

Cuadro A.51. Nitrógeno en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante	
		80	90
		mg planta⁻¹	
N ₈₀	R _S	5.9	3.8
	R _C	5.9	4.1
N ₁₆₀	R _S	5.3	3.9
	R _C	5.3	4.1
N ₂₄₀	R _S	5.3	4.3
	R _C	5.5	4.2
N ₃₂₀	R _S	5.6	4.3
	R _C	5.2	4.0

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.52. Nitrógeno en la biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante					
		1	20	40	60	80	90
		mg planta⁻¹					
N ₈₀	R _S	2.5	4.3	3.9	4.1	3.5	3.1
	R _C	2.5	4.6	4.6	4.0	3.4	3.4
N ₁₆₀	R _S	2.5	5.1	4.3	4.0	3.6	3.3
	R _C	2.5	4.9	4.3	3.6	3.7	3.4
N ₂₄₀	R _S	2.5	4.9	4.4	3.9	3.7	3.4
	R _C	2.5	5.2	4.7	4.0	3.5	3.3
N ₃₂₀	R _S	2.5	4.9	4.3	4.0	3.6	3.5
	R _C	2.5	5.1	4.4	3.8	3.3	3.3

N = Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.53. Nitrato en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante	
		80	90
mg kg^{-1}			
N ₈₀	R _S	2287	2032
	R _C	723	1945
N ₁₆₀	R _S	1320	1522
	R _C	1354	2220
N ₂₄₀	R _S	2703	1629
	R _C	2676	1804
N ₃₂₀	R _S	1247	1971
	R _C	2193	2555

N = Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1}), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.54. Nitrito en la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

N	R	Días después del trasplante	
		80	90
$\mu\text{g kg}^{-1}$			
N ₈₀	R _S	346	367
	R _C	186	281
N ₁₆₀	R _S	297	321
	R _C	397	337
N ₂₄₀	R _S	492	318
	R _C	383	308
N ₃₂₀	R _S	262	294
	R _C	373	278

N = Dosis de nitrógeno (kg ha^{-1}), R_S = Sin residuos de la cosecha y R_C = Con residuos de la cosecha.

Cuadro A.55. Análisis de varianza del peso fresco aéreo de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		20			40		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	0.2	0.0	NS	7572.0	5.2	*
Nitrógeno	3	3.6	0.5	NS	982.3	0.6	NS
Error (a)	9	6.2			1446.5		
Residuos	1	2.6	0.4	NS	7.3	0.0	NS
N x R	3	3.2	0.6	NS	1771.8	1.7	NS
Error (b)	12	5.2			1014.5		
Total	31						
C. V. (%)			38.6			26.6	

Cuadro A.55. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		60			80		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	142525.7	0.8	NS	2684936.1	5.7	*
Nitrógeno	3	115303.5	0.7	NS	656213.7	1.4	NS
Error (a)	9	160411.5			466981.4		
Residuos	1	38217.8	0.6	NS	30610.8	0.0	NS
N x R	3	55616.6	0.9	NS	721246.6	1.6	NS
Error (b)	12	60232.2			450031.3		
Total	31						
C. V. (%)			26.3			21.3	

Cuadro A.55. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		90			50 H _D		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	623500.0	2.0	NS	1.3	0.2	NS
Nitrógeno	3	780245.1	2.5	NS	1.2	0.2	NS
Error (a)	9	302748.7			5.4		
Residuos	1	490579.7	0.6	NS	6.5	3.2	NS
N x R	3	1330910.1	1.8	NS	2.0	1.0	NS
Error (b)	12	729788.7			1.9		
Total	31						
C. V. (%)			18.8			23.0	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$) y H_D = Hoja diagnóstico.

Cuadro A.56. Análisis de varianza del peso fresco de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		80			90		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	64025.8	1.2	NS	79974.7	0.2	NS
Nitrógeno	3	35024.4	0.6	NS	46823.4	0.1	NS
Error (a)	9	52654.9			273547.7		
Residuos	1	15154.0	0.4	NS	525097.2	2.5	NS
N x R	3	53958.4	1.6	NS	211203.6	1.0	NS
Error (b)	12	32812.4			203673.3		
Total	31						
C. V. (%)			53.5			29.9	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado y NS = No significativo.

Cuadro A.57. Análisis de varianza de la biomasa aérea de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		20			40		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	0.01	0.0	NS	115.1	4.2	*
Nitrógeno	3	0.14	0.5	NS	14.5	0.5	NS
Error (a)	9	0.25			27.3		
Residuos	1	0.12	0.5	NS	2.2	0.1	NS
N x R	3	0.10	0.5	NS	28.4	1.4	NS
Error (b)	12	0.20			19.5		
Total	31						
C. V. (%)			36.7			24.8	

Cuadro A.57. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		60			80		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	1555.5	0.8	NS	15844.4	3.4	NS
Nitrógeno	3	1118.0	0.6	NS	3116.2	0.6	NS
Error (a)	9	1741.8			4565.7		
Residuos	1	407.4	0.5	NS	1555.0	0.3	NS
N x R	3	670.9	1.9	NS	8323.6	1.6	NS
Error (b)	12	744.4			4917.5		
Total	31						
C. V. (%)			27.4			23.7	

Cuadro A.57. Continuación...

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		90			50 H _D		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	3313.7	2.0	NS	0.01	0.2	NS
Nitrógeno	3	6600.3	4.1	NS	0.01	0.1	NS
Error (a)	9	1600.0			0.08		
Residuos	1	1244.0	0.2	NS	0.08	3.3	NS
N x R	3	7483.3	1.3	NS	0.02	1.2	NS
Error (b)	12	5472.1			0.02		
Total	31						
C. V. (%)			20.4			21.3	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo, * = Significativo ($\alpha = 0.05$) y H_D = Hoja diagnóstico.

Cuadro A.58. Análisis de varianza de la biomasa de la inflorescencia de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		80			90		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	593.4	1.7	NS	357.5	0.2	NS
Nitrógeno	3	176.3	0.5	NS	1057.1	0.6	NS
Error (a)	9	337.0			1563.8		
Residuos	1	46.0	0.2	NS	787.2	0.4	NS
N x R	3	409.8	1.8	NS	1473.8	0.8	NS
Error (b)	12	220.5			1741.0		
Total	31						
C. V. (%)			48.5			37.9	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado y NS = No significativo.

Cuadro A.59. Análisis de varianza del índice de la raíz de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		80			90		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	0.00047	3.9 *		0.000091	0.5	NS
Nitrógeno	3	0.00005	0.4	NS	0.000097	0.5	NS
Error (a)	9	0.00011			0.000180		
Residuos	1	0.00089	7.7 *		0.000002	0.0	NS
N x R	3	0.00013	1.2	NS	0.000083	0.3	NS
Error (b)	12	0.00011			0.000273		
Total	31						
C. V. (%)			14.4			20.0	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo y * = Significativo ($\alpha=0.05$).

Cuadro A.60. Análisis de varianza del índice de la cosecha de brócoli, para dosis de nitrógeno y residuos de la cosecha.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Días después del trasplante					
		80			90		
		C. M.	F. C.		C. M.	F. C.	
Repetición	3	0.0025	1.3	NS	0.004	0.4	*
Nitrógeno	3	0.0007	0.3	NS	0.002	0.2	NS
Error (a)	9	0.0018			0.009		
Residuos	1	0.0002	0.4	NS	0.003	0.7	NS
N x R	3	0.0012	2.3	NS	0.006	1.2	NS
Error (b)	12	0.0005			0.004		
Total	31						
C. V. (%)			23.3			22.9	

C.M. = Cuadrado medio del error, F.C. = F calculado, NS = No significativo y * = Significativo ($\alpha=0.05$).

8.4. Programación SAS

Programación A.1. Análisis de la varianza del diseño experimental de parcela dividida en bloques completamente al azar.

```
data pdca;
input h d r m2pfh;
cards;
1 1 1 1.1
1 1 2 1.3
1 1 3 1.1
1 1 4 1.9
1 2 1 1.0
1 2 2 0.6
1 2 3 1.3
1 2 4 1.0
1 3 1 1.5
1 3 2 1.4
1 3 3 1.1
1 3 4 1.2
1 4 1 1.0
1 4 2 1.8
1 4 3 2.0
1 4 4 1.2
2 1 1 1.8
2 1 2 1.6
2 1 3 1.4
2 1 4 1.3
2 2 1 2.2
2 2 2 1.5
2 2 3 2.0
2 2 4 1.7
2 3 1 3.0
2 3 2 1.9
2 3 3 1.7
2 3 4 1.5
2 4 1 1.5
2 4 2 1.7
2 4 3 1.8
2 4 4 1.5
;
proc print; proc anova;
classes h d r;
model m2pfh = r h h*r d h*d;
test h=r h e=h*r;
means r /tukey e=h*r;
means h /lsd e=h*r; means d h*d/tukey; run;
```

Programación A.2. Análisis de la función cuadrática.

```
data pdca;
input d m1 lpfah1;
cards;
80 1883.3
80 2941.0
80 2686.9
80 2472.6
160 2370.8
160 2218.1
160 3893.5
160 2555.7
240 2497.4
240 2710.3
240 2934.6
240 2647.0
320 2533.2
320 3046.7
320 2260.9
320 2542.5
;
proc print;
proc glm;
model m1 lpfah1 = d d*d;
proc plot; plot m1 lpfah1*d = 'o' / overlay;
run;
```

Programación A.3. Análisis de la función logística normal.

```
data uno;
input dd n;
cards;
1 0.6
1 0.6
1 0.6
1 0.6
20 1.1
20 1.3
20 1.1
20 1.9
40 1.6
40 2.6
40 3.5
40 1.3
60 21.9
60 26.1
60 16.1
60 35.8
80 29.7
80 40.4
80 31.9
80 57.3
100 44.3
100 49.8
100 78.7
100 71.4
;
proc nlin method=dud;
parms a=70.7 b=131.59 c=0.06620;
model n=a/(1+b*exp(-c*dd));
output out=aa p=np r=nr;
proc plot; plot np*dd='o' n*dd='*'/overlay;
proc print; var dd n np;
run;
```

Programación A.4. Análisis de la función cuadrática inversa.

```
data uno;
input dd n m e f;
cards;
1      0.004
20     0.962
40     0.397
60     1.159
80     1.196
100    5.446
;
proc nlin method=dud;
parms a=0.001 b=-0.00001 c=0.0000001;
model n=1/(a+b*dd+c*dd*dd);
output out=aa p=np r=nr;
proc plot; plot np*dd='o' n*dd='*'/overlay;
proc print; var dd n np;
run;
```

Programación A.5. Análisis de la prueba de t.

```
data ev;
input tipo$ resp;
cards;
h1 1.7
h1 14.1
h1 106
h1 872
h1 1484.2
h1 2495.9
h2 24.7
h2 76.9
h2 245.5
h2 701.92
h2 1566.9
h2 2471.7
;
run;
/*prueba de normalidad*/
proc univariate normal;
class tipo;
var resp;
run;
/*prueba de t para comparar dos poblaciones*/
proc ttest;
class tipo;
var resp;
run;
```